

DirectX12

ジョグノプログラミング



じごくへようこそ

やつふおー!!おひさー!!はじめましての人は初めまして、1年ぶりの人はお久しぶりにござります。DirectX12 のお時間がやってまいりました。

前期でももう死にかけだったのに、後期でさらに地獄の責め苦を味わう…そんな目に遭えば



という気持ちになるかもしれません。それは仕方ない。



ぼくは君たちに敬意を表して手は抜かない。全力でお相手いたします。誰かが死にかけていても仕方ない。君たちが隣のお友達をフォローするのは自由だ。だがそれによって遅れても僕はフォローしない。少なくとも授業中はフォローしない。

そんなもので乗り越えられるほど DirectX12 は甘くないのだ。そして俺の信念も固まったのだ。昨年までは「学生の間に DirectX12 なんて教えて大丈夫か?」と自問自答していたし、事実ちょっと適切ではなかったかもしれません。

だが、今まさにグラフィックスプログラミングパラダイムの時代に突入しつつあります。これはもう「間違ってない!!!!」と言えます。川野先生の暴走はもはや止まらないのです。

目次

はじめに	11
流れ	11
環境設定	17
C++言語のおさらいとか追記とか	20
STLについて	20
おさらい	20
イテレータについて	22
リバースイテレータについて	22
stringについて	23
stringstreamについて	24
C++の新しい仕様	25
右辺値参照とムーブセマンティクス	26
配列の範囲	31
Emplacement(emplace,emplace_back)	31
(おまけ)minmax と iota	32
const と constexpr	33
まずはプロジェクトを作ろう	34
じゃあウインドウ出すか	36
アプリケーションのハンドル	40
基礎知識説明①	43
シェーダ	43
頂点シェーダ	44
ピクセルシェーダ	44
ジオメトリシェーダ	45
ハルシェーダ(テセレーション)	46
コンピュートシェーダ(GPGPU)	47
この辺書いてて思ったこと	48
レンダリングパイプラインについて	50
DirectX組み込みに入る前に	51
DirectX12がそれ以前のDXと違うのはどこ?ここ?	52
仮想メモリ(仮想アドレス)とは	54
キャッシュメモリとか分岐予測とか	56
DirectX12組み込み	57
準備①(インクルードとリンク)	58

基本の初期化.....	59
画面に影響を与える準備.....	63
スワップチェイン.....	63
レンダーターゲットの作成.....	71
さて、いよいよ画面のクリアだ.....	77
コマンドを投げるために…	77
コマンドリストとコマンドアロケータをリセット	77
コマンド:レンダーターゲットを設定.....	79
コマンド:レンダーターゲットをクリア.....	80
コマンド:クローズ.....	80
コマンドキューに投げる.....	80
スワップチェーン Present.....	81
色々間違ってるんです	81
フェンス	82
ではフェンスを実装しようか.....	87
三角形の描画をしよう.....	89
頂点情報の設定と GPU 転送.....	89
頂点情報を作る.....	89
頂点/バッファ	90
頂点/バッファビュー	93
そんな事よりシェーダ書こうぜ	94
シェーダ読み込み	95
ルートシグネチャー	96
頂点レイアウト	103
パイプラインステートオブジェクト(PSO)	106
その他やらなければならぬ1事	109
リソースバリア	110
ビューポート	110
残り色々セット	112
ドロー!!ポリゴン!!!	113
うまくいかない場合	115
アプリがグラボを選ぶズエ…レルズエ…	115
四角形の描画をしよう	117
インデックス情報の設定と GPU 転送	118
インデックス配列を作る	118
インデックスバッファを作る	119

インデックスバッファをセット.....	119
ドロー(インデックスあり).....	119
テクスチャ貼りたいなあ.....	120
頂点情報にUVを追加.....	120
頂点シェーダ変更.....	121
テクスチャオブジェクト生成.....	121
書き込み.....	125
バリアとフェンス.....	127
シェーダリソースビューを作る.....	127
サンプラーを設定.....	129
シェーダにテクスチャの受け取り側を記述する.....	130
ルートシグネチャを設定.....	130
毎フレームやること.....	131
リソースのL0とかL1について.....	134
DirectXTexture(WIC,DDS)を組み込み.....	136
行列で座標変換してみよう.....	138
行列おさらい.....	139
2D座標変換行列.....	140
定数バッファ.....	144
CPP側.....	144
シェーダ側.....	147
3D化してみる.....	147
XMVECTORについて.....	149
リファクタリング.....	151
ComPtrを使う.....	151
色々関数化する(コメントをきちんと書く).....	153
デスクリプター(テクスチャ、定数)まわりを支える設計.....	156
ヘッダだけ公開.....	160
ともかくPMDモデルを表示させよう.....	164
フォーマットを確認する.....	164
ヘッダ.....	164
頂点リスト.....	167
とりあえずモデル表示してみよう.....	168
BadAppleにしてみる.....	169
インデックス情報を読み込みましょう.....	170
シェーディングしてみる.....	171

深度バッファ	173
深度バッファとは	173
結局 DX12 では何をしなければならないの?	175
深度バッファの作成	176
深度バッファビューの作成	177
パイプラインステートオブジェクトに深度情報を追加	177
レンダーターゲットと深度バッファを関連付け	178
深度バッファをクリア(毎フレーム)	179
法線も座標変換	179
マテリアルを適用	181
マテリアルってなんや?	182
マテリアルデータ読み込み	183
クソコードでごめんなさい	185
2つの選えてないやり方	188
マテリアルのためのバッファ作成	189
ヒープとビューの作成	191
ルートシグネチャの設定	193
シェーダ	193
Draw 時の切り替え	193
テクスチャを入れよう!!!	199
UV 復活!!UV 復活!!UV 復活!!	199
テクスチャの設定がない奴の取り扱い	200
テクスチャファイルパスの確定	202
char*⇒wchar_t*	204
白テクスチャの作成	206
テクスチャ用ヒープ作成	206
他のキャラクターもやってみよう	208
TGA への対処	208
spa/sph への対処	210
混在してるときー!!	217
補足	219
カリングしないようにしましょう	220
トゥーン!!	221
MMD におけるトゥーンの実装手法	223
とりまトゥーンを読み込もう	225
シェーダ側	226

実装	227
そういえば…	231
補足	234
ところで…	235
リファクタリング②	236
ページングしようぜエ…(レリーズエ…)	238
概要	238
ボーンとはいったい…	238
スキニング(スキンメッシュアニメーション)	239
ツリー構造と再帰	241
具体的にどういやり方でページングしていくの?	244
ボーン情報をロード	246
ツリーを構築	247
特定ボーンの回転	251
準備	251
実験(だいたい結果が予想できるやつ)	256
ボーン中心回転(原点中心回転ではない)	256
子々孫々末代まで回転を伝播する	257
VMD ファイルを読み込む	259
クオータニオンって何ですかねえ…	261
データを読み込む	263
データの加工	263
クライアント側	265
閑話	267
アニメーションしてまう	268
フレーム補間しよう	274
リバースイテレータと base()	276
あれ?	277
球面線形補間	278
VMD モーションデータの罠	281
補間曲線	284
ベジエ曲線…とは?	285
ニュートン法(ニュートン・ラフソン法)	287
ニュートン法実装	293
二分法	295
DxLib 実装(二分法ならぬ DxLib 法)	296

リファクタリング③.....	297
いろいろ検証.....	299
検証①:DescriptorTable 以外を使ってみる.....	299
Constants	299
Descriptor(重要…最初に知っておくべきだよ).....	303
検証②:Bundle について.....	304
PixforWindows とはいったい…うごごごご.....	305
簡単なパフォーマンス測定.....	305
バンドルを利用してみる.....	308
検証結果	311
Bundle を完走した感想.....	312
その他今のうちにやっておきたい事.....	312
可変フレームレート状態で拳動を合わせる.....	312
マルチパスレンダリング.....	314
大雑把な解説.....	314
最初の実践	315
ビュー用ヒープ作る.....	316
リソース作る.....	316
ビュー作る	316
レンダーターゲット切り替え.....	317
ペラポリ作る.....	317
ペラポリ表示用ルートシグネチャを作る.....	318
ペラポリシェーダを作る.....	320
ペラポリ用レイアウトを作る.....	321
ペラポリ用パイプラインステートを作る.....	321
ペラポリ表示部分を作る.....	321
ここまで間違いややすいポイント	322
加工してみよう.....	324
モノクロ化	324
反転	324
ポスタリゼーション?	325
軽い単純ぼかし(平均化).....	326
エンボス	326
シャープネス(エッジ強調).....	327
簡単な画像処理的輪郭線抽出.....	328
ガウジアンぼかし(簡易版).....	330

ガウジアンぼかし(ちゃんとしたやつ).....	332
ガラスシェーダ.....	340
シャドウマップ.....	343
影行列(演し影)…ウソ影.....	344
シャドウマップの導入(マルチパスの応用編).....	352
やってもやってもバグが取れないるので、リファクタリング.....	354
土日を犠牲にしてリファクタリングした結果.....	355
ズバッと解決.....	356
シャドウマップのしくみ.....	357
準備.....	358
概要.....	359
設計.....	359
実装.....	360
シャドウマップ本編.....	365
手順.....	365
ライトビュー行列を追加.....	365
バッファの確保.....	366
ライトの「とりあえずの」座標を決める.....	369
ライトからの描画.....	372
悪夢の深度値比較っ…!	373
深度値と距離を同じ土俵に…	374
UV値はどうするのか?	375
比較.....	376
セルフシャドウ.....	377
小休止&課題評価の話.....	379
DDSファイルのロード.....	380
DXTC,ETC,PVRTC.....	380
再び DirectXTex-master の中へ.....	385
クソ UpdateSubresources.....	388
クソに対する対処法.....	389
クソまみれの中で得られたもの.....	391
更なるクソの中に潜ってみた結果…	394
IK(インバースキネマティクス).....	399
CCD-IKとは…	400
高校数学だけでIKっぽくしてみよう.....	401
二次元におけるCCD-IK.....	403

三次元における CCD-IK	405
LookAt 行列の作成.....	410
納得いかないんですが…	417
夢はひろがりんぐ	417
何で納得いくってないのか&実験.....	417
まっすぐに対する解決案.....	418
LookAt 行列関数の改造.....	422
いよいよ実装である.....	422
PMD から IK 情報を取得する.....	423
CCD_IK 関数について.....	425
CCD-IK の実装	427
呼び出し側	431
角度制限	431
確認コード	434
仕上げ(軸の補正).....	436
仕上げ(ベクトル最大長による IK 位置の補正).....	437
与太話	438

はじめに

最初に言っておかねばならないことがあります。

この授業の主眼は「ゲーム技術の基礎研究」です。残念ながら「ゲーム作り」ではありません。こ↑こ↓注意してください。

えー、じやあ何すんのさ?と思われるかもしれません、先ほども言いましたが基礎研究です。ゲームを作る根本の部分ですね。DXLIB がやってくれていた事(隠ぺいしてくれていた事)が何なのかな…ゲームエンジンがやってくれている事はどういう事なのかな…を知るために今回は DirectX12 を使用して MMD のキャラを動かしてみようと思っています。

半数の学生さんにとっては2度目なので、ああ、またあれか、あれなのがと思っている事でしょう。

とはいっても昨年と同じであれば3年生にこの授業を受けていただけ意味があまりないため、計画としては、去年のやつ + α で「ポストエフェクト」をやろうかと思っております。

やろうと思ってるポストエフェクトは

- 画面にヒビ入れる
- ブルーム
- 被写界深度

です。

まあ、昨年の授業を受けてない人、昨年のテキストを見たこともない人のために流れを言っておくと

流れ

1. とにかく DirectX12 ポリゴンを出すまでがんばる(面倒だしシェーダが必要だし即死)
2. ポリゴンに 3D 変換行列をかけて 3D 化する(行列が分かってれば割と大丈夫)
3. テクスチャ貼る(テクスチャは思ったより面倒なんやで?)
4. MMD モデルを読み込んで表示する(まずは頂点情報のみ)
5. 面を貼る(インデックス情報が必要)
6. シェーディングする(数学がクソ出てくる。内積とか内積とか内積とか)
7. 深度バッファを有効にする(めんどう)

8. ボーン情報を読み込む
9. ボーンを回転させてみる
10. ボーンに合わせてスキニング(頂点ウェイトで頂点移動)する
11. WIC ローダを作る
12. DDS ローダを作る
13. ポージングさせる
14. アニメーションさせる(リバースイテレータ登場!!!)
15. ベジエで動かす(ニュートン法、二分法)
16. つぶれ影表示(行列で演して黒く塗るだけ)
17. シャドウマップでセルフシャドウ(シャドウアクネがさ…)
18. 簡易トゥーンレンダリング
19. 輪郭線
20. アンチエイリアシング(輪郭線との相性最悪)
21. IK(いけるかな…)
22. ポストエフェクト(をするために必要な事)
23. 色調整(ポストエフェクト)
24. 画面を割る(法線+ポストエフェクト)
25. ブルーム(ガウス+ポストエフェクト)
26. 被写界深度(深度値が重要ですねえ+ポストエフェクト)
27. インスタンシングで大量表示
28. 法線マップ(接ベクトルと従法線ベクトルが必要なんだよなあ…)
29. ディファードレンダリング
30. TBDR(小林先生のご提供となっております)

まあ、これが全部やれるとは俺も思っていない。時間がまるで足りないのだ。昨年よりかはスピーディにできるだろうけど、みんな死ぬでしょうし(笑)

まあシェーダを恐れずやれるようになっておくと、Unity 使おうが UE4 使おうがちょっとかっこいい! 事ができてしまうので、シェーダには慣れておいた方がいいと思うよ。

あと、C++の効果的な使い方(?)についても、しつとやっていくので、頑張ってついていく。

で、ここまで説明に一切「ゲームの作り方」に関するものがない事からも「あつ…(察し)」だと思いますが、今期は「授業外でゲームを作ってください」

授業外でゲームを作ってください

大事な事ですね…。しんどい?しんどいよなあ…仕方ない。でも、やれ。



うーん。なんでそんなややこしいことを今やるのがと言うと

<https://www.youtube.com/watch?v=H3M07qR0j28>

のカメラ割れとか



の光が漏れている感じとか



のピントが合っている、外れているの感じとか

ゲームエンジンとかライブラリを使用しているとブラックボックスになってて、中身を理解していないと「アーティスト」や「プランナー」の「ああしたい、こうしたい」に対応できないことが多いんですよ。ちなみにゲームエンジンがキャラクターをアニメーションさせてますけど、あれ DirectX が勝手にやってくれるんじゃないんですよ？ 数学と C++ を駆使して実装してるんですよ？

僕らはプロです。プロを目指しています。



もちろんです。プロですから。

と胸を張れるようになるためには魔法使いレベルの事ができなきゃいけません。その辺の高校生ができるレベルができても自慢にならないし、その程度だったらなぜここにきて3~4年もやってんのさ。今すぐ仕事しろよ。

『ゲームエンジンの機能にないから実装できません』ではもうそれプロじゃないと思います。

正直ぼくがそういうやつがプロを名乗っていたら



野郎！ ぶっ殺してやる!!

と思います。

とはいえるたちの殆どに欠けているものがある。それは『知識』だ。CG の理論などは今か

ら1からやつていくのはしんどい…しんどいはずだ。

という事で、知識の正確なところは Google 大先生に任せるとしたら人間は何をすればよいのだろうか?

そう、用語をある程度知つておかねばなるまい…。何故って? 用語を知つていれば Google 先生へのお伺いのやり方がスムーズになります。また、そもそも用語を知らないと特定の技術の存在そのものを知らずに過ごしてしまうという事にもなりかねません。

昨今はゲームエンジンで、レンダリング部分や AI におけるナビメッシュやビヘイビアツリーガブラックボックス化されて見えなくなっているけど、僕らプログラマはその見えない部分も意識しなければならない。ゲームエンジンの中の人が言ってるんだから間違いない。

<https://entry.cgworld.jp/column/post/201701-gameengine.html>

というわけで UE4 やるにせよ Unity やるにせよ「プログラマ」を生業とするのならば中身をある程度理解しておく必要があるという事です。

さて、授業の大まかな流れですが、パンナムの研修の流れを参考にしてみましょう。まず、パンナムのはこんな感じでした。

- 1st week
 - Day 1: Direct3D12 基礎とポリゴン入門
 - Day 2: テクスチャマッピングとリソースバインディング、3D モデル
 - Day 3: 3D モデルのシェーディング、ライティング基礎
 - Day 4: レンダーターゲット、コマンドリスト
 - Day 5, 6: Shadow map
- 2nd week
 - Day 7: PBR と発展的なシェーディングテクニック
 - Day 8: Compute Shader
 - Day 9, 10: Deferred Rendering

パンナムの連中にできるんなら、俺たちにもできるはずだよなア?

…嘘です。

というか、大事な大事なアタックチャーンスではなく、大事な大事なスキニングとトゥー

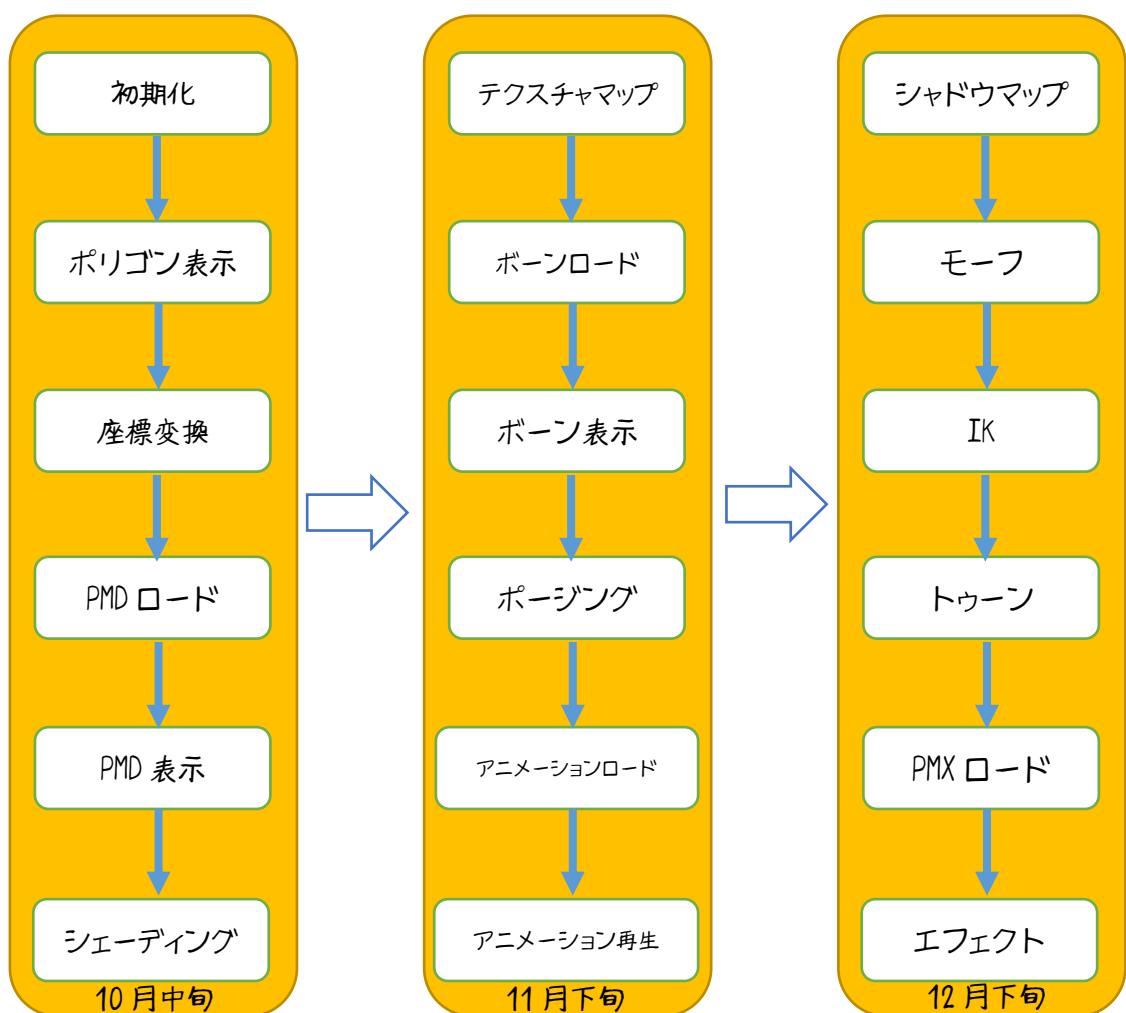
ンとポストエフェクトがないではありますんか!!!

という事で、ComputeShaderとか PBR を後回しにして、その代わりにスキニングとトゥーンを入れたいと思います。

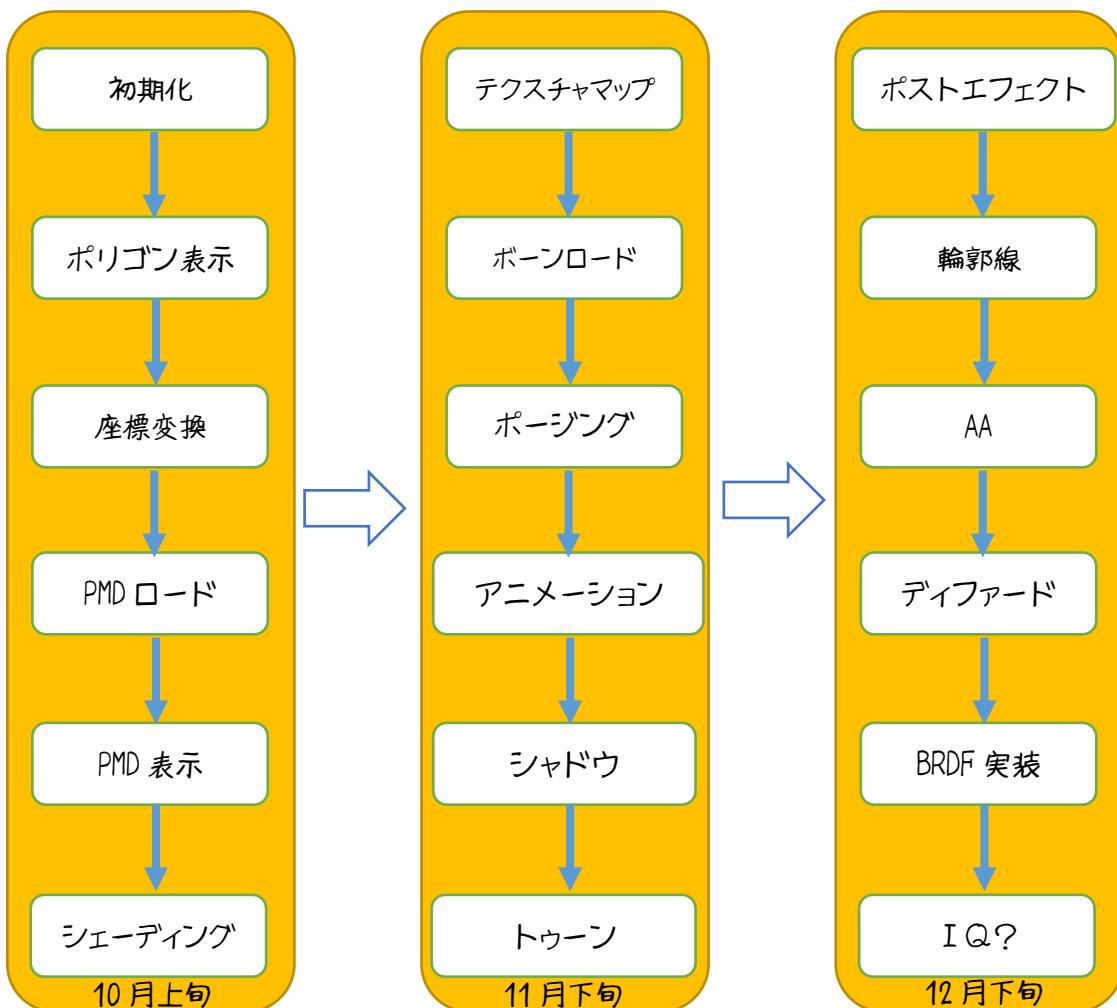
昨年まではやってなかったのですが、DX11からの定番としてディファードレンダリングというのがあるので、今年はそれを入れていきたいと思います。さすがに欲張りセットかな?

あと、昨年に失敗したこととして、僕も余裕がなかったからなんだけど、設計的な事後回しにしてたから、かなりクソコードになってたので、多少の設計はやりながら進めていこうと思います。

昨年まではこう…



今年は



こんな感じで行こうかなと思います。十分に時間ができたら、前期にやった IQ を DX12 で作ってみるというのもいいと思います。

辛いと思います。死ぬと思います。死にます。死にましょう。学期末にアレイズするんで安心してください。勝負はそこからだと言いたいところですが、次年度就職年次の皆さんはゾンビになってでもゲーム作ってもらいます。

環境設定

じゃあ早速作り始めよう!!と言いたいところですが、いちど最新の状態で環境設定をしておきたい。何故かと言うと DX12 は Windows SDK のバージョンが変わると同じコードが動かなくなったり、挙動が変わったりするので非常に面倒だが少なくとも WDK は揃えておきたい。

現在のところ WDK の最新版は 10.0.17134.12 である。ともかく WindowsSDK で検索したら WinSDKSetup.exe が落とせるので、落としたらインストールしてください。



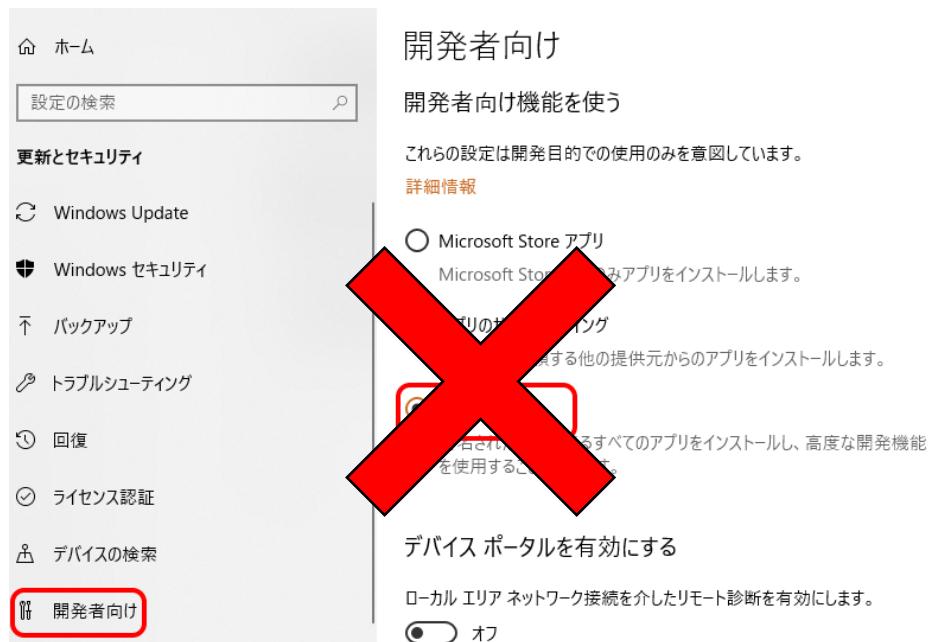
一応学校のサーバーにもインストーラを置いておきますが、インターネットにつながっていないとインストールできないのでご注意ください。

また、学校の外付けHDDにダウンロード済みのを入れてますので、遅い場合はそれを使用してください。

あ、そういえばこのバージョンの面倒くささがあるんで DX12 を活用したものを企業に送る際には SDK バージョンと Windows のバージョンは明記しておいた方がいいかも。

んでも、Windows の最新バージョンが 1803 ではあるんだけど、もしかしたら開発者モードじゃないと 1700 番台までしか更新できないかも…。

開発者モードにするには WindowsUpdate 画面で



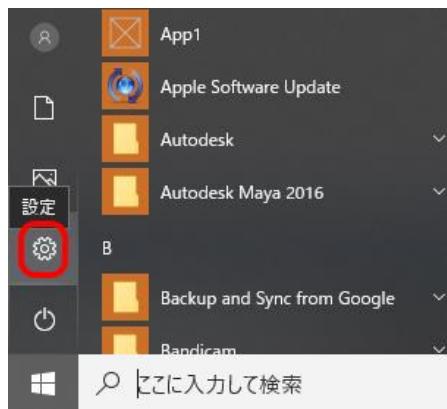
の状態にする必要があるのかなあ…もしくは

<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1807/24/news010.html>

に書かれてましたが、WindowUpdate の詳細設定にある延期日数によって出ないこともあります。

どっちにしてもちょっとめんどくさそうな部分(管理者権限が必要な部分)をいじることになりそうなので、最初の方はちょっと手間がかかると思います…とかいろいろとやってみましたが、何故か 1803(4 月に更新されたはずの最新版)に更新されません。もし現段階で 1803 なら更新の必要はありません。

バージョンの見方は

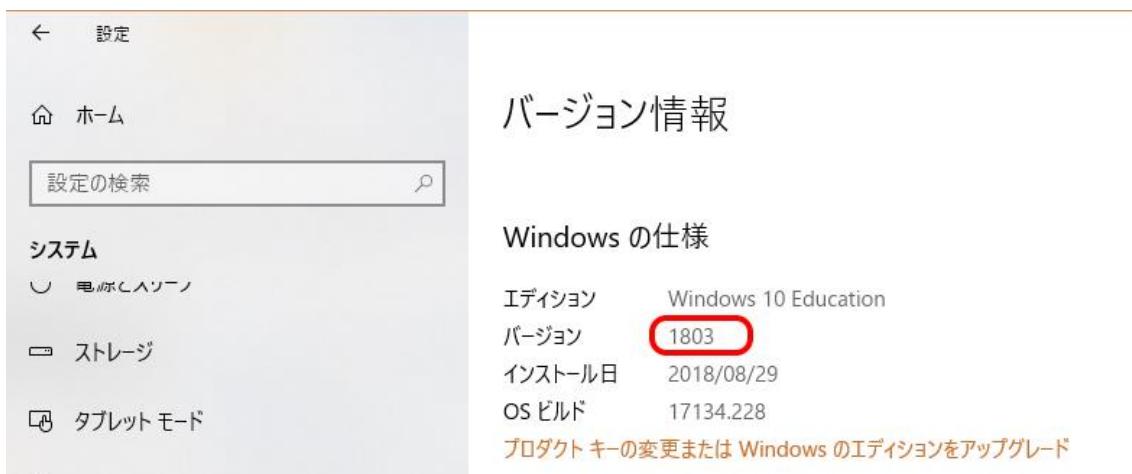


Window ボタン → 齒車マーク

Windows の設定

→システムを押すと、別画面が出てくるので左下の「バージョン情報」をクリック。

そうすると右側に Windows のバージョンが表示されます。人によっては既に 1803 かもしれませんので、その人は Windows の更新は必要ありません。



そうでないならば直接インストールです。もちろん Windows Update 側に 1803 のインストールが見えてるならば、落とさないに越したことはありません。

<https://www.microsoft.com/ja-jp/software-download/windows10>

これをやるとガチで Windows の更新が始まります。クソ時間かかります。フリーズしどのんちゅうか?っていうくらい…。

無事終わったら Windows のバージョンが 1803 になってるはずですので、確認しておいてください。何度か再起動かかるんで待ちましょう。

さて、ここに手間取っている間に、昨年のテキストでも見ながら「予習」しておいてほしい。

C++言語のおさらいとか追記とか

STLについて

おさらい

前回から当然のように STL を使っていると思いますが、とりあえず vector と map と list と set の区別はついているでしょうか?あと string に関してはな…。

コンテナ名	概要
vector	<p>動的配列として使用できる。ガチでメモリが連続しているので、様々な用途に使える。</p> <p>ただし、あまり push_back してると動的確保が頻繁に行われるため速度低下の原因となる。その場合は予め予測した大きさを reserve する。</p> <p>また、要素が増えてくると配列同様に要素の挿入、削除の時間コスト</p>

	高いが、殆どの場合は気にならない(それ以外のメリットの方が大きい)
map	連想配列として使用できる。インデックスではなく文字列を使用したり、飛び飛びのインデックスの配列としても使える。 また、map の要素は結局のところ 2 つ値<Key, Value>のペアに過ぎないため、そう捉えると様々な応用が可能。
list	名前の通りリスト構造でできているコンテナ。vector と違って、メモリが連続していない。要素と要素がリンクによってのみ繋がっているため、挿入と削除のコストが一定。 ただし、検索のコストは、要素が増えるほどに増えていく。大抵の場合は vector を使っておいた方が幸せである。
set	要素がソート済みとなるコンテナ。まあほとんどの場合 vector や map で事足りる。

つまるところやっぱり vector と map で十分って事やな!!

また、前回もちょっとだけ出てきましたが、algorithm などを使うとコードの量をぐっと減らせます。

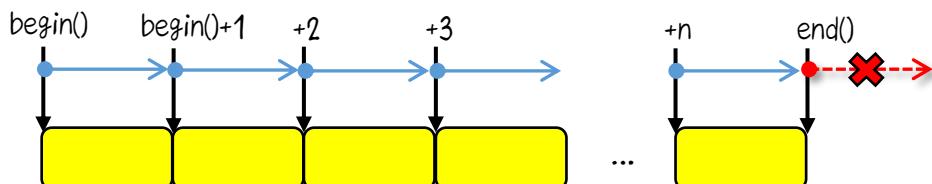
関数名	概要
for_each	指定された範囲内の要素に対して、特定の処理を行う
find	指定された値を検索しイテレータを返す
find_if	条件に合う要素を検索し、イテレータを返す
find_first_of	条件に合う要素の中で最初に見つけたイテレータを返す
find_last_of	条件に合う要素の中で最後に見つけたイテレータを返す(いらんかも)
min_element	要素の中から最も小さい要素を持つイテレータを返す
max_element	要素の中から最も大きい要素を持つイテレータを返す
sort	要素をソート
count	指定した値を持つ要素数を返す
count_if	条件に合致する要素数を返す
all_of	全てが条件を満たせば true
none_of	全てが条件を満たさなければ true
any_of	一つでも条件を満たせば true
fill	指定した範囲内に指定した値を代入。memset みたいになもん。
copy	指定した範囲内に、別の指定した範囲をコピー
copy_if	指定した条件を満たすもののみコピー

generate	指定した範囲に対して特定の関数を適用
transform	指定した範囲に対して特定の関数を適用した値を別のイテレータに代入(generateと似てるがちょっと違う)
remove	指定した範囲の要素を取り除く。実は削除されてないので注意。eraseとの組み合わせで本当に削除される。
remove_if	指定した条件に合致する要素を取り除く。↑と同様に削除されてないので注意。
replace	指定した値 A を別の指定した値 B に書き換える
replace_if	条件に合致する要素の値を、値 B に書き換える
unique	重複した要素を取り除く。実は削除されてない(略)
sample	指定された範囲内からランダムに要素をいくつか抽出する
shuffle	要素をミッドナイトシャッフルする

イテレータについて

STL の vector などの map ってのは「コンテナ」と呼ばれて、色々なルールで要素の集合を格納するものです。そこは大丈夫だと思いますが、要素へのアクセスには色々とやり方があるんですよ。

で、一番基本的なアクセス方法が「イテレータ」と言うものを介すものです。今までしつつ何度も出て来てたんですが、基本的には begin() だの end() だので得ることができます。こいつはポインタのようなもんで、その要素のアドレス先頭を指示していると思ってく



ださい。

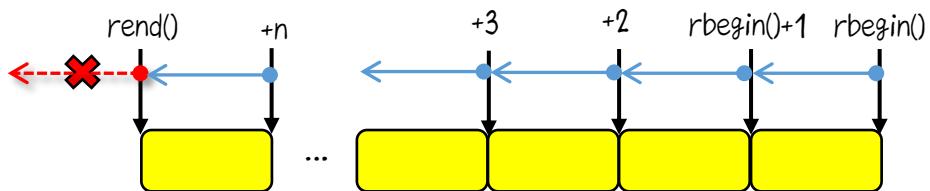
ここまで理解できましたか？

そして、*などで「値」にアクセスする場合はこのイテレータから先に向かう方向にデータを取ってくるイメージなのだ。なので↑の図のように end() はその先にデータがないため、end() に対して値アクセス要求を出すとクラッシュ(というよりアサート)するわけ。

大丈夫？ この辺非常に大事なのでしっかりしてね？ そしてこのイテレータには変な親戚がいるのだ。それが「リバースイテレータ」というやつ。

リバースイテレータについて

リバースという名前から想像がつくと思いますが、逆方向イテレータです。begin() とか rend() から取得します。データとの関係を図にするとこんな感じ。



ただ、逆方向に向いているだけのイテレータだが、これが「スキンメッシュアニメーション」の時とかに意外と使えるのだ。なんとなく頭には入れておこう。

stringについて

`string`は何度も使ってるからもう使う事に対して苦手意識は持っていないかなと思います。`string`は結局のところ `vector<char>`に文字列用のメソッドをいくつか追加しただけのものです。

文字列用のメソッドとは

関数名	概要
<code>+オペレータ</code>	文字列連結
<code>==オペレータ</code>	同じ文字列か比較
<code>c_str()</code>	C言語の文字列表現(つまり文字列ポインタ)を返す
<code>length()</code>	文字列の長さを返す
<code>substr()</code>	部分文字列を返す

こういう関数が独自にあります。それ以外にもいろいろあったりするので、これ以外は自分で調べましょう。

ちなみに `string`についてですが、文字列をチョットどうこうしようと思った人ならこう考えるんじゃないだろうか?

そういうえば `string`ってのは `char` の集合体だよね? 文字って、1バイト文字だけじゃなくて「マルチバイト文字」ってあったよね? あれも `string`を使うの?

と、考えた人は良いところに目を付けていると思います。

実は `string`ってのは、`string`単品で宣言されているわけではなく、見てないところでこう宣言されています。

```
using string    = basic_string<char>; // シングルバイト文字
using wstring   = basic_string<wchar_t>; // ワイド文字
using u16string = basic_string<char16_t>; // UTF16文字
using u32string = basic_string<char32_t>; // UTF32文字
```

勘のいい人はお判りでしょうが、ワイド文字を扱う場合は `wstring` を使用します。当然ながら `string` と `wstring` には型の互換性がないため、もし変換をする際にはかなり面倒な処理が必要になります。

`MultiByteToWideChar` とか `WideCharToMultiByte` とかそういうのを介す必要があります。今の所は本題ではありませんので、飛ばしますが、文字列いじり始めると色々とややこしい事は心に留めておいてください。

stringstreamについて

そういえば C 言語の時は、数字をフォーマットして文字に変換する関数として `sprintf` とかあったけど、`string` でそれに相当するものはないの？ `string` は連結と部分抽出しかできないの？

まあ `string` はそうなんだけどね。モチロンその辺の対応がない C++ ではない。

`stringstream`…つまり文字列ストリームと言うのがある。

例えば `cout` を使う際に

```
cout << "Hello World!" << endl;
```

なんて書くと標準出力に対して `HelloWorld` と出力できるだろう？ これの文字列版があるのだ。

まず

```
#include<sstream>
```

で使う準備だ。

次に文字列ストリーム用のオブジェクトを用意する。

```
ostringstream ss;
```

あとは `cout` の時と同じ要領で数字などをぶっこんでいく

```
ss << "Age=" << 42 << ", Height=" << 160;
```

などと書けば `ss` の中に "Age=42, Height=160" という文字列ストリームができている。確認した

ければ

```
cout << ss.str() << endl;
```

とでも書けばいい。なお str()ってのは文字列ストリームを文字列に変換する関数だ。

ちなみに 16進数とかにしたければ hex を書くことによってそれ以降が 16進数になる

```
ss << hex << "Age=" << 42 << ", Height=" << 160;
```

と書けば

```
"Age=2a,Height=a0"
```

という文字列が得られる。

ちなみに hex は 16進数、dec は 10進数、oct は 8進数である。

また桁数揃え等をしたければ setw を使用します。

0埋め等をしたければ setfill を使用します。

例えば

```
array<ostringstream,5> sss;
for (int i = 0; i < sss.size(); ++i) {
    sss[i] << "Texture_" << setw(3) << setfill('0') << i;
}
for (auto& ss : sss) {
    cout << ss.str() << endl;
}
```

とでも書けば

Texture_000

Texture_001

Texture_002

Texture_003

Texture_004

という出力が得られます。STLに関してはこんなもんですね…。

C++の新しい仕様

前期の授業で C++ の新しい仕様として、

auto, nullptr, 範囲 for 文, enum class ラムダ式

仕様	概要
auto 変数名	右辺値から型を推測して決定
nullptr	NULLとかタッセー奴じゃなくてちゃんとしたヌルオブジェクト
範囲 for 文	インデックスを指定しなくても、全要素のループを記述できる
enum class	先頭に型名を付加することで、従来の enum のような名前重複を防止
ラムダ式	{}でお手軽に関数オブジェクトを作れます

を紹介したわけなんですが…実は代表的で分かりやすい一部しか伝えてないんですね。

非常にありがたい資料があったので紹介しますが

<https://www.slideshare.net/Reputeless/c11c14>

をちょっと読んどいてください。157 ページと、川野先生に負けず劣らずボリューム多しですが、さっと目を通しておくといいと思います。

見る限り、意外と思ったのが代入におけるメモリコピーの無駄をなくす仕様に偏っており、逆に C++ らしくなったよなという印象です。

新しい仕様で知つておいた方がいいのは

- 右辺値参照とムーブセマンティクス
- 配列の範囲
- Emplacement
- minmax, iota

あと、なんとか constexpr がないんでそれも本当は追加したい。

まあ一番ややこしい奴から行きましょうか

右辺値参照とムーブセマンティクス

実はムーブセマンティクス自体は、前期の unique_ptr の時に一度だけ出てきているんですね。std::move を使用して所有権の移動を行ってところで。

で、右辺値参照の話なんですが

代入の際の

左辺値 = 右辺値

の図式で考えちゃうとたぶん理解できないし誤解する。

とりあえず右辺値が変数ではなく一時オブジェクトの場

合に限って 考えてほしい。ちょっと限定的な状況の話だ。

で、今回の限定的な状況の話においてはプログラマが意識してプログラムの方法を変えると
かそういう事じゃなくて、それと C++のメモリ部分の仕様変更が行われてメモリ周りが効率化されたと考えてほしい。

だから僕らが頭を悩ます必要がなくて、逆に昔一生懸命効率化しようとしてた部分が不要になつたと思って良い。

ひとまず、右辺値も左辺値も変数である場合を見てみよう。

```
std::vector<int> lv;
std::vector<int> rv={0,1,2,3,4};
lv = rv;
for (auto v : lv) {
    cout << v << endl;
}
```

これは当然のように全値のコピーが発生します。これはいい。意図したとおりだから。しかし、もし以下のようの場合

```
lv = std::vector<int>(100, 0); //右辺値を破棄してもいいんだからコスト無駄じゃね?
for (auto v : lv) {
    cout << v << endl;
}
```

この場合も古い C++なら一時オブジェクトを生成して、さらにデータコピーが発生していたのだ。ところが新しい C++の場合ならば『所有権の移動』が行われコピーコストが発生しない。つまり、どういうことかと言うとコピーするまでもなく左辺に直接値が入るイメージである。

ここでちょっとした疑問が湧く。2つだ。

- 本当にコピーが発生していないのか?
- 所有権の移動と言うのは一時オブジェクトに参照が変わる事なのか?

いや、仕様なんやから信用しようや。確かにそうなんだけど気持ち悪いのだ。分かんないかな

あ…こういう気持ち。

まあ、そもそも皆さんとしても、検証もしないでっていうのは納得いかないでしょ?という事で検証

まずこういうクラスを作る。

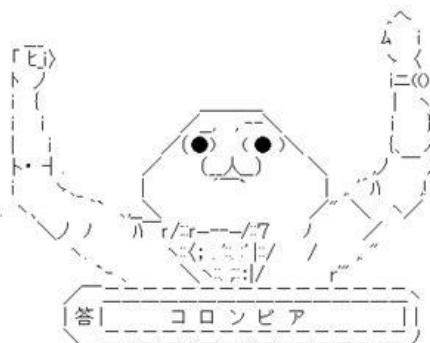
```
struct Boo {
    Boo& operator=(const Boo& b) { // コピー代入オペレータ
        cout << "Copy" << endl;
        return *this;
    }
    Boo& operator=(Boo&& b) { // ムーブ代入オペレータ
        cout << "Move" << endl;
        return *this;
    }
};
```

検証用なので適当である。ともかく重要なのはどちらが呼ばれるかである。

```
Boo a, b, c;
b = c;
a = b;
a = Boo();
```

こういうコードを書いて、結果を予想する。もし右辺値参照が言ってる通りの仕様であるならば Copy Copy Move と表示されるはずだ。実行!!

```
C:\Users\Yr_kawano\Source\Repos\DX12Challenge\x64\Debug\DX12Challenge.exe
Copy
Copy
Move
```



という事で、信用していいわけだ。おっともう一つ検証しなければならない。もし一時オブジェクトの所有権が左辺値に移るという事が、左辺値の参照先が一時オブジェクトを指し示すという事ならばアドレスが変わっているはず。逆に左辺値の値を直接書き換えていた状態ならアドレスは変わらない。さあどちらだ!!!

```
cout << hex << &a << endl;
a = Boo();
cout << hex << &a << endl;
```

```
C:\Users\r_kawano\Source\Repl
Copy
Copy
000000C01755F9C4
Move
000000C01755F9C4
```

オッケー!! 安心してこの仕様に乗つかろう!!

ちなみにしれっと書いたけど

```
Boo& operator=(Boo&& b)
```

これがムーブオペレータである。ちなみに関数の戻り値として使用する場合だが

```
Boo GetBoo() {
    Boo b;
    return b;
}
```

(中略)

```
a=GetBoo();
```

とか書くとどうなんだろう?

```
Move
```

アツハイ

ムーブしか発生してませんね。なるほどなるほど。

ちなみにこの右辺値参照を強制(つまりコピーを禁止)するにはどうするかというと

型名`&&` 变数名;

の宣言を行う。

`Boo&& boo=GetBoo();`

であるとか

`Boo&& Foo = Boo();`

のように書くと右辺値は一時オブジェクトである事を強要される。つまり`&&`がつけられた左辺値には変数を右辺値に取ることはできない。

つまり

`Boo a, b, c;`

`Boo qoo = a; //OK`

`Boo& poo = a; //OK`

`Boo&& woo = a; //NG`

となる。あああああああああああややこしい。で、最後の行が NG になっているんだけど std::move を使えば強制的に所有権が移動し、OK 牧場となる。

`Boo&& hoo = std::move(a); //OK`

さて、この場合は流石に所有権の移動が行われているだろう。つまり

`cout << hex << &a << endl;`

`Boo&& hoo = std::move(a); //OK`

`cout << &hoo << endl;`

の結果は

The screenshot shows a terminal window with the following output:

```
C:\Users\r_kawano\Source
0000005F6D8FF874
0000005F6D8FF874
```

となる。完全に所有者が hoo になってしまっている。では元の a はどうなっているのかというと

`cout << hex << &a << endl;`

`Boo&& hoo = std::move(a); //OK`

`cout << &hoo << endl;`

`cout << &a << endl;`

と書いたところ

ということで、まだ a も所有権を持っていそうだが、一応仕様上は所有権がないということな

```
C:\Users\r_kawano\Source\repos\test>00000054A9CFF374
00000054A9CFF374
00000054A9CFF374
```

ので、どうなっても知らんよという事。つまり move してしまったら中身を使えると思うなという事。

もうガチでややこしい仕様やったわ…。ちょっと横道に逸れるだけのつもりやったのにガチ説明したわ。

配列の範囲

これはあれやな。配列の場所をイテレータとして使えるんやけど前まではポインタとそれ+範囲の先という指定をしておった。

つまり

```
int a[] = { 1,3,5,7,9,11 };
std::for_each(a, a + _countof(a), [](auto v) {cout << v << endl; });
```

こう書いていたのを

```
int a[] = { 1,3,5,7,9,11 };
std::for_each(begin(a), end(a), [](auto v) {cout << v << endl; });
```

こう書けるようになった。

いや~、でかい、でかいよこれは。ありがたい。

Emplacement(emplace,emplace_back)

例えばこのようなクラスを作る。

```
struct Vector3 {
    Vector3() {};
    Vector3(float inx, float iny, float inz):x(inx),y(iny),z(inz) {}
    float x, y, z;
};
```

こいつのベクタを作る。

```
vector<Vector3> vertices;
```

で、こいつに push_back したいとする。但し、push_back の引数は Vector 型であるため、
vertices.push_back(Vector3(1, 2, 3));

とする必要がある。

が、emplace_back を使用すれば、Vector3 の一時オブジェクトを使う必要がない。

```
vector<Vector3> vertices;
```

```
vertices.push_back(Vector3(1, 2, 3)); // 一時オブジェクト生成 & コピー
```

```
vertices.emplace_back(4, 5, 6); // 直接生成 & 値の設定
```

```
vertices.emplace_back(7, 8, 9); // 直接生成 & 値の設定
```

```
std::for_each(vertices.begin(), vertices.end(), [](auto v) { cout << v.x << ", " << v.y << ", " << v.z << endl; });
```

ご覧のように emplace_back の方がコード量も若干少なくなりますし、一時オブジェクトも作られないないので、場合によってはメモリの効率化にもつながります。若干だと思いますが。

(おまけ)minmax と iota

最後はオマケみたいになもんやな…。まずは minmax から

<https://cppref.jp.github.io/reference/algorithm/minmax.html>

『同じ型の 2 つの値、もしくは initializer_list による N 個の値のうち、最小値と最大値の組を取得する。』

最後の引数 comp は、2 項の述語関数オブジェクトであり、これを使用して比較演算をカスタマイズすることができる。

例えば

```
auto mm=minmax({ 0,1,2,3,4 ,8,2,-6,-2,3,100,120,-12 });
```

```
cout << mm.first << "<=value<=" << mm.second << endl;
```

なんて実行すると

C:\Users\r_kawano\Source
-12<=value<=120
なるほど

じゃあこれは…?

```
std::vector<int> rv = { 0,1,2,3,4 ,8,2,-6,-2,3,100,120,-12};
```

```
auto mm=minmax(rv.begin(), rv.end());
```

これはダメなんです。

begin の大きさと end の大きさを比べてしまうので、予想したような結果になりません。

minmax はあくまで二つの値もしくは initializer_list の大きい方と小さい方を返すだけっぽいです…惜しいなあ。

次に iota ですが、これは要素を連番で埋めるというものです。

#include<numeric>

で使えます。

```
std::vector<int> rv = { 0,1,2,3,4 ,8,2,-6,-2,3,100,120,-12};
std::iota(rv.begin(), rv.end(),0);
for_each(rv.begin(), rv.end(), [](auto v) {cout << v << endl; });

```

とやると

```
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
```

となります。

役に立つかなあ…。

ちょっと minmax と iota は微妙やったかも。

const と constexpr

もう一つ新しい仕様として const のもっと厳密な奴と言うかコンパイル時 const にあたる constexpr と言うやつが追加されている。

もともと C 言語の時に

```
#define RIGHT_VALUE 16
```

てな感じで定数を定義していたやつを

```
const int RIGHT_VALUE=16;
```

って書いてたんだよね。間違ってないんだけど、今まで const 使ってきたから分かるでしょ？

所詮 const ってそのスコープの中で書き換えが発生しないって事やから実行時に右辺値が分かつてなくても OK なんよね。それはそれでいいし、使える仕様なんですが define の代わりに

使う意味の `const` としては弱くなつたんよね。

それで出てきたのが `constexpr` です。

コンパイル時に右辺値が決定できないとエラーを吐くわけ。だからマジックナンバー回避のための定数などには `const` ではなく `constexpr` を使うのが最近の流れです。

だから

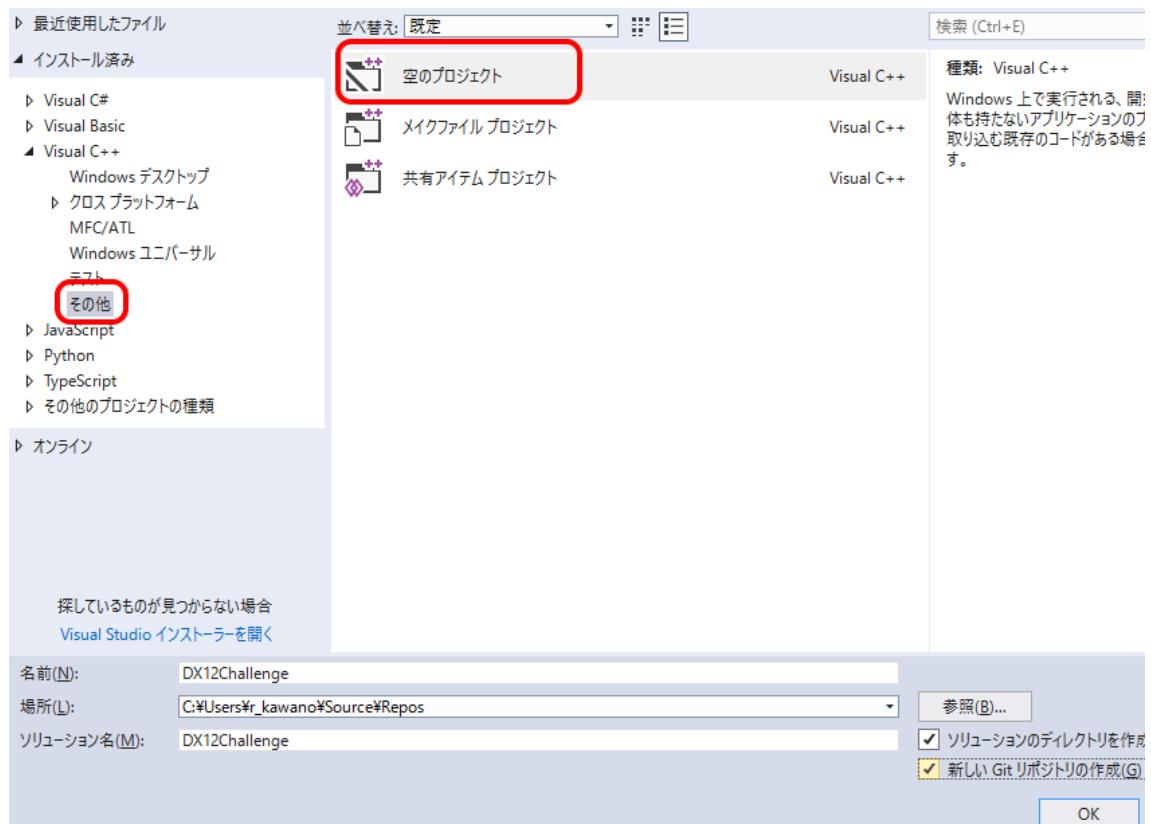
```
constexpr int ppp = Get(); // NG
```

```
const int qqq = Get(); // OK
```

というわけですね。

とりあえず新しい仕様としてはこんなもんかな。なんでこれ話してきたかと言うとたぶんこの先、僕がしぶと新しい仕様に沿ったコード書いてみんな混乱するかもしれないんで最初に言っておきました。

まずはプロジェクトを作ろう



空のプロジェクトを作るとこからですね。

で、メイン関数を作るのはですが、mainでもWinMainでもどっちでもいいです。mainを出すとコンソール画面が出てくるくらいの違いしかないです(他にはHINSTANCE hInstでアプリハンドルを取ってこれるくらいしか違ひがない)。

ぼくはエラーが出しやすいという理由でコマンドラインの方を使います。

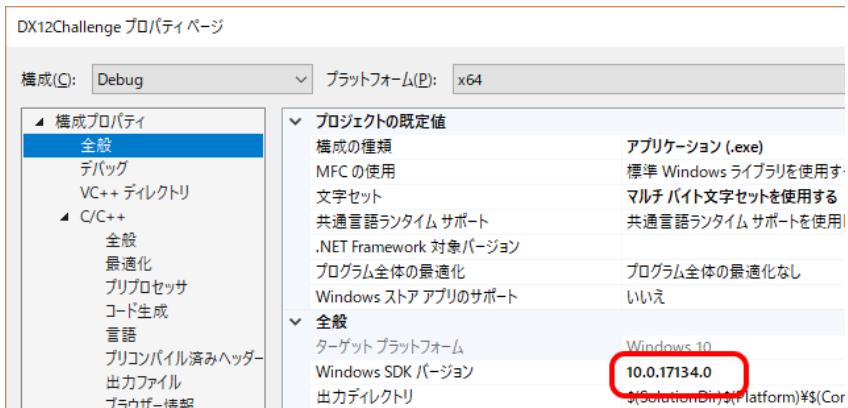
```
int main() { //①…コマンドラインありの時
    int WINAPI WinMain(HINSTANCE hInst, HINSTANCE, LPSTR, int){ //②…コマンドラインなしの時
        cout << "Fuck You" << endl;
        getchar();
        return 0;
    }
}
```

別にどちらでも構いません。あ、Windows アプリケーションなので

#include<Windows.h>

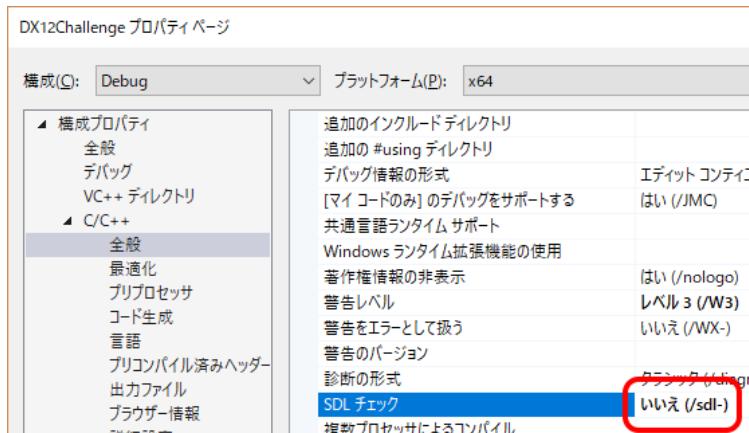
をインクルードはしておいてください。あ、ちなみにメイン関数があるcppはmain.cppとします。ただただ main を実行するのみの関数ですね。

で、プロジェクトの設定に入りますが

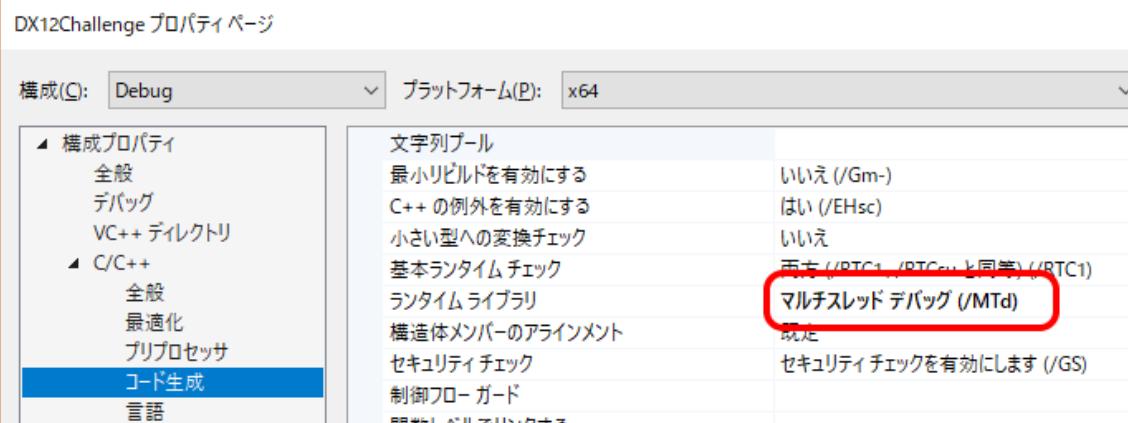


WindowsSDK が最新なのを確認してください。

次に C++ の全般で SDL チェックをいいえにします。



これしてないと、C 言語標準のメモリ処理の関数やら文字列処理の関数やら出てきたときに _S 使えとかローカルルール押し付けられてうざいので、こうしておきます。はい、次にちょっと面倒な部分ですが、コード生成を「マルチスレッドデバッグ」に書き換えます。



とりあえずウィンドウ出すまでならここまでで十分。

じゃあウィンドウ出すか

ここから既に DxLib とは違いますので頑張りましょう。クソみたいに面倒くさいです。でも、細かく解説しません。ウィンドウ生成について細かく知りたい人は「猫でも分かるプログラミング」でも読んでください。

あまり main.cpp は汚したくないので Application クラス作りましょう。シングルトンで作ってきましょうか。

で、DxLib の時と似たような感じで作っていきます。とりあえず

```
Initialize()
Run()
Terminate()
```

のそれぞれの関数を作つておきます。main 側からはこの3つを呼ぶだけにしておきたいです。もちろん Run の中にメインループが入っているイメージです。

で、ウィンドウ作るときにやたらと「ハンドル」ってのが出づります。

HINSTANCEとかHWNDとか

一応 Windows とか DirectX 界隈では当然のように Handled-Body / パターン的のが使用されていて、実際 DxLib におけるリソースのほとんどの戻り値もこれだ。あれは int で使いやすいけどね。

ただ、Windows プログラミングにおいてこいつの型は単なる整数型(というかアドレス型)のくせに windows.h で typedef だかなんだかやってるせいで windows.h(windef.h) をインクルードしなければ使えないんですが、その値を Application クラス内で保持するためにはヘッダ側へのインクルードとなって、ちょっとイヤ。

こういった時に選択肢は3つくらいある。1つではないと思ってください。プログラミングに一つの答えなんて存在しない。必ずいくつか選択肢を見つけて、その中から明確な根拠で選んでください。場合によっては「一番シンプルで簡単そうだから」でもいいです。ただし、必ず選択肢をいくつか用意してください。

で選択肢ですが

1. 割り切ってヘッダでインクルードする
2. ハンドルをヘッダ側で使用せず cpp 側のグローバル的な領域(cpp スコープ)で宣言、初期化、使用する
3. Window などのデコレートクラスもしくは DxLib のように別テーブルで int 管理する

正直ここは後々の拡張性まで考えて、闊沢な時間さえあれば 3 番を用いたいところだけど、ここは 2 番くらいが時間的な意味でも妥当かなと思う。1 番はやっぱり生理的にイヤ。

とりあえず「ウインドウズのウインドウを作るのに DxLib の時は DxLib_Init で済んでたんだけど(ホントはそれだけじゃなくてデバイスとかその他初期化してくれてる)、ウインドウを「作る」だけで

```
WNDCLASSEX w = {};
w.cbSize = sizeof(WNDCLASSEX); // これ、何のために設定するのさ…?
w.lpfnWndProc = (WNDPROC)WindowProcedure; // コールバック関数の指定
w.lpszClassName = _T("DirectXTest"); // アプリケーションクラス名(適当でいいです)
w.hInstance = GetModuleHandle(0); // ハンドルの取得
RegisterClassEx(&w); // アプリケーションクラス(こういうの作るからよろしくって OS に予告する)
```

```
RECT wrc = { 0,0, WINDOW_WIDTH, WINDOW_HEIGHT };//ウィンドウサイズを決める
AdjustWindowRect(&wrc, WS_OVERLAPPEDWINDOW, false); //ウィンドウのサイズはちょっと面倒なので関数を使って補正する
```

```
HWND hwnd = CreateWindow(w.lpszClassName,//クラス名指定
_T("DX12テスト"),//タイトルバーの文字
WS_OVERLAPPEDWINDOW, //タイトルバーと境界線があるウィンドウです
CW_USEDEFAULT, //表示X座標はOSにお任せします
CW_USEDEFAULT, //表示Y座標はOSにお任せします
wrc.right - wrc.left, //ウィンドウ幅
wrc.bottom - wrc.top, //ウィンドウ高
NULLptr, //親ウィンドウハンドル
NULLptr, //メニューハンドル
w.hInstance, //呼び出しアプリケーションハンドル
NULLptr); //追加/プラメータ
```

このくらいのコードが必要になる。

で、ウィンドウ出るかい?まあ出ないんだな、これが。「ウィンドウハンドル」というウィンドウの素を作っただけなんだわ。

ここでしくじることは99.9%くらいないと思うけど、あ、最初に#include<windows.h>しといでね。

もし失敗した時にキャッチできるよう

```
if (hwnd == NULLptr) {
    LPVOID messageBuffer = NULLptr;
    FormatMessage(FORMAT_MESSAGE_ALLOCATE_BUFFER | FORMAT_MESSAGE_FROM_SYSTEM |
        FORMAT_MESSAGE_IGNORE_INSERTS,
        NULLptr,
        GetLastError(),
        MAKELANGID(LANG_NEUTRAL, SUBLANG_DEFAULT),
        (LPWSTR)&messageBuffer,
        0,
        NULLptr);
```

```

OutputDebugString((TCHAR*)mssageBuffer);
cout << (TCHAR*)mssageBuffer << endl;
LocalFree(mssageBuffer);
}

```

のコードも追加しておいた方がいいね。まだウィンドウは出ないよ。

ただ、ここまでがウィンドウの初期化処理なので、これを InitWindow 的な関数を作って、その中に入れておいてください。

で、一応ウィンドウ出すのなんてハンドルがあればあとは ShowWindow 関数で終わるんだけど

```
ShowWindow(hwnd, SW_SHOW); // ウィンドウ表示
```

これはちょっと InitWindow に入るのはやめておこう。どっちかというと Run に入れたいい。

次に DxLib の時にもあったと思うけどメインループだ。これは Run の中に書いてほしい。一応やり方としては無限ループがまして、ウィンドウ破棄のタイミングでループを抜けられるイメージで。

```

if (PeekMessage(&msg, NULL, 0, 0, PM_REMOVE)) { // OSからのメッセージを msg に格納
    TranslateMessage(&msg); // 仮想キー関連の変換
    DispatchMessage(&msg); // 处理されなかったメッセージを OS に投げ返す
}

```

```

if (msg.message == WM_QUIT) { // もうアプリケーションが終わるって時に WM_QUIT になる
    break;
}

```

こんな感じでループ抜けを書いておく。

で、Terminate()あたりに

```
UnregisterClass(w.lpszClassName, w.hInstance); // もう使わんから登録解除してや
```

と書けば、一応ウィンドウ表示まで完成です。ひとまずお疲れ様。言いたいところやけど、ひとつ忘れとったわ…いつも忘れる。ウィンドウプロシージャを忘れてた。こいつは

「コールバック関数」と言って、OS から呼ばれる関数を定義しなあかんのですよ。ということで定義

//めんどくせーし、あまりゲームに関係ないけど書かなあかんやつ

```
HRESULT WindowProcedure(HWND hwnd, UINT msg, WPARAM wparam, LPARAM lparam) {
    if (msg == WM_DESTROY) { // ウィンドウが破棄されたら呼ばれます
        PostQuitMessage(0); // OSに対して「もうこのアプリは終わるんや」と伝える
        return 0;
    }
    return DefWindowProc(hwnd, msg, wparam, lparam); // 標準の処理を行う
}
```

こいつはクラス内関数やなくて、通常の関数として宣言して置いてください。結果的には main.cpp が

```
#include "Application.h"
```

```
int main() { // ①…コマンドラインありの時
    // int WINAPI WinMain(HINSTANCE, HINSTANCE, LPSTR, int){
        auto& app = Application::Instance();
        app.Initialize();
        app.Run();
        app.Terminate();
        return 0;
    }
}
```

このようになるようにしておいてください。

ちなみに軽く解説しておくと…これ、面倒なんで昨年の授業のテキストから一部コピーしてくると

アプリケーションのハンドル

何なんでしょう…これはマイクロソフト系のプログラムでありがちなものなのですが、Handle-Body イディオムとも呼ばれるんですが意味合い的には DxLib におけるグラフィックスハンドルみたいなもんです。あれはロードした絵を操作するためのものでしたが、今回はアプリケーションを操作するための「ハンドル」だと思ってください。持ってくる方法は至って簡単

ウィンドウアプリケーションなら

```
int WINAPI WinMain(HINSTANCE hInst, HINSTANCE hPrevInst, LPSTR, int cmdShow){
```

～中略～

}

この **hInst** がアプリケーションのハンドルにあたります。このハンドルはウィンドウを表示するために必要なものになります。

軽く理由を説明しておくと…

ウィンドウを表示するのは「アプリケーション自身」に思えますが、実際は「OS(Windows)」です。ちょっと難しい概念なんんですけどね。ディスプレイやマウスやキーボードやスピーカーなどのデバイス周りを制御するのは OS なんですよ。モバイル機器でも同様なんんですけど、OSってアホほど色々やってるんですね。

で、そのデバイスの一つであるディスプレイに「ウィンドウ」を表示するのは OS の役割であり、OS にその仕事をさせるためには「持ち主は誰か」を OS に教えておく必要があるのです。

…何となくわかりますかね？君のプログラムが直接ウィンドウ出してるわけじゃないんです。だからこのハンドルを OS に教えることによってウィンドウを表示したりするわけです。

ちなみに DirectX ってのはこの OS がやっている仕事を DirectX が一部「ぶんどって、ドライバに対して直接命令を出し、より高速に描画処理をするためのものです。

なお、コンソールアプリケーションでも今実行中のプログラムのハンドルを得ることができます。

`GetModuleHandle` という関数で取得できます。

```
HINSTANCE hInst=GetModuleHandle(nullptr);
```

あと、この授業を受けるときには徹底してほしいことが一つあって、それは

知らない関数が出てきたら、MSDN の関数を必ず確認しよう

です。OS 周りや DirectX 周りの関数は結構罠が多くて、きちんと読まないと予想外の仕様にハマる事になります。

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc429129.aspx>

ちなみに↑のリンクは `GetModuleHandle` の MSDN リファレンスです。「必ず」読むクセをつけましょう。マニュアル読み！ハードやライブラリの仕様読み！！はプロになってからももちろん徹底してください。読まずにドツボにハマる奴が多すぎる（プロでも）

ちょっとここでいい機会なので、僕の授業を受けるときの鉄則を書いておきます。

鉄の掟

- マニュアルは必ず読む(MSDNなどの信頼できる物を必ず隅から隅まで読んでください)
- 分からなかつたらすぐ聞く(先生でも友人でもいいので、分らないままにしない事)
- 休まないように(基本的に、休むとワケ分らない事になります。そういうやつを僕はフォローするつもりは一切ないです。機能が実装できなければ落第ですので気を付けてください)
- 寝ないように(出席しても寝てたら同じです。いや俺に面白みがなくて眠いのはわかるけど、それは改善しようと思ってるけど、眠ること自体は君の問題です。寝りやあその分君は学費を無駄にしてるんです。家で十分な睡眠を取って、授業を聞かない時間を極力つくりないようにしてください。寝ててついでいけない奴をフォローしません)
- 授業中のトイレも同様です。トイレに行っても基本授業は止まりません。授業中にブリュリュリュやられても困りますが、そこは自分で判断して可能な限り我慢してください(休み時間に出すだけ出し切ってください)
- 放課後に少なくとも 1 時間は制作の時間を割り当ててください(それくらいじゃないとゲームコンテストにも就職活動にも間に合いません。世の中そんなに甘くはないです。)
- 学外の制作会(福大のハ耐など)や勉強会(Unity 勉強会とか UE4 勉強会など)に一度は参加しましょう。学校の狭い範囲内の価値観ばかり見ていると作るもののがショボくなりがちです。逆に他校のを見ると自信がつくかもしれませんし。
- ↑と同じ意味で他校の発表会もチェックしておきましょう。TGS に行く人は企業ブースばかりでなく他校のブースをスパイしましょう。

さて解説に戻るがこのアプリケーションのハンドルを用いて OS にウインドウを表示してもらうのだけど、これもまた結構面倒なのだ。

手順が

1. ウィンドウクラスの作成→登録(RegisterClass)
2. ウィンドウサイズの設定
3. ウィンドウオブジェクトそのものを生成(CreateWindow)
4. ウィンドウを表示>ShowWindow)
5. ループ

となります。このウィンドウクラスを作る際にアプリケーションハンドルが必要になります。また、ウィンドウクラスを作る際にはウィンドウプロシージャなるものも作る必要があり、結構面倒なのです。

次回以降自分でウィンドウ出す際にはこの手順を思い出してください。

基礎知識説明①

シェーダ

シェーダ、シェーダと言うとりますけれども、「誰やのあんた!?」って思ってる人も多いと思います。こいつは言うたら、表示に関わる言語で C/C++ と違うものです。GPU 上で動作する言語でございます。HLSL(High Level Shader Language)と言って、C 言語っぽい見た目はしておりますが、別物でございますので、ご注意ください。

シェーダの種類は現在の所

- VS:頂点シェーダ(バーテックスシェーダ)
- PS:ピクセルシェーダ(フラグメントシェーダ)
- GS:ジオメトリシェーダ
- HS:ハルシェーダ(テセレーションシェーダ)
- CS:コンピュートシェーダ

などの種類があります。

最初に使われるのが恐らく頂点シェーダとピクセルシェーダでござりますね。DX11 以降においては少なくとも VS と PS の 2 つを定義しないとそもそもポリゴンを 1 枚表示することもできません。

という事で、みなさん、この DX12 の授業ではシェーダは避けて通れないんです。フヒヒ (DX11 の頃からシェーダは必須でしたけどね)

ちなみにこの中に仲間外れがいます。CS:コンピュートシェーダです。そもそもシェーダというのは名前から想像できると思いますが、本来は陰影をつけるための計算をするものでした。

ところが、GPU 自体が並列処理に優れているという理由で「シェーディング」や「幾何学」と関係のない部分で使用されました。これを GPGPU といい、それを行うためのシェーダを「コンピュートシェーダ」と言います。ですから、この後に説明する「レンダリングパイプライン」の環から外れた存在なのです。

レンダリングパイプラインについてはのちほど解説します。

頂点シェーダ

その名の通り頂点をいじくりまわすシェーダです。3D オブジェクトが無数の頂点でできているのは知っていると思いますが、頂点情報が GPU に送られ、描画コマンドが走ると真っ先に実行されるシェーダです。

当たり前ですが、頂点情報は頂点の集合体にすぎません。ですから移動とかしませんし、カメラ変換とかもしませんし、そのままだと 3D なので 2D に変換してやる必要があります。

それをやるのが頂点シェーダです。1つ1つの頂点につき 1 度実行されますので、1 万頂点のモデルなら 1 万回実行されます。ただし、頂点情報は GPU 側にあり、シェーダも GPU 側で実行されるため超高速です。1 万回でも一瞬です。

初步的な主な仕事は座標変換行列データを CPU 側から渡してやって、その行列を頂点情報に乗算し最終的な座標に変換するのがお仕事です。

ピクセルシェーダ

ピクセルシェーダはその名の通りピクセルを塗りつぶすときに発行されるシェーダです。頂点シェーダで変換された頂点情報を「ラスタライザ」がラスタライズして(ピクセル情報に変換して)、その塗りつぶすべき 1 ピクセル 1 ピクセルに対してピクセルシェーダが呼ばれます。

つまり、長方形ペラポリをウインドウいっぱいに 1 枚描画したとするとその解像度分のピクセルシェーダが実行されます。例えば 1280×720 のウインドウであれば 921,600 回実行されるわけです。怖いですね~。ですから昔はピクセルシェーダで複雑な計算はご法度で、DX9 の頃は演算回数制限があったほどです(超えてるとシェーダコンパイル時にエラーが出ます)。

参考までに PixelShader1.0 の演算回数は 8 で PixelShader2.0a の制限は 1024 です。一気に増えましたねえ…。

ちなみにシェーディングとかもピクセルシェーダで行いますが、昔は処理量を減らすために頂点側でシェーディングして、あとはラスタライズ時の補間に任せるという安っぽいテクノロジがありました。

ピクセルシェーダの基本的な役割は

最終的に塗りつぶす色を決定する

です。このためにテクスチャの参照とかシェーディング計算とかやることになります。

ジオメトリシェーダ

さて、ジオメトリシェーダですが、こいつ、何なんすかねえ？

頂点とピクセルは分かつた。ではジオメトリシェーダとは何なのだ？ジオメトリとは幾何学と言う意味だ。

言うてしまうと、ジオメトリシェーダによって新たな頂点を作ることができます。これにより全頂点からライトベクトル方向に引き延ばした頂点を作ることで「ボリュームシャドウ」などを作ることもできます。



ただ、ボリュームシャドウは最近あまり聞かないるので、たぶん実用的じやないんじやないかなあと思ってたりします。

ちなみに受け取るデータは「頂点」ではなく「プリミティブ」です。頂点一つ一つではなく三角形ひとつひとつです。ですからある意味「ポリゴンごと」の処理ができる唯一のシェーダだったりします。

なのでポリゴン単位に色々とおもしろい事ができるはずっちゃあできるはずなんだけねえ…。

ちなみにこういう事も出来るっぽいです。

<https://wlog.flatlib.jp/item/1070>

ああ～楽しそうなんじゃよ～。

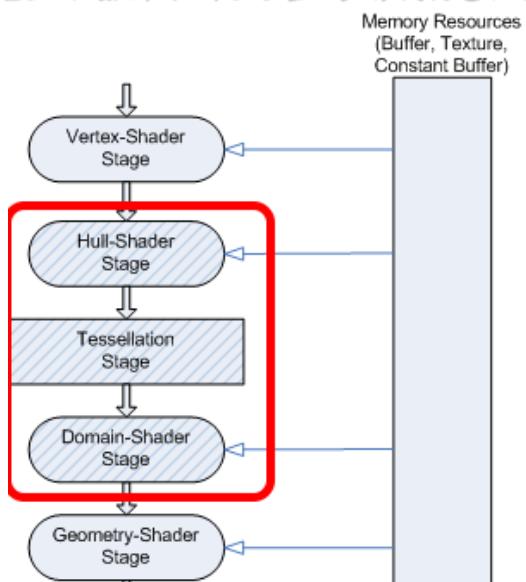
とりあえずそういうのがあって、なんか活用できそうなアイデアがあったら使いたいと思ひます。

ハルシェーダ(テセレーション)

次にハルシェーダです。ハルシェーダの話をするまえに「テセレーション」とは何かをお話しいたします。

テセレーションと言うのは、おおざっぱに言うとポリゴンを元の状態からさらに細かく分割する仕組みの事です。いわゆるサブディフ的な奴ですね。OpenSubdivだったので活用されてたり、また、ハイトマップ(高さマップ)と組み合わせることにより、ノーマルマップやパララックスマップみたいに「見せかけの」凸凹にするまでもなく、実際に凸凹を出現させることができます。

正直、使ったことがないので良く分からんのですが、テセレーションの前にハルシェーダを実行し、テセレーションの後にドメインシェーダが実行されるようです。



どうも、ハルシェーダが分割/パッチのコントロールポイントを定義したり、分割の際のパラメータを定義するところのようです。実際の分割はテセレーションステージで行われますので…。

で、テセレーターが分割して、それがドメインシェーダに渡されるようです。この分割後につながった新しい頂点に対して、頂点シェーダと同じような事をする部分のようです。

…まあ時間があつたらデモ的なものを作ろうかなと思つてしたりします。

最後に仲間外れのコンピュートシェーダですが、これも使つたことはありません

コンピュートシェーダ(GPGPU)

これは何かというと、描画に基本関係しないシェーダです。シェーダなのに描画に関係しないとはこれ如何に…?

ちなみにレンダリングパイプラインのどこにも ComputeShader はありません。

先にも言いましたが、レンダリングパイプラインの流れの外にあります。ではなぜシェーダなのかと言うと、とにかく GPU 上で動くプログラムを慣例的に「シェーダ」と言ってるからに過ぎません。

つまり ComputeShader というのはホンマは CPU でやるべき数値計算を GPU 側でやってると思ってくれればいいです。GPU は速いというのがゲームや CG 業界以外にも知れ渡つてしまつて、数値計算やディープラーニングや、仮想通貨マイニングに使われるようになつてゐるわけです。

もちろんゲームでも物理計算だの衝突判定だの使用するので、ゲーム的にもこの GPGPU(汎用 GPU コンピューティング)は役に立つています。

使つたことないのであまり言うとぼろが出そうのですが、分かる部分でちょっと注意をしておきます。

『そんなに早いんなら全部 GPU に処理を渡せばええんちゃうのん?』

と思うかもしれません、ちょっと違うんですよ。CPU1コアと GPU1コアだと明らかに CPU の方が計算速度も速いし、複雑な演算も処理できます。1つ1つの性能は CPU の方が高いのです。

じゃあなぜ GPU が速い速いと言われているのかと言うと、画像の描画に特化して進化してきたため演算自体にそれほど複雑な計算が必要ない1コアを「大量に」並べることで高速化を図ってきたのです。

それなりのスペックの PC だと CPU がだいたい 18 コアくらいなのに対し、GPU は数千個…

多分今のスーパーな GPU なら万言てるんじゃないかなと思います。調べてないから知らんけど。

まあ言ったら、数学の先生 1 人に対し、四則演算くらいしかできない中学生が 1000 人いて、中学生がそれぞれ手分けして作業するのと先生 1 人で作業するのと比べるようなもんやね。

やからあんまり複雑な命令を出すと、いくら 1000 人の中学生でも無理なものは無理だし、その代わり大量の単純計算なら圧倒的に 1000 人中学生の方が速い。

CPU と GPU はそういう違いがあると思っておいてください。だから、GPU は大量の頂点とか、大量のピクセルとかを処理するのが得意なわけや。

ちなみにそういう理由から、GPU は全員で働く状況をお膳立てしてやれば最高のパフォーマンスを引き出せるって事です。

で、おせん立てってのは並列化を阻害しないって事…並列化を阻害する要因はいくつかあるんですが、よく言われるのが『分岐』ですね。その他いろいろあるんですが、勉強不足でこれ以上は今は言えんです。すみません。先に進みましょう。

この辺書いてて思ったこと

いや、本当、俺さ、時代の流れについていけないよなあって思う。俺がここにきて 7~8 年経つんだけど、来たばかりの時はだれもスマホ持てなかつたよ。俺は持てたけど…みんなが持つようになってスマホ使わなくなつたけどさ。まあともかくそんな時代からスマートホンが当たり前になって、その間にもゲームを取り巻く状況が色々と変わっていくって、ねえ? ゲームエンジンが出てきたからプログラマは楽ができるようになって、実力がそうでもない! 学生も就職できるようになって C++ とかもう要らないって言われたりしたと思ったらやっぱり Unity が Scriptable Render Pipeline 発表してプログラマの負担が間違ひなく上がってくると思うようになつたり、ソシャゲの方が収益率が高いからってみんなそっちに言っちゃつたり、Steam が出てきますますコンシューマ勢が弱くなってきたかなと思つたら相変わらず任天堂がつよかつたり、てやつてる間にシェーダーは VS と PS だけだった時代から今みたいに VS, PS, GS, HS, DS, CS ってな時代になつたり、ユーチューバーが出てきたと思ったら Vtuber だし VR だし、VR 元年とか言ってたソニーが一人負けしそうだしそれでも相変わらずクソゲークソ映画は量産されてるし仮想通貨が割とすごい事になつたりディープラーニングがかつてと別物として活躍したり昔はクソ遅くて実用に耐えな

いって言われてたレイトレーシングがリアルタイムで実現しようとしているしでもちろん7年ってのはそれくらい変化するのは当然なんだけど振り返るとホントすごいなと思うわけ。俺がゲーム業界の中にいた頃はそれほど変化してなかつた気がするんだが…。という事で何が言いたいのかと言うとみんな大変な時代にゲーム開発者を目指すんだねえってこと。

技術的にも文化的にも激動の時代になってるんですね。正直大学、専門学校はそれについていけない気がします。

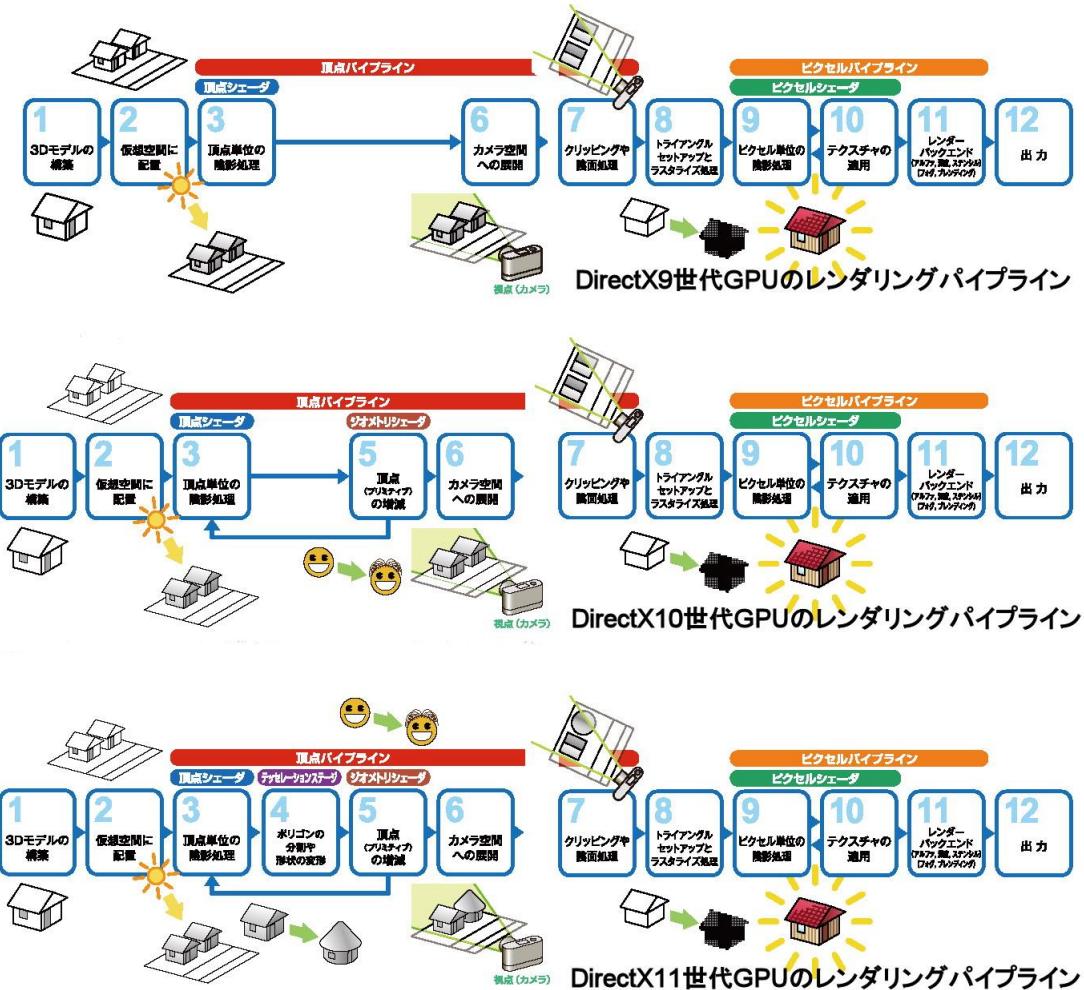
パンナムさんも「もはや学校にまかせておけませんから(キリッ)って言っちゃう状況。これは本当にそうで、我々がクソザコナメクジなのがほんま…ホンマに不甲斐ないつ…!!

さて、話を戻してではここで出てきたレンダリングパイプラインとは何ぞや?

→次ページへ

レンダリングパイプラインについて

レンダリングパイプラインというのは3Dデータの入力からどのようにデータがやり取りされ、最終的な画面出力になっていくのかの流れを示したもの。以下にレンダリングパイプラインの移り変わりの図をパクってコピペします。



西川善司の3DゲームファンのためのE3最新ハードウェア講座

ちなみに「レンダリングパイプライン」自体はDirectX12も11と変わりません。ちなみにDX9の頃からピクセルシェーダ側ってあまり変わってないんですねえ。

んまあとはいっても、今後はどうなるか分かりませんからねえ。レンダリングパイプラインってのは上の図のような出力までの流れですね。一応シェーダについてはさっき話したので、よく見てほしいのは、ラスタライズとかね。

流れをとにかく把握しておいてほしい。ちなみに一度ラスタライズまでくればあとは基

基本的にピクセルシェーダを経て、レンダーターゲットにレンダリングって事なんですが、レンダーターゲットニ画面上に表示ではない事には注意しておいてください。基本的に裏面に描画ですが、それ以外の部分にも書き込みます。それによっていろいろとテクがありましたりするわけです。

で、DirectX12 をやっていく上ではこのレンダリングパイプラインの把握が非常に重要な事になってくるので、しっかり頭に叩き込んでおいてください。

ちなみにパイプライン処理に関しては Wikipedia が分かりやすいと思いますので
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%91%E3%82%A4%E3%83%97%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%B3%E5%87%A6%E7%90%86>
読んでおきましょう。

DirectX組み込みに入る前に

ひとつ言っておくと、DirectX12 はいまだに日本語訳されていない。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/directx-12-programming-guide>

これはもはや『翻訳する気がない』のではないだろうかと思う。もしそうなら君たちはチャンスなのだ。日本語訳されないそれだけで『参入障壁』となるからである。

ぶっちゃけこの責め苦に耐えられる奴らは、それでも参入障壁以前にクソ強い事を保証しよう。まあクソ強くてもセオリーは押さえんと負けるので、そこは学ばないといけないし、結局作品は作らないといけないんで、あまり油断しないようにしよう。

まあ資料が英語だけだけど、大丈夫!! どうせプログラミング言語も英語みたいになもんだ!!
(実は『英語』という言葉にビビってるだけということはよくある)

もっと言うと、卒業生の〇野くんとかは卒業して結局英語の論文とか読む羽目になるらしい。ゲーム開発者になるってのはそういうことです。ああ、楽しさだから他の職業にしよう? 本当に楽かな?

『自分が興味ある事には労力を惜しまない』習慣を今のうちに育てておくのは大事だと思います。ゲーム開発がそうでないというのならば、今のうちに別の何かを自分で探してください。僕もゲーム開発以外でのサポートはできませんので、自分で何とかしてください。

ちなみに DirectX12 の参考訳として

<https://www.isus.jp/games/direct3d-overview-part-1-closer-to-the-metal/>

があるので、一通り目を通しておいてもらうと、英語のドキュメントも読みやすいと思います。

ちなみに MS のサンプルコードは武骨すぎるので

<https://sites.google.com/site/monshonosuana/directxno-hanashi-1/directx-143>

とか

http://www.project-asura.com/program/d3d12/d3d12_001.html

とか

<http://zerogram.info/?p=1746#more-1746>

とか

<https://qiita.com/em7dfggbcadd9/items/483cb0fa0b6f10f510d7>

とか

http://d.hatena.ne.jp/shuichi_h/20150502

とか

<http://blog.techlab-xe.net/archives/3645>

ついでに

<https://qiita.com/Onbashira/items/256fa7a0017dbd888e39>

見ておくといいんじゃないでしょうか?

ちなみにサンプルコードのいくつかは ComPtr を使用していますが、個人的にはあれ使うと「あ~、サンプルぶっこ抜いてただけですね~」って感じがするので使いたくないです。まああれ使う意味は解放の際に InternalRelease が呼ばれて->Release()してくれるからなんだけど…あまり好きじゃないなあ。

もし使用する際にはコメントで『内部で->Release()してくれる ComPtr を利用』しますと書いてればいいかな。理解せずに使用するってのがいちばん嫌われる。

あと、ZeroMemory 使うやつは逝ってよし。あれ、業界内でも嫌われてるんじゃないかな…。

あくまで参考程度に見ておいて、サンプルコードなどは直接使わないように注意してください…まあ DX12 相手にそれをやる勇気(無謀さ)のあるやつはそうそういないと思うけど…。DxLib とか DX9 の開発と同じと思ってコピペをすると死ぬし、横着しようとする身をもって思ひ知ることになるであろう。

DirectX12 がそれ以前の DX と違うのはどこ? ここ?

とりあえずこの授業を聞いている人の中に DirectX11 の授業を受けた人がいないんだよね(そんな時代になったんだなあ…遠い目)

というわけで、それまでとの違いってのが良く分からないと思います。逆に言うと混乱するところがなくていいかな? こういうもんや!!!って思ってれば迷う事もないしね。

一応、技術記事とか読んでると「性能差が~」とか言われてますが、どっちがっちゅうと DirectX11 時代の問題点に触れておいた方がいいのかもしれません。恐らく皆さんが DX11 を直接いじることはもうないと思いますのでお話ししておいてもらうといいですね。

まず DirectX11 の時は、シェーダの切り替えとか、ステート(後々説明するけど、描画時の設定)の切り替えを 1 命令でやってたんですよね。で、この命令の後に描画される奴はすべてそのシェーダ、ステートで描画されるっていうルールだったんだよね。DxLib も同じなんだよね。

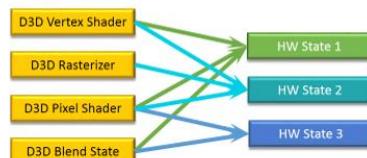
イメージわくかな?

で、1 つのモデルの中でもこのステートはパンパン変わっちゃうわけ…一例を出するとモデルが複数のマテリアルでできている場合、描画時にステートを変更しながら別々で描画しなければならないわけ。もっと言うと、ステート切り替えのたびに GPU 命令を上書きするため CPU → GPU オーバーヘッドが発生し、まあ良くない状況になるわけだ。

で、このステート変更のコストがそれなりに高くつくわけだ。

Direct3D 11 – Pipeline State Overhead

Small state objects → Hardware mismatch overhead



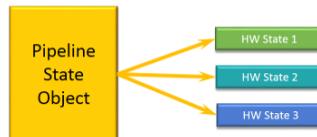
図で説明されてるサイトとかだとこんな感じですね。何となく切り替えコストが無駄になっているのが伝わるかなーと思います。何となくでいいですよ? 無理に理解しようとしないでいいです。

で、12 ではそういうのをまとめて GPU に投げておいて、切り替えたいときは参照先…CPU で言う所のアドレスの数値を進めたり戻したりすることで切り替えを実現していると考えてくれ。

Direct3D 12 – Pipeline State Optimization

Group pipeline into single object

Copy from PSO to Hardware State



で、ちょっとこれ以上ここでやってしまうといつまで経っても初期化処理のコーディングにすら入れないので、ここからおおざっぱな話になるけど、

DirectX12 の思想の根底にはこの「おまとめ」と言うものが流れていると思っていたみたい。

コマンドリスト、コマンドキュー、デスクリプターヒープなどが出でますが、それらは DX11 の時にバラバラだったものをまとめて効率化するためのものだと思ってください。

昨年の僕の設計の失策はこの DirectX12 の思想を理解しないまま DirectX11 の思想のままに設計してしまったために必要以上にややこしく、かつ非効率なものになってしまったということです。

あと、DirectX11 との違いをもう一つ挙げるとするならば『並列化』です。CPU → GPU 命令を逐次実行にするのではなく前命令の完了を待たずに次の命令を出せるようにしています。このため DirectX11 では結果的に『スレッドセーフ』になっていた部分がスレッドセーフでなくなってしまっており、そのため後述する『バリア』とか『フェンス』とかの仕組みが入ってきてるわけです。

はい、DX11 と DX12 の違いのまとめ

メリット

- CPU → GPU の命令を完了復帰から即時復帰にすることで並列に命令を飛ばせるように
- メモリ → VRAM への細かい転送を減らせるような設計になっている
- 命令やらステートをまとめて扱うことで、スイッチングコストを減らせるように
- つまり工夫すれば速度が DX11 の時より上げられる設計になっている

デメリット

- 工夫できるような設計になっているが、工夫しないと寧ろ遅くなることもある
- 設計的に難しく面倒になっている
- 理解が困難。マニュアルが全部英語。情報が少ない。なんかライブラリが変化しすぎ

仮想メモリ(仮想アドレス)とは

I 藤くんから『GPU 仮想アドレスって何ですか?』というご質問がありましたので、軽く説明しておきます。

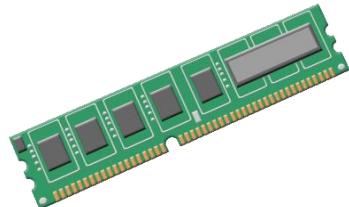
[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/hardware/hh439648\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/hardware/hh439648(v=vs.85).aspx)

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BB%AE%E6%83%B3%E8%A8%98%E6%86%B6>

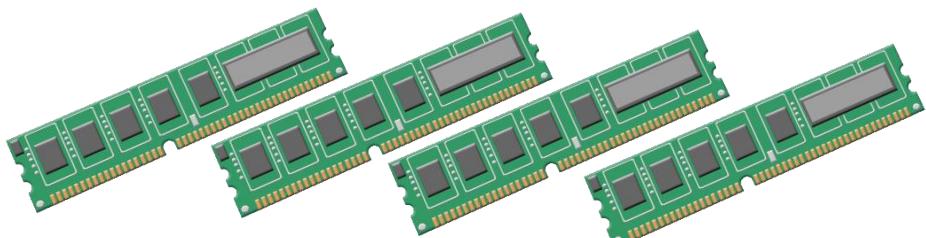
にも書いてるんですが、GPU に限らず CPU の頃から『物理メモリアドレス』に対して『仮想メモリアドレス』ってのがあるわけ。

仕組みとしては、物理メモリをそのまま使うより、OSっていうか MMU(メモリマネジメントユニット)がマネジメントした「仮想メモリ」を見たほうが便利なので、基本的にプログラムはこの仮想メモリを通して物理メモリにアクセスしています。

では、なぜワンクッション置いてアクセスしてるんでしょう？物理メモリに直接アクセスしたほうが速度も速くなりそうじゃない？なんでこんなかついたいな仕組みを使っているんでしょうか？



一番の理由は巨大メモリにアクセスするためです。メモリってのはこういうものです。でも、もちろん一本差しではなく、2つ3つ4つ刺さっています。



大雑把に言うと大きなメモリ確保の場合、1本では足りなかったりメモリ間を跨いだりするわけ。そうなると物理メモリ番地的には連續していないため大量のメモリ確保は不可能になるわけだ。

そこをマネジメントすることによって、あたかも連續した大きなメモリ空間であるかのようにハードウェアのメモリを見る事ができるため、仮想アドレスを通してメモリアクセスをしていると思ってください。

なお、GPU の仮想アドレスに関しては基本的な意味はこれと同じです。同じですが、GPU 側の仮想アドレスと言った場合、もしかしたらもう少し違う意味かもしれません。

もちろん GPU も GPU も仮想アドレス空間を持っているんですが、GPU 仮想アドレスと言った場

合もしかしたら CPU/GPU 共有仮想メモリの事を指しているのかもしれません。そこはその時の説明の文章(英語?)を見ないと分かりませんが、とにかくドライバの中身をいじらない限りは物理アドレスに直接アクセスはできませんので、あまり用語に捕らわれることなく、普通にプログラムすればいいと思います。

キャッシュメモリとか分岐予測とか

ここからはマニアックすぎるのと太話として聞いてくれ。キャッシュメモリってのは知ってるかな?もちろんなんとかは知ってる?

インターネットのキャッシュって知ってるかな?通常は Web サイトのデータというものはアクセスしてはじめてダウンロードされ、画面に表示されているんだけど、これを高速化するために何度もアクセスするようなデータはダウンロード HDD の TemporaryInternetCache という所に残骸が残っていくよね?

で、次にアクセスするときにダウンロードするのではなく、このキャッシュデータを見に行つたりするんだ。大元の仕組みが今みたいなブロードバンドの時代じゃなくて、ダイヤルアップ回線使ってたナローバンドの時代だからこういう風になってるんだけど、昔は本当に重宝してたんだ。本当にクソ遅かったから。

なんだけど、今はブロードバンドでダウンロードが速いのと、著作権系のデータをローカル HDD に残さないような法整備の流れでこの仕組みもすたれつつある。

とまあ、歴史的な部分はさておき、キャッシュメモリの話だけどこれは CPU からのデータアクセスを高速化するための仕組みだ。

L1, L2, L3 キャッシュというのがあって、L1, L2, L3 の順にアクセス速度が速い…が、L1, L2, L3 の順に容量が小さい。また、演算するための CPU に近い位置に物理的な意味で配置される。

メモリ上のデータから、頻繁にアクセスするものをより分けてそれぞれのキャッシュメモリに置くことで、同じような数値の同じような計算を高速化している。

なので、プログラマ側がここを効率化しようと思ったら、一度に使用するデータはキャッシュに乗つけて一気に計算するように工夫する。ちなみに乗らなかつた場合や、欲しいデータがない場合は一度キャッシュが破棄され、別のデータを乗つけて計算が行われる。ここにオーバーヘッドが発生する。

だからゲームプログラマは良く『キャッシュに載るように』とかなんとか言う。

次に分岐予測の話だけど CPU 側の命令も『パイプライン処理』ってのをやっている。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%91%BD%E4%BB%A4%E3%83%91%E3%82%A4%E3%83%97%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%B3>

本来直列にシーケンシャルに実行されるものを並列に処理できる工程(ステージ)に分割して並列に処理している。これにより細かいスレッド化のような恩恵が得られている。

で、プログラムの実行の流れで条件分岐命令が分岐するかしないかをよそくしている。これを分岐予測と言う。これが何の役に立つかと言うと前述のパイプライン処理をスムーズに並列化するためである。

ただし、この予測が外れると巻戻りが発生し、並列パイプラインの恩恵が受けられなくなる。分岐的な処理は可能な限りなくした方がいい理由はここである。でもあまり神経質にならなくていいと思う。

分岐を減らした方がいい理由は高速化というより、可読性の問題ですね。高速化もちょっとだけありますけれどもね。

ちなみに for ループ処理の場合、毎回ループ条件が同じであるためほとんどの分岐予測が当たります。N 回ループなら N-1 回は必ず分岐予測が当たるわけです。

ともかく Switch 文は要らないってことでいいですね。

DirectX12 組み込み

うん。なんでさっきみたいな話を長々とやったかと言うと、これから DirectX12 を組み込むんだけど正直『なしてこんな手間かかるの? アホちゃうん? はあ~つかえ(MS)やめたら? このゲーム(のためのライブラリづくり)』と言う気になっちゃうからです。

で、今から DirectX12 を初期化していきます。DxLib_Init 一行で済むような事はなく、 DirectX12 を最低限使える状態にするまでに

基本初期化として

- D3D12Device(デバイス周り)
- DXGI_SwapChain(画面フリップ周り)

を設定して、画面に影響を与えるためには

レンダーターゲットが必要です。レンダーターゲットっていうのは、絵を書き込むバッファの事です。これを画面とバインド(結び付けてやる)してやることによって画面上に絵が表示されるんです。

レンダーターゲットってのはピクセルの集合体です。つまりテクスチャと一緒にです。

DirectX12ではテクスチャなど、VRAMを食いつぶすオブジェクトをリソースとして定義します。ID3D12Resource*という型で定義されます。

そして、当然のことながら GPU 上にそのメモリを確保する命令を出す必要があります。で、この命令も例にもれず「おまとめ」の対象であり、命令に関してはコマンドキュー、コマンドリストでおまとめするルールとなっております。

モチロン命令に関してはメモリ使っておまとめしますので、それ用のが必要になります。

ということで

- D3D12DescriptorHeap
- D3D12CommandList
- D3D12CommandQueue

の初期化が必要となります。

で、先にも書きましたけど、画面自体が「リソース」です。それを GPU 内に確保します。そして「更新」します。そしてほっとくと確保や更新を待たずに処理が進みます。

ところで画面を更新する際には DxLibにおいては ScreenFlip がありましたね？

うん、で、確保、更新が完了しないまま ScreenFlip(実際には Present 処理)すると… まずいですよ!!!

ということで、リソースバリア、フェンスなどで待ちを入れてあげる必要があります。

ああ～しんどい。必要だからこういう状況になってるとは言え本当にしんどい。

準備①(インクルードとリンク)

とりあえず必要なのは direct3d12 の定義なので

#include<d3d12.h>をします。

もうひとつおまけに

#include <dxgi1_6.h>します

次にリンクするために以下のコードをどつかのcppにリンクコードを書きます。

#pragma comment(lib,"d3d12.lib")

#pragma comment(lib,"dxgi.lib")

基本の初期化

ここからは先に書きましたが、既にラッパークラス Dx12Wrapper を作っている前提で話します。

で、メンバ変数として最低限

```
ID3D12Device* _dev = nullptr;
ID3D12CommandAllocator* _cmdAllocator=nullptr;
ID3D12GraphicsCommandList* _cmdList=nullptr;
ID3D12CommandQueue* _cmdQue = nullptr;
IDXGIFactory6* _dxgvi = nullptr;
IDXGISwapChain4* _swapchain = nullptr;
ID3D12Fence* _fence = nullptr;
```

が必要になってくるわけだが、さて…まあインクルード問題…ぐぬぬ。

うん、皆さんは真似しなくていいんですけど前方宣言でなんとかするかな…それとももう include 解禁しちゃうかな…。

どの道、標準関数は include するしなあ。こんなところで悩んでてもなあ…。よし、

- 標準関数
- DirectX の関数
- Geometry.hなどの基本構造体のやつ

はOKというルールにするかな。あんまし無理してもな…(｀；ω；｀)

という事で泣く泣くOKにする。まあ頻繁に変更がかかるものでもないしね。

さて、ということでデバイスを生成します。

D3D12CreateDevice って関数です。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-d3d12createdevice>

わあ英語だ。まあ慌てんな…そういう時はだな DirectX11 のマニュアルを見ながら DirectX12 のマニュアルを並行して読もう。大体似たような意味です。
もちろん使い方とか引数の数とかは違うけど、だいたい概要は一緒なので気にすんな。

```
HRESULT D3D12CreateDevice(
    IUnknown* pAdapter, // nullptr でおk
    D3D_FEATURE_LEVEL MinimumFeatureLevel, // フィーチャレベル
    REFIID riid, // 後述
    void** ppDevice // 後述
);
```

で、DirectX12 の場合、この最後の 2 つの引数がちょっと特殊なんだけど、マクロを使う必要があります。

`IID_PPV_ARGS` というマクロを使います。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/ee330727\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/ee330727(v=vs.85).aspx)

英語解説しかございません。

ともかく、これにデバイス用のポインタのポインタを入れて、`CreateDevice` に渡すと、`REFID` と中身の入ったデバイスを返してくれるという優れモノなのです。

この `REFID` は自分でどうこうするのは無理な ID なので、マクロを使うしかありません。おとなしくマクロのお世話になりましょう。

この `IID_PPV_ARGS` マクロは非常に何度も使用機会がありますので、覚えておきましょう。まあ、ここは大して重要なわけでもないのですが、ここで問題なのは第二引数のフィーチャレベルです。

https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/api/d3dcommon/ne-d3dcommon-d3d_feature_level

いくつあるのが分かると思いますが、これ、DirectX のバージョンに対応してるのかなんとなくわかるでしょうか？

で、可能な限り新しいバージョンを使いたい場合にはどう書いたらいいのでしょうか？
ちなみにハードウェアがそのフィーチャレベルに対応していないければ `CreateDevice` は失敗し、`S_OK` 以外を返します。

この状態で一番いいフィーチャレベルを選択するにはどうしたらいいのだろうか？ 対応

していなければ失敗することが分かっているんだから、高いレベルから試せばいい。つまり、

```
D3D_FEATURE_LEVEL levels() = {
    D3D_FEATURE_LEVEL_12_1,
    D3D_FEATURE_LEVEL_12_0,
    D3D_FEATURE_LEVEL_11_1,
    D3D_FEATURE_LEVEL_11_0,
};
```

で、フィーチャレベルを配列化しておきます。あとはループさせながら D3D12CreateDevice を実行し、成功したらループを抜けます。

```
D3D_FEATURE_LEVEL level = D3D_FEATURE_LEVEL::D3D_FEATURE_LEVEL_12_1;
HRESULT result = S_OK;
for (auto l : levels) {
    result = D3D12CreateDevice(nullptr, l, IID_PPV_ARGS(&_dev));
    if (SUCCEEDED(result)) {
        level = l;
        break;
    }
}
```

まあ、学校の PC ならどれか引つかかるんで…多分 12_0 くらいが引つかかるはず。

あー、言い忘れてたけど、CreateDevice だけでなく、DirectX ではポインタのポインタをひきすうで受け取るものがあるんですが、そういう時はまず変数をポインタで宣言していて、そいつに & つけてポインタのアドレスを示して渡してあげます。

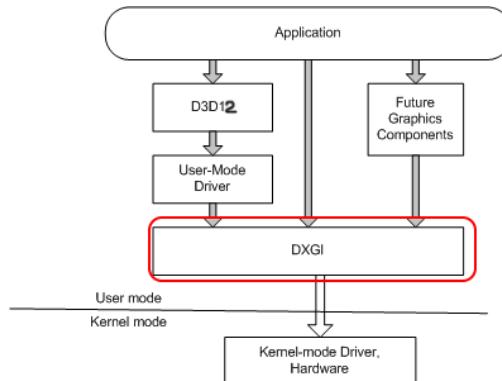
分からなかつたり、納得できない人はすぐに言ってください。フォローの講義をしますので…このへん納得できないまま進むと死ぬんで遠慮なく聞いてください。

で、次ですが、DXGISwapchain です。こいつは画面のフリップとかに必要なものです。

で、ここで出てくる DXGI と言う言葉ですが、これもキーワードです。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415671\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415671(v=vs.85).aspx)

Iはインターフェースじゃなくてインストラクチャーなんやなあ…。とにかく DXGI は表示デバイスとグラボに関わる部分で、Direct3D の 1 個下にある(ドライバに近い)レイヤーなんですよね。



一応 1.6 の改善部分を見ると

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3ddxgi/dxgi-1-6-improvements>

HDR 対応とか書いてますね。まあそういうのをやる部分って事です。
ともかく初期化しましょう。

dxgi1.6 で検索しましょう。

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/dxgi1_6/

で IXGIFactory6 があるわけですが、

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/dxgi1_6/nn-dxgi1_6-idxgifactory6

これどうやって実体を作るのか書いてないんですね。ひどくね? 仕方ないんで公式サンプル見ると

CreateDXGIFactory1 を使ってるんだよね… 大丈夫なん?

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415212\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415212(v=vs.85).aspx)

なんか日本語やな…

HRESULT CreateDXGIFactory1(

REFIID riid,

void **ppFactory

);

引数はデバイスの生成の時と同じなので問題なさそうなんですが、行けるんかなあ… ホントマ DirectX12 の仕様とマニュアルレベルが減固めろや…。

で、通るし、S_OK返ってくるしでいいんだろうけど… 納得いかん。
はき

ちなみに CreateDXGIFactory2 ってのもあるんだけど、こいつは DXGI_CREATE_FACTORY_DEBUG カ 0 を受け取るものようです。第一引数に 0 入れて成功するんで、別にどっちでもいいっぽいです。引数パターンの違いだけみたいですね。

とりあえずここまでできたら基本的な初期化ができたということで…ここからがまた…地獄の始まり

画面に影響を与える準備

画面に影響を与えるためには前にも書きましたがまず表示画面のための

- スワップチェイン
- レンダーターゲットビュー(デスクリプタバンドル)

描画等の命令のための

- コマンドキュー
- コマンドリスト

ビューをメモリ上に配置するための

- デスクリプターヒープ

さらにさらにそれをまとめるための

- デスクリプターテーブル
- ルートシグネチャ

最後にレンダリングパイプラインをまとめた

- パイプラインステートオブジェクト

まとめまくりですねー。でもまだあるんだごめんね。

前にも言ったように命令が即時復帰のために待ちの仕組みを用意してあげなきゃならない。それが

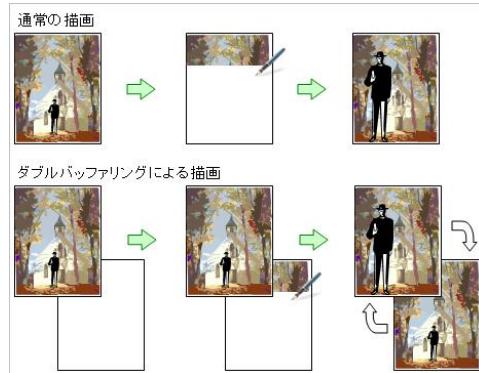
- フェンス

である

さて、これだけの D3D12 オブジェクトを用意する必要があるんだね。死ぬ。

スワップチェイン

スワップチェインとは何かというと DxLib の時に ScreenFlip() ってやってましたよね?



ダブルバッファリングと言って、表示すべきものをディスプレイに直接描画するのではなく、別のメモリに裏で書き込んでおいて、表示の直前でさっと入れ替えるものです。

そこは理解していますか？

オーケー、それならスワップチェインは理解できると思います。こいつはその裏画面と表画面を入れ替える処理をコントロールするものなのだ。ちなみに SwapChain は 2 画面の入れ替えだが、スワップチェインはそれ以上も想定しています。

ただし…大抵の場合は 2 画面で十分と思います。

で、スワップチェインを作るときには、例によって CreateSwapChain 的な関数を使うんだけどウインドウと関連付けるためにウインドウハンドルとバインドする関数 CreateSwapChainForHWnd を使用する。

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404557>

こいつを見てくれ。どう思う？

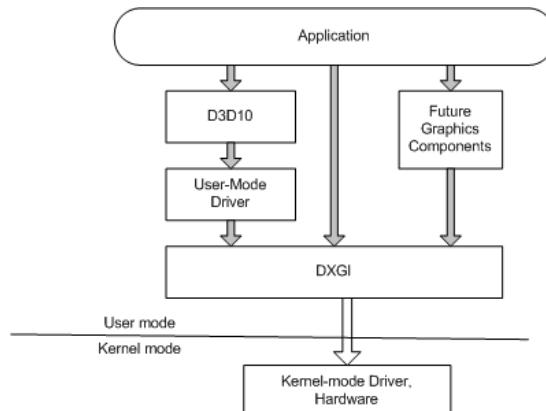
うーん。まだわからんかな？

こいつの持ち主が

IDXGIFactory6

になっている。つまり IDXGIFactory6 型のオブジェクトにアローは演算子を使ってコールしていくわけです。

のほうがまだわかりやすいかな(DirectX10 の説明だけど)



ご覧のように、かなりハードウェアに近い部分であることが分かると思います。
恐らくスクリーンフリップ(ダブルバッファリング)などの処理はここに含めておいた方がいいという判断なのでしょう。設計思想はよくわかりませんけど。

ともかく

IDXGIFactory4 を使うのですが、こいつのインターフェイスを持ってくるには CreateDXGIFactory1 関数を使用します。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415212\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee415212(v=vs.85).aspx)

ここは「知ってなきやわからない」部分なので、ソースコード書いちやいますけど

```
IDXGIFactory4* factory = nullptr;
result = CreateDXGIFactory1(IID_PPV_ARGS(&factory));
```

こうやって作ります。result が S_OK のを確認してください。

さて、それではスワップチェインの生成に取り掛かるんだが

一度これを読んでおいたほうがいい

https://www.isus.jp/wp-content/uploads/pdf/625_sample-app-for-direct3d-12-flip-model-swap-chains.pdf

比較的…比較的分かりやすいです。

CreateSwapChainHWnd を使用するのだが、まずは DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1 についてみてみよう。たぶんスワップチェインにおいてはこれが一番大事。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404528\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404528(v=vs.85).aspx)

DXGI_FORMAT

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173059\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173059(v=vs.85).aspx)

定義を見るところなってますね?

```
typedef struct _DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1 {
    UINT Width; //書き込み先の幅(ウィンドウ幅と同じでOK)
    UINT Height; //書き込み先の高(ウィンドウ高と同じでOK)
    DXGI_FORMAT Format; //DXGI_FORMATの項を参照するように
    BOOL Stereo; //よく分からないので後で解説する
    DXGI_SAMPLE_DESC SampleDesc; //マルチサンプルの数と品質(countを1にQuarityを0に)
    DXGI_USAGE BufferUsage; //バッファの使用法(あとで解説)
    UINT BufferCount; //バッファの数(2でいい)
    DXGI_SCALING Scaling; //DXGI_SCALING_STRETCHでいい
    DXGI_SWAP_EFFECT SwapEffect; //DXGI_SWAP_EFFECT_FLIP_DISCARDでいい
    DXGI_ALPHA_MODE AlphaMode; //DXGI_ALPHA_MODE_UNSPECIFIEDでいい
    UINT Flags; //0でいい
} DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1;
```

DXGI_FORMAT

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173059\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173059(v=vs.85).aspx)

DXGI_USAGE

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173078\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173078(v=vs.85).aspx)

DXGI_SAMPLE_DESC

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173072\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173072(v=vs.85).aspx)

DXGI_SCALING

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404526\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404526(v=vs.85).aspx)

DXGI_SWAP_EFFECT

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173077\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173077(v=vs.85).aspx)

DXGI_ALPHA_MODE

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404496\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404496(v=vs.85).aspx)

DXGI_SWAP_CHAIN_FLAG

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173076\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/bb173076(v=vs.85).aspx)

さて、書き込み幅はともかく他が良く分かりませんね?

というわけで、まずは Format から…これはビット数が関わってくるのですが、1 画素 1 バイトなら

二横幅 × 高さ

で済むんですが、もしフルカラーの場合であれば 1 ピクセルあたり R8 ビット G8 ビット B8 ビット A8 ビットを使用しています。この場合であれば

`DXGI_FORMAT_R8G8B8A8_UNORM` にしています。

なお、UNORM というのは何か? というと

「符号なし正規化整数。n ビットの数値では、すべての桁が 0 の場合は 0.0f、すべての桁が 1 の場合は 1.0f を表します。0.0f ~ 1.0f の均等な間隔の一連の浮動小数点値が表されます。たとえば、2 ビットの UNORM は 0.0f, 1/3, 2/3, および 1.0f を表します。」

簡単に言うと 0~255 を 0.0~1.0 にしているものだと思ってください。例えば 128 だと 0.5 とかそういう事です。

なお特に初心者の間は、動かなくなった時に、どの時点でのバグが起きたか分かりづらいので、1つ1つ演して行ってください。

次に USAGE ですが、これは

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173078\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173078(v=vs.85).aspx)

の中から選ぶんですが、今回は

`DXGI_USAGE_RENDER_TARGET_OUTPUT`

を使用します。

実は `DXGI_USAGE_BACK_BUFFER` かな~って思ってたんですが、色々なサンプル見てると

`DXGI_USAGE_RENDER_TARGET_OUTPUT`

ばかりなのでひとまずこれにしておきます。で、画面更新が滞りなくできたら、その時に `BACK_BUFFER` に変えてみる実験をしようかと思います。ちなみにそれぞれの説明は

`DXGI_USAGE_BACK_BUFFER` サーフェスまたはリソースをバックバッファーとして使用します。

`DXGI_USAGE_DISCARD_ON_PRESENT` このフラグは、内部使用のみを目的としています。

`DXGI_USAGE_READ_ONLY` サーフェスまたはリソースをレンダリングのみに使用します。

DXGI_USAGE_RENDER_TARGET_OUTPUT サーフェスまたはリソースを出力レンダーターゲットとして使用します。

DXGI_USAGE_SHADER_INPUT サーフェスまたはリソースをシェーダーへの入力として使用します。

DXGI_USAGE_SHARED サーフェスまたはリソースを共有します。
とあります。

となっているんですが、この説明を見ても BACK_BUFFER でもいいような気がするんですよね。というわけで、こういう疑問を君たちも持てるようになってください。(※追記、さっき検証したらどっちでも動きました。これもう分かんねえな…)

あと、Stereoに関してですが、ちょっと Google 翻訳にかけてみましょう。

ステレオ

全画面表示モードまたはスワップチェーン/バックバッファをステレオにするかどうかを指定します。ステレオの場合は TRUE。それ以外の場合は FALSE です。ステレオを指定する場合は、フリップモデルスワップチェーン(つまり、SwapEffect メンバーに DXGI_SWAP_EFFECT_FLIP_SEQUENTIAL 値が設定されたスワップチェーン)も指定する必要があります

という事らしいです。でもステレオ言うてもこれ音声の事ちやうしなあ…。とりあえず良く分からぬので、falseにしておきます。

あ、そういうば今一度 CreateSwapChainForHwnd を見てみましょう。

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/hh404557>

第一引数の説明を見てみてください。

pDevice [in]

For Direct3D 11, and earlier versions of Direct3D, this is a pointer to the Direct3D device for the swap chain. For Direct3D 12 this is a pointer to a direct command queue (refer to ID3D12CommandQueue). This parameter cannot be NULL.

例によって Google 翻訳

pDevice [in] Direct3D 11 およびそれ以前のバージョンの Direct3D では、これはスワップチェーンの Direct3D デバイスへのポインタです。Direct3D 12 では、これはダイレクトコマンドキューへのポインタです(ID3D12CommandQueue を参照)。このパラメータは NULL にする

ことはできません。

おっとお?

どうも「コマンドキュー」とやらが必要なようですね。

つまり

```
result = dxgiFactory->CreateSwapChainForHwnd(dev,
                                               hwnd,
                                               &swapChainDesc,
                                               nullptr,
                                               nullptr,
                                               (IDXGISwapChain1**)(&swapChain));
```

ではなく

```
result = dxgiFactory->CreateSwapChainForHwnd(commandQueue,
                                               hwnd,
                                               &swapChainDesc,
                                               nullptr,
                                               nullptr,
                                               (IDXGISwapChain1**)(&swapChain));
```

にすべきってところです。

で、見ればわかるように、コマンドキューを事前に作っておく必要があります。

急遽コマンドキューを作りましょう。

コマンドキュー

コマンドキューは device の CreateCommandQueue 関数で生成できるのですが

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createcommandqueue>

問題は第一引数です。COMMAND_QUEUE_DESC と言って結構設定しなければならないのですが、これでもまだマシな方なんですね…。

```
D3D12_COMMAND_QUEUE_DESC cmdQDesc = {};
cmdQDesc.Flags = D3D12_COMMAND_QUEUE_FLAG_NONE;
cmdQDesc.NodeMask = 0;
cmdQDesc.Priority = D3D12_COMMAND_QUEUE_PRIORITY_NORMAL;
cmdQDesc.Type = D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_DIRECT;
result = _dev->CreateCommandQueue(&cmdQDesc, IID_PPV_ARGS(&_cmdQue));
```

ちなみに一部引数の説明をヘキサドライブのブログでやられてますのでご参考にどうぞ

<https://hexadrive.jp/hexablog/program/13072/>

この戻り値が S_OK になるところをご確認ください。それができたらスワップチェインも初期化できます。

スワップチェイン

ちなみに SWAPCHAIN_FLAGS に関しては

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173076\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173076(v=vs.85).aspx)

を見てやればだいたい何を入れたらいいのか分かります。

DXGI_MODE_SCALING も同様です。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173066\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb173066(v=vs.85).aspx)

DXGI_SWAP_EFFECT に関してですが

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/dxgi/ne-dxgi-dxgi_swap_effect

これは Present 関数呼び出し時に何をするかっていう話なんですが、

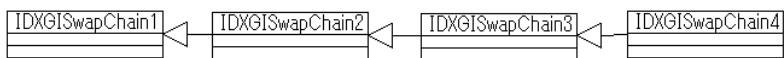
ひとまず FLIP_DISCARD を選んでください。役割はフリップした後にディスカード(破棄)します。つまり Present 前に裏画面に書き込んでおき、Present でフリップし、前の画像は破棄するって意味です。

BufferCount はバッファの数なので 2 を指定(表画面と裏画面で2)してください。

つまるところ、こうなります。

```
Size wsize = appH.GetWindowSize();
DXGI_SWAP_CHAIN_DESC1 swapchainDesc = {};
swapchainDesc.Width = wsize.w;
swapchainDesc.Height = wsize.h;
swapchainDesc.Format = DXGI_FORMAT_R8G8B8A8_UNORM;
swapchainDesc.SampleDesc.Count = 1;
swapchainDesc.SampleDesc.Quality = 0;
swapchainDesc.Stereo = false;
swapchainDesc.Scaling = DXGI_SCALING_STRETCH;
swapchainDesc.Flags = DXGI_SWAP_CHAIN_FLAG_ALLOW_MODE_SWITCH;
swapchainDesc.SwapEffect = DXGI_SWAP_EFFECT_FLIP_DISCARD;
swapchainDesc.BufferCount = 2;
result = _dxgi->CreateSwapChainForHwnd(_cmdQue, hwnd, &swapchainDesc,
    nullptr, nullptr, (IDXGISwapChain1**)(&_swapchain));
```

しつこいようですが、必ず result を確認してください。なお、最後の引数をキャストしてます
が、IDXGISwapChain1 と IDXGISwapChain4 の関係が



という関係なので、キャストしてもOK…なんだけどさあ…もうちょっと何とかなりませんかね



え。一応継承におけるメモリレイアウトは…
となるため、キャストしても問題ないわけです。
ともあれこれでスワップチェインは終わりです。

レンダーターゲットの作成

ちょっと時間ないんで前のテキストまんまコピーしますが、
というわけで今回必要なものは

- 2枚のレンダーターゲット(フリップのために2枚)
 - レンダーターゲットビュー
 - デスクリプターヒープのサイズ(整数型)を記録
 - ディスクリプターヒープ
 - ディスクリプターハンドル
- となります。メンドクサイですね。ほんと。

手順としては

1. デスクリプターヒープを作る
2. デスクリプターハンドルを作る
3. スワップチェインからレンダーターゲットを取得
4. レンダーターゲットビューを作成

で、なんでレンダーターゲットを生成して使うまでになぜかデスクリプターとかいうのが必要なんだが、

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/direct3d12/resource-binding>

によると、Descriptorとは「リソースバインディング」の基本単位のこと

リソースバインディングってのはリソースとシェーダ(パイプライン)のリンク(バインド)って事です。で、

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/direct3d12/creating-descriptors>

によると、レンダーターゲットビューもその仲間になってるわけだ。

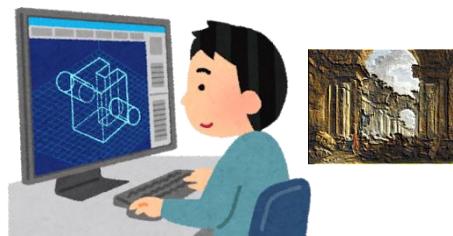
ビューとデスクリプター

実は昨年のテキストではデスクリプターヒープを「ビューみたいなもん」と記載していたが、そうではなく、ビューも「デスクリプタの一種」という扱いで抽象化されている。言い換えると各ビューとかサンプラーとかの親がデスクリプタって感じ。

ああで、何度も当然のように「ビュー」って言ってますけど、これが何なのか軽く説明しておくと「画像などのリソースとそれの見方のペア」です。例えばレンダーターゲットビューなら、表示画面のためのデータとその見方なので、RGBA ペンキ職人と元絵のペアみたいなもんだと思ってください。



元のデータと、実際に塗る塗り方ね。後から出てきますが、深度職人てのもいて、同じ情報から深度値を書き込んでいく職人もいますので、データと、色々な見方があるわけで、それをまとめてビューと呼んでいるわけです。



で、DX11までは扱いは別々だったんですが、これらを抽象化したデスクリプタという概念を作った、まとめられるようにしたものが DX12 であり、これをまとめたものがデスクリプタテーブルです。ちなみにビューだけでなくサンプラーとかテクスチャ(シェーダリソースビュー)などもデスクリプターです。かなりまとめるつもりのようです。

デスクリプターヒープとデスクリプターテーブル

軽くデスクリプターヒープについて解説しておくと…

「デスクリプタヒープ」という概念はデスクリプタテーブルと概念的な区別が難しいのですが

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/direct3d12/descriptor-heaps-overview>

を見ると

"Direct3D 12 does require the use of descriptor heaps, there is no option to put descriptors anywhere in memory."

要約すると…そもそもデスクリプタを単体で実体を作れるようになっておらず、とにかくデスクリプタヒープを利用しろということです。ヒープの特定の場所(アドレス)を特定のデスクリプタを割り当てるべきであり、通常の変数のように任意のメモリ位置にデスクリプタを作ることはできません。

一つことです。意味が分からぬかもしれません、要はビューを作りたければまずデスクリプタヒープを作つて、その中にビュー定義を配置しなさいという事のようです。

ヒープって言葉が出てきましたが分かりますか? プログラミングの時によく出てくる用語なんんですけど、要は作業のために必要なメモリ領域。それを動的に確保しているその領域の事です(malloc だの new だので確保できる領域の事です)

デスクリプタヒープとデスクリプタテーブルの違いは、ビューを割り当てるための場所がヒープで、それを並べて活用できるようにまとめたのがデスクリプタテーブルってことです。

まとめると

- ビューとデスクリプタの関係はポリモーフィズムの子と親みたいなもん
- デスクリプタはデスクリプタヒープからしか利用できない!
- デスクリプタテーブルはそのデスクリプタをインデックスで並べたもの

です。たしかに DX11 から来た人にとってはビューの代わりと言えばそうかもしれないが、それだとたぶん誤解してしまうので、ちょっと面倒な説明しました。

デスクリプタヒープを作るには

CreateDescriptorHeap 関数を使います。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788662\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788662(v=vs.85).aspx)

HRESULT CreateDescriptorHeap(

```
(in) const D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC *pDescriptorHeapDesc,
          REFIID                   riid,
(out)      void                  **ppvHeap
);
```

第二、第三引数はいつものパターンですね。

問題は第一引数ですが、

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770359\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770359(v=vs.85).aspx)

を見ながらやっていきましょう。

今回はレンダーターゲットに使用するので、Typeは

D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV

ですね。ちなみに RTV は "RenderTargetView" の略です。

次に Flags ですが、特に指定しないのでデフォルトを表す NONE を使いましょう。

D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_NONE

次に NumDescriptors ですが、こいつはヘルプを見るだけじゃ分からぬんだって

The number of descriptors in the heap.

うん…ヒープの中のデスクリプタ数って事だけど、ちょっと情報量少なすぎません？

なのでサンプルを見ながら考えましたが、とりあえず表画面と裏画面で 2 にしておきましょう。

最後に NodeMask ですが、こいつはゼロでいいです。これは説明に

For single-adapter operation, set this to zero. If there are multiple adapter nodes, set a bit to identify the node (one of the device's physical adapters) to which the descriptor heap applies. Each bit in the mask corresponds to a single node. Only one bit must be set. See [Multi-Adapter](#).

って書いてるからです。

//----表示画面用メモリ確保-----

```
ID3D12DescriptorHeap* descriptorHeap = nullptr;
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC descriptorHeapDesc = {};
descriptorHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV; //レンダーターゲットビュー
descriptorHeapDesc.NodeMask = 0;
descriptorHeapDesc.NumDescriptors = 2; //表画面と裏画面ぶん
descriptorHeapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_NONE;
result = dev->CreateDescriptorHeap(&descriptorHeapDesc, IID_PPV_ARGS(&descriptorHeap));

```

これもまた S_OK が返ってくるまで頑張りましょう。これで 2 個のレンダーターゲットビュー（デスクリプタ）を格納できるデスクリプタヒープができました。

格納先を確保したので、次に実際にここにビューの定義を突っ込みましょう。
その前にデスクリプターヒープサイズを計算します。2つめは1つ目の後ろに配置したいので1つ目を書き込んだ後の場所を知りたいからです。

GetDescriptorHandleIncrementSizeという関数を使用して計算します。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn99186\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn99186(v=vs.85).aspx)

ヘルプを見れば分かるようにいたって簡単です。ヒープのタイプを入れれば勝手に計算してくれます。

```
heapSize=dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(DX12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV);
```

で終わりです。殺伐とした DirectX12 の中でこの関数は々々に心がほっこりするね。そしてレンダーターゲットビューを作る関数は当然のように CreateRenderTargetView ですから
<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12-device-createrendertargetview>

```
void CreateRenderTargetView(  
    ID3D12Resource           *pResource, // ピクセルを書き込む本体  
    const D3D12_RENDER_TARGET_VIEW_DESC *pDesc, // レンダーターゲットビューの仕様  
    D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE   DestDescriptor // ヒープ内の場所  
) ;
```

ご覧のように…3つとも定義が大変そう!!さてどうしたものが。

でも、リソースと VIEW_DESC は心配しなくていいです。実はスワップチェーンを作った時点で画面を表すリソースができているのだ。こっちはそれに対してビューを割り当てればいいだけです。逆に第3引数の扱いが少々面倒なため、

D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE

のメンバはptrしかないのですが、オフセットの仕様とかが意外と面倒だったりするため、ここで d3dx12.h を投入します。

<https://github.com/Microsoft/DirectX-Graphics-Samples/blob/master/Libraries/D3DX12/d3dx12.h>

とりあえずこの PDF を書いてる最中のバージョンは
Windows 10 April 2018 Update and Visual Studio 2017
なので、最初の設定をきっちりやってる人は大丈夫です。バージョンが違うと動かないに

とがありますので、気を付けてください。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/helper-structures-and-functions-for-d3d12>

正直このD3DXは使用したくないのですが、仕方ないです。

可能な限りブラックボックスにならない説明をすることを心がけますが、流石にこれがないとしんどくなってしまった。

`CD3DX12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE descriptorHandle(descriptorHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());`

一度この`CD3DX12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE`を見てもらうといいのですが、単なる元の

`D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE`をラップしたクラスにすぎません。元の奴がまた内部に「ptr」を一個持ってるだけの構造体です。え？構造体も継承できるの？できますよ。C++の場合の構造体とクラスの違いはアクセス指定だけですから。

DirectX系はこの手の継承してる奴が多いので、classと思ったら structだったって事案が多いので気を付けてください。

そして、

```
DXGI_SWAP_CHAIN_DESC swcDesc = {};
dx12.GetSwapchain()->GetDesc(&swcDesc);
int renderTargetsNum = swcDesc.BufferCount;
//レンダーターゲット数ぶん確保
renderTargets.resize(renderTargetsNum);
//デスクリプタ1個あたりのサイズを取得
int descriptorSize = dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV);
for (int i = 0; i < renderTargetsNum; ++i) {
    result = dx12.GetSwapchain()->GetBuffer(i, IID_PPV_ARGS(&renderTargets(i))); //「キャンバス」を取得
    dev->CreateRenderTargetView(renderTargets(i), nullptr, descriptorHandle); //キャンバスと職人を紐づける
    descriptorHandle.Offset(descriptorSize); //職人とキャンバスのペアのぶん次の所までオフセット
}
```

こんな感じになります。今回必要なものはレンダーターゲットの持つリソースを取得し、それをレンダーターゲットビューと関連付ける情報を作りデスクリプタヒープに書き込む…これだけです。

ちなみにデスクリプターテーブルに関してはまた後で記述します。たぶんシェーダを書き始めないと「なんで？」っていうのが分からぬから。

さて、いよいよ画面のクリアだ

コマンドを投げるために…

画面をクリアするためには「画面をクリア」というコマンドを発行する必要があり、コマンドを発行するという事は、コマンドリストとコマンドアロケータが必要になる。

既にコマンドキューは作っている(スワップチェーン作るとき)。

作り方はいたって簡単。

CreateCommandAllocator

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createcommandallocator>

と

CreateCommandList

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createcommandlist>

を使ってオブジェクトを作るだけ。

両方とも知りたいのはコマンドリストの種別…。D3D12_COMMAND_LIST_TYPE が知りたいのです。

https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/api/d3d12/ne-d3d12-d3d12_command_list_type

前のコマンドキューの時と同様に LIST_TYPE_DIRECT を選ぼう。つまり、
ちなみに nodeMask はいつもの 0 でお願いします。

```
_dev->CreateCommandAllocator(D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_DIRECT, IID_PPV_ARGS(&_cmdAllocator));
_dev->CreateCommandList(0,D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_DIRECT,_cmdAllocator,nullptr,IID_PPV_ARGS(&_cmdList));
```

さて、これで最低限の準備が整いましたので、画面に影響を与えてみましょうか…

コマンドリストとコマンドアロケータをリセット

まず、命令を出す前に、いったんコマンドアロケータとコマンドリストをリセットします。

```
_cmdAllocator->Reset();
_cmdList->Reset(_cmdAllocator, nullptr);
```

どちらもリセット命令ですね。ちなみにコマンドリストのほうのリセット命令の第二引数ですが、こっちは本来は nullptr ではなく、本来はパイプラインステートオブジェクトが入ります。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12commandallocator-reset>

Allocator は、まともなメソッドは Reset しかないんじゃない…

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-reset>

どちらも HRESULT を返すので、必ず戻り値をチェックしよう。

ちなみに一連の命令を出すときはこの二つを Reset することになります。なお、アロケータ Reset の注意書きに書かれていますが

『Unlike [ID3D12GraphicsCommandList::Reset](#), it is not recommended that you call **Reset** on the command allocator while a command list is still being executed.』

↓翻訳↓

『[ID3D12GraphicsCommandList :: Reset](#)』とは異なり、コマンドリストがまだ実行されている間は、コマンドアロケータで **Reset** を呼び出すことはお勧めしません。

うーん? コマンドリストはリセットかけてもいいの? 一応コマンドリストのリセットの項目を見ても『明記』はされてないんですが…どちらにしてもリセットする時はちょっと気を付けておいた方がいいだろう。

それよりも気になるのは…

『アプリがリセットを呼び出す前に、コマンドリストは『閉じた』状態でなければなりません。コマンドリストが『クローズ』状態でない場合、リセットは失敗します。』

そのため、原則的にはクローズ処理の後にリセットを呼び出す必要があるという事です。

ちなみにコマンドリストを『実行』するのは CommandQueue だから、そいつの実行が終わって(コマンドリスト内部の Close が完了して)からリセットすべきものだろう。

ちなみに DxLib における『命令』は命令を出すと即実行されていたイメージだけどこれは違う。

コマンドリストと言うリストにコマンドを溜めていくイメージで、溜めている間はまだ実行されない。必要な分を溜めた後で CommandQueue の ExecuteCommand を呼び出し順次実行されるイメージだ。

例えばこういうプログラムをコンソールで書いてみてくれ

```
std::vector<std::function<void(void)>> commandList;
commandList.push_back([]() {cout << "Set RTV" << endl; });//命令1
cout << "まだ弱い" << endl;
```

```

commandList.push_back([]() {cout << "Clear RTV" << endl; });//命令2
cout << "まだクソザコナメクジ" << endl;
commandList.push_back([]() {cout << "Close" << endl; });//命令3
cout << "完全勝利UC" << endl;
cout << "アーアーアーアーアー！！" << endl;
cout << endl;

//コマンドキューのExecuteCommandみたいなもん
for (auto& cmd : commandList) {
    cmd();
}

```

この例だと命令1と2と3がコマンドリストに登録されるが、その場では実行されず最後のループで一気に実行される。



こういうイメージでいい。

で、この ExecuteCommand 自体は即時復帰する(ここがちょっと厄介)。が、まずは特に気にせずコマンドを投げていこう。

```

auto heapStart=_dsHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart();
float clearColor() = {1.0f,0.0f,0.0f,1.0f}; //クリアカラー設定
_cmdAllocator->Reset(); //アロケータリセット
_cmdList->Reset(_cmdAllocator, nullptr); //コマンドリストリセット
_cmdList->OMSetRenderTarget(1, &heapStart, false, nullptr); //レンダーターゲット設定
_cmdList->ClearRenderTargetView(heapStart, clearColor, 0, nullptr); //クリア
_cmdList->Close(); //コマンドのクローズ

```

コマンド:レンダーターゲットを設定

OMSetRenderTarget というコマンドを使用します。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12->

```
id3d12graphicscommandlist::OMSetRenderTargets
void OMSetRenderTargets(
    UINT NumRenderTargetDescriptors, //レンダーターゲットビュー数
    const D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE *pRenderTargetDescriptors, //ハンドル
    BOOL RTsSingleHandleToDescriptorRange, //ひとつまず false
    const D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE *pDepthStencilDescriptor //今は nullptr でいい
);
ということで、こう
_cmdList->OMSetRenderTargets(1, &heapStart, false, nullptr); //レンダーターゲット設定
```

コマンド:レンダーターゲットをクリア

クリアは簡単…

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-clearrendertargetview>

```
void ClearRenderTargetView(
    D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE RenderTargetView, //レンダーターゲットビュー
    const FLOAT (4) ColorRGBA, //カラー(0.0~1.0が4つ)
    UINT NumRects, //0でいい
    const D3D12_RECT *pRects //nullptr でいい
);
ということで…こう
```

_cmdList->ClearRenderTargetView(heapStart, clearColor, 0, nullptr); //クリア

コマンド:クローズ

これで最初の発行すべきコマンドはすべてなのでクローズします。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-close>

これはもう説明の必要ないでしょ。

ということで、あとはコマンドキューに投げるだけです。

コマンドキューに投げる

ExecuteCommandList 関数を呼びます

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12commandqueue-executecommandlists>

void ExecuteCommandLists(

```
UINT NumCommandLists, コマンドリスト数  
ID3D12CommandList * const *ppCommandLists //コマンドリスト配列  
);
```

今回は一個しかないのでコマンドリスト数は1でいいです。

```
_cmdQue->ExecuteCommandLists(1,cmdlists);
```

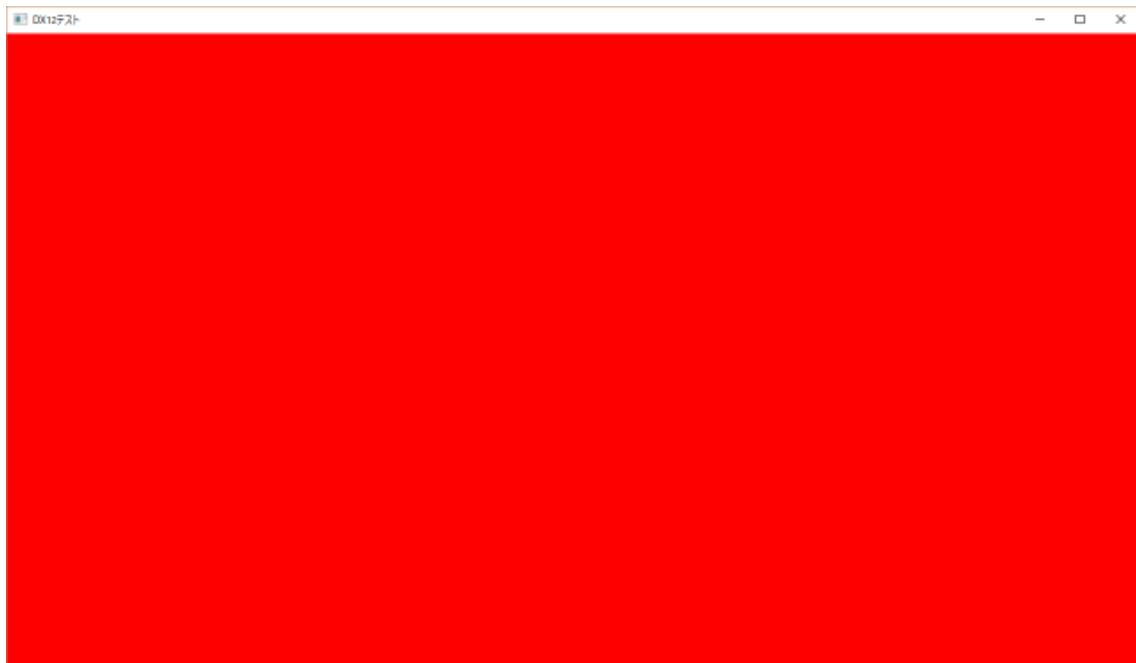
あとは Present 関数を呼べばいい

スワップチェーン Present

Present って贈り物の事じゃなくて、レンダリングってイメージでお願いします。レンダリングしてスワップします。というかスワップします。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb174576\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb174576(v=vs.85).aspx)

ひとまず0,0でいいですのやってみてください。運が良ければ



画面の色が変わります。運が良ければ運が悪ければ変わりません。

色々間違ってるんです

実は色々と間違っています。なので、運が悪ければ画面の色が変わりません。

間違っている点は

- 常に0番目のレンダーターゲットに書かれている
 - コマンドキー実行待ちをしていない
- の2点です。

本来ダブルバッファリングであるため、常に裏画面に書いていきますが、それはフリップするたびに変更されるはず。つまり「現在の裏画面」番号を取得し、そいつをレンダーターゲットにして、再びフリップ後に裏画面指定を変更してやる必要があります。

SwapChainにGetCurrentBackBufferIndex関数で裏画面番号を取得し、それを2つのレンダーターゲットのインデックスに指定します。

```
bbIndex = swapChain->GetCurrentBackBufferIndex();
```

で、ポインタのハンドルをコピーしとしてptrを
bbIndex*descriptorSize
だけオフセットしておく。

はい、これで表画面と裏画面が切り替わるようになります。次にフェンスの実装ですが、

フェンス

さて、非常に申し訳ないのですが、画面クリア程度であればフェンスなどの対処が必要と思っていたのですが、画面クリアですら非同期処理に対応しなければならないのがDirectX12のようです。

そもそも非同期処理とは?

マルチスレッドの話をしてしまうとかなり難しいので、簡単な話をからしていきます。ゲームに限らず特定の処理を行う関数には

- 完了復帰(処理が完了するまでプログラムはストップする)
- 即時復帰(処理が完了してなくてもそのままプログラムカウンタは進む)

の2種類があります。これは裏で別スレッドが走っているんですが、DxLibにおいてもFileRead_openなどはの指定によっては即時復帰と完了復帰が選べます。

http://dxlib.o.oo7.jp/function/dxfunc_other.html#R19N1

完了復帰ならばファイルの読み込みが終わるまではその関数から処理が返ってこないですし、即時復帰ならばファイルの読み込みが終わる終わらない間に関わらず処理を返します。

前にも言ったかもしませんが、ファイルアクセス(つまりHDDへのアクセス)は非常に重い処理で待ちが発生します。ちなみにゲーセン仕様のゲームの場合は1秒以上(60フレーム以上)の待ちが発生した場合(画面更新を1秒以上行わない場合)は「ウォッチドッグ」という仕組みにより、強制再起動が発生します。

…怖いだろ?マルチスレッドとかなかった時代はファイル読み込みでこういう事が発生しないように相当工夫してたんだよ。

で、マルチスレッドにより非同期処理がデフォルトに入るようになって、読み込み中でも「NowLoading」を表すものを表示できるようになりました。一番秀逸なのは初代バイオハザードのドアが開くシーンです。あれ、ドアを開けている時間で一生懸命ロードしてたわけです。

ちなみに僕の大好きなゲーム「Dead Space」ではエレベータのシーンでレベルロードを行っているっぽいです。昔のゲームは正面切って「NowLoading」出してましたが、最近のゲームではその時間をごまかすための工夫がより洗練されているようです。

で、ここで非同期ロードには欠かせない概念として「いつロード完了したか」を判断しなければならないわけです。ロードが完了してもいいね!不完全なままデータを読み取ろうとすればそれはもうね、蛹を羽化前に開いちゃったり、孵化前の有精卵を割っちゃったりするようなもんですよあんた。

というわけできちんと準備できるかどうか知らなければならぬので通常はそのためのAPIなどが用意されている。例えば DxLib の FileRead 系であれば

CheckHandleAsyncLoad

http://dxlib.0.007.jp/function/dxfunc_other.html#R21N2

などでチェックすることができます。

ちなみにループ内などでチェックしながら完了を待つことを「ポーリング」と言います。ゲームではこのポーリングを使用することが多いです。

[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9D%E3%83%BC%E3%83%AA%E3%83%B3%E3%82%BB0_\(%E6%83%85%E5%A0%B1\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9D%E3%83%BC%E3%83%AA%E3%83%B3%E3%82%BB0_(%E6%83%85%E5%A0%B1))

もう一つは完了時にイベント(コールバック関数コール)が発生するパターンです。PlayStation3などではこの方法がとられていました。

あと、非同期処理が顕著なのは『ネットワーク通信』があるゲームですね。結構ネットのデータのやり取りって遅いんです。当然パケットが大きくそして多ければ多いほど時間がかかりますので、まずは送るパケットを工夫して小さくするところから始まりますが、ともかくここでも完了復帰は普通に使用されます。最後にDBへのアクセスもそうですね。

で、結局 DirectX12 はどうなの?

ぶっちゃけ GPU と CPU のやり取りなんてのは通信と同じだと思っておいてくれていい!(特に DirectX12 においては)わけで、例えば GPU にコマンドを投げましたー。で、このコマンドの ExecuteCommand は即時復帰なのよ。

つまり今回の場合であれば画面クリアの実行が完了する前にスクリーンフリップが先に実行されてしまい、まあおかしなことになってしまふわけです。なんですかというと、ホワイトボードや黒板をイレイサーで消している最中に黒板がフリップされたら困るだろう?



まずはそれを防止しなければなりません。面倒ですけどね。

DirectX にはフェンスという仕組み(ID3D12Fence)があり、それを使用することで GPU に投げた処理を『待つ』ことができます。

ここで

「いやどうせ GPU に投げた処理が完了するまでフリップを待たなきゃいけないんだったら DirectX11 の時みたいに完了復帰にすりゃいいじゃん」と思った君は賢いのだろう。

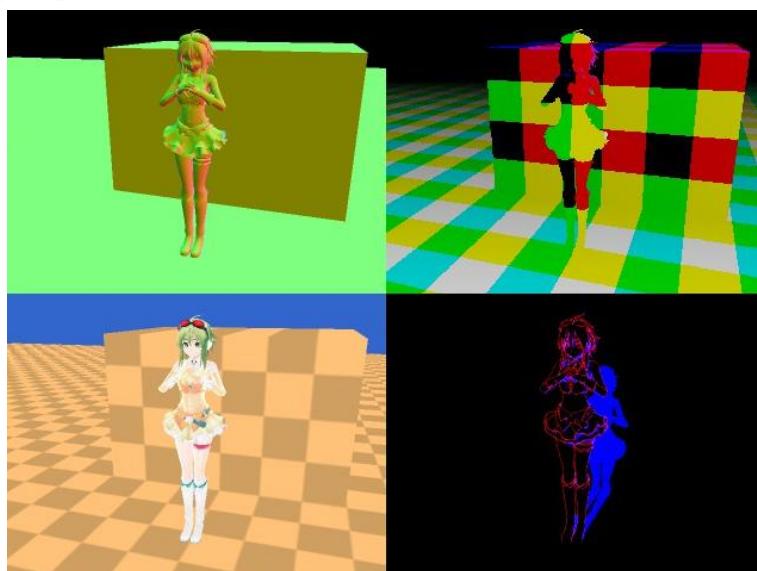


これには理由があるのだ。
そもそもなんでこんなややこしいことをする羽目になったのかといふと

DirectX9～11 時代に様々なテクニックが生まれ「マルチパスレンダリング」が当たり前になり、
ディファードレンダリングなどの手法が色々で使われるようになってきたのが原因じゃないかなと思う。

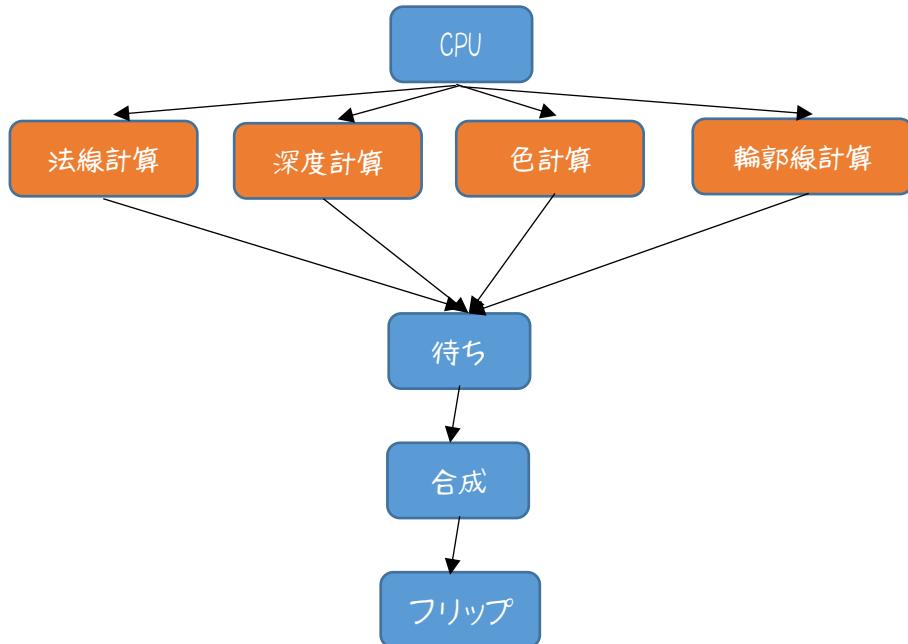
意味が分からぬだろうから簡単に言うと。

一枚の画面を作るために



事前に↑の絵のような複数の情報を書いておいて、最後に合成するわけです。

普通に作っちゃうと左上をレンダリングして、右上をレンダリングして、左下をレンダリングして、右下をレンダリングして、最後に合成ってなるんですが、GPUがマルチコアであるにも関わらずシーケンシャル(順次実行)に処理するのは効率悪いため



すげー大雑把に言うとこういう感じにしているわけ。徒競走で4人の走者がいて、運営側は全員がゴールするまで待っておかなければならぬみたいにな。そういう状態です。

ちなみにこの仕組みに対応できているハードはまだ多くはなく PS4 や XBoxOne などは対応していると思いますが GeForce GTX 860 以前の PC では対応していないと思います。

フェンスの仕組み

フェンスの仕組み自体はクソ単純です。すぐに理解できると思います。



- 内部に `UINT` 型の変数を持っている
- GPU 側のコマンド処理が完了した時点で `UINT64` 型変数を更新する
- CPU 側はこのカウントが更新されたかを見て待つかどうかを決める

ちなみにそれでも分かりづらいかも知れないのが

「GPU 側のコマンド処理が完了した時点で UINT64 型変数 を更新する」だけ、
これは具体的に言うと

Signal(指定の値)

とやると、GPU 側の処理が完了し次第、フェンス値が指定の値に変更されるので(逆に言うと GPU 側のコマンド処理が完了するまではフェンス値は前の値のまま)、CPU 側としてはこの値を見ながら待つかどうかを決める。

な? クソ簡単じゃろ?

ではフェンスを実装しようか

やることはそれほど大変ではないです。まずはフェンスオブジェクトを作ります。

ID3D12Fence* _fence=nullptr;

次に、更新していくためのフェンス値を定義しなければならない。上に書いてるよ
うに UINT64 型 で定義しよう

UINT64_fenceValue=0;

ちなみに GPU が持っている「フェンス値」は CreateFence 時に決定されます。

次にフェンスオブジェクトを生成します。CreateFence を使います。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899179\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899179(v=vs.85).aspx)

dev->CreateFence(初期値,DX12_FENCE_FLAG_NONE,IID_PPV_ARGS(いつもの));

で、例えばこう

dev->CreateFence(_fenceValue,DX12_FENCE_FLAG_NONE,IID_PPV_ARGS(&&_fence));

まあやろうとしてることは分かるでしょ?

さて、これで ExecuteCommand の後あたりで CommandQueue::Signal 関数を呼び出
します。

_commandQueue->Signal(フェンスオブジェクト,変えたい数値);

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899171>

で、注意点は、こいつの呼び出し元は Fence ではなく CommandQueue ってこと。自分のコマンドがすべて完了したら自分の中の内部の数値を第二引数の数値に変更します。

例えばこうですね。

```
++_fenceValue;
_commandQueue->Signal(_fence, _fenceValue);
```

で、ここで注意してほしいことは Signal 関数は「待ってはくれない」という事です。
「待つ処理」は自分で作らなければなりません。

一番手っ取り早く分かりやすい方法は「ポーリング」

Signal の後に

```
while(fence->GetCompletedValue() != _fenceValue){
    //ナニモシマセン( * •ω• ` )
}
```

ただねえ…これやっちゃうとぶっちゃけビジー状態になりっぱなしになるので、どうかとは思うけど、ゲームだから CPU 占有しちゃってもいいのか。
…まあ、簡単でしょ？

でも、もう ExecuteCommand の後に(すぐじゃなくても)待つことになるので、シグナルは飛ばしておきたい。ということで、セットでラップしておきましょう。

```
void
DirectX12::ExecuteCommand() {
    _cmdQue->ExecuteCommandLists(1, (ID3D12CommandList* const*)&_cmdList);
    _cmdQue->Signal(_fence, ++_fenceValue);
}

void
DirectX12::WaitWithFence() {
    _cmdQue->Signal(_fence, ++_fenceValue);
    while (_fence->GetCompletedValue() != _fenceValue)
        ;
}
```

三角形の描画をしよう

さて、いよいよ三角形の描画をしていきます。ここまでが本当に大変。

頂点情報の設定と GPU 転送

頂点情報を作る

今回は三角形を作っていきます。

頂点はいくつひとつかな? そう、3頂点ですね?

んで、この3つの頂点の一つ一つにはどれくらいの情報量が必要かな? 座標情報が必要だからひとまずは X, Y, Z ですね。

まず構造体を作ってみましょう。

一応一番最初に便利ライブラリとして

#include<DirectXMath.h> をインクルードしているので、こいつを使えば数学的なところは幾分マシになるかなと思います。

ただし、こいつがちょっと面倒で、昨年の DirectX11 をやってる人にとってはちょっとだけ戻になっているのですが

float3 つぶんを表す XMFLOAT3 ってのがあるんですけど、こいつは DX11 の時にはそのまま使えました。しかし DirectXMath になってからはちょっと面倒で

DirectX::XMFLOAT3

って使い方になります。名前空間がくっついちゃってるんですね。面倒だと思う人は

using namespace DirectX;

って cpp の先頭(インクルードの後くらい)で書いてください。

くれぐれも言っておきますが、using namespace をヘッダ側で使用しないようにしてください。それは相当な悪手です。



さて、using namespace DirectX;を書いている前提で話を進めますけれども

```
struct Vertex{
    XMFLOAT3 pos;//座標
};

こんなのは作ってください。一応意味は分かりますよね？そう
Vertex vertex;
vertex.pos.x=...
みたいにして頂点を定義して使うわけです。
とりあえず3点定義します。
//頂点情報の作成
Vertex vertices() = { {{0.0f,0.0f,0.0f}},
```

```
    {{ 1.0f,0.0f,0.0f }},
    {{ 0.0f,-1.0f,0.0f }} };
```

こんな感じで(正解とは言ってない)。次は頂点レイアウトの定義です。ちなみにこの「頂点の順序」は結構重要で、順序を間違えると表示されません。基本的に時計回りになるようにしてください。あとでどうにでもなりますが、理屈知らないと結構ハマる罠なので。

頂点バッファ

頂点情報をそのまま GPU 側に投げれるかというとそうではなくて、そんなに甘くもないのです。どうやって投げるのかと言うと頂点バッファおよび頂点バッファビューを使用して投げます。

まず頂点バッファを作ります。でも DirectX11 得意二キを罠にはめる情報も満載なのです。そ

そもそも ID3D12Buffer が存在しない代わりに

ID3D12Resource を使用します。

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788709.aspx>

もう名前からして、11 の時より完全に「メモリの塊(リソース)」って感じがします。

ID3D12Resource* _vertexBuffer=nullptr;

とでも宣言しておいてください。

11までだったらこういうバッファを作りたければ GetBuffer だの CreateBuffer だのを使っていればよかった。だがそれはいけない。そのような関数は「もうない」のである。

代わりにあるのが CreateCommittedResource である。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899178\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899178(v=vs.85).aspx)

まあ…罷ですなあ。DirectX11 の CreateBuffer よりもパラメータ多いし…キツツレなホント。
ぶっちゃけパラメータ多くて面倒なので素直にサンプルに従います。

```
dev->CreateCommittedResource(
    &CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD), //CPUからGPUへ転送する用
    D3D12_HEAP_FLAG_NONE, //特別な指定なし
    &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(sizeof(vertices)), //サイズ
    D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ, //よくわからない
    nullptr, //nullptrでいい
    IID_PPV_ARGS(&_vertexBuffer)); //いつもの
```

とりあえずこう記述してください。僕もまだ DirectX12 の全体的な使用を把握しきれてないので、あまり細かいところになると良く分かりません(DX11なら VERTEX_BUFFER とかの指定で OK だったんですけど…)

ちなみに D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ の部分に「良く分からぬ」と書いたらいましたが、これ日本語に訳しても

「これは、アップロードヒープに必要な開始状態です。可能であれば、アプリケーションは通常この状態を避け、実際に使用されている状態にのみリソースを移行してください。」

とか非常に不穏なことを書いていますし。正直な話ここでサンプル頼みになっちゃうのは非

常に悲しいし、申し訳ないけど俺の力不足です。

ともかくこれで頂点バッファができました。アリザルトは確認しておいてくださいね。
でもまんが DEFAULT を指定すると、書き込み不可のため MAP が失敗するのでやっぱ UPLOAD にしておいてください。

でもよく考えてください。頂点バッファは作ったけど中身が入っていませんよね？ 雑に言うと
器は作ったけど空っぽなわけです。今からここに中身(頂点情報)をねじこんでいく必要があります。

これねえ… DX11 の時代は初期情報を Create の時点で突っ込むこともできたんですが、
DirectX12 は Map すること前提なので… ホンマにハードル上がったるわ。
で、Map って何かって言うとすでに作ったバッファに対してこちらから書き込みをするときに
使います。この Map した段階で内部的には GPU 側からこのバッファの参照ができないなくなるた
めある意味 Lock に近いかな～って感じです。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788712\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788712(v=vs.85).aspx)

何かというと、ロックしといてメモリの番地を貰つといて、そこに対して書き込みするわけ
です。

第一引数はインデックスなのでとりあえずは 0 でいいです。第二引数はちょっとややこしいん
ですが『そのメモリの内容を読み込んで利用する時にのみ意味があるもの』となります。とい
うことでの

D3D12_RANGE range = { 0, 0 };

適当な値を入れておいて、第二引数にセットします(もしかしたらこいつは nullptr 入れてお
けばいいかも知れません)

そして最後の引数でポインタを取得するのですがこいつの型が void** なので、正直何でもい
いんですけど、char* や unsigned char* のポインタでも突っ込んでおけばいいです。

で、Map 関数が終わった時点で↑のポインタのアドレスに頂点座標を書き込めば GPU に投げる
ためのデータとなるわけです。

ただ、そうは言っても単なるデータの塊なので結局 memcpy や std::copy などでメモリコピー
をしてあげる必要があります(これが構造体変数 1 個なら memcpy や std::copy 使わなくても
行けるんですけどね)

ともかく頂点データの内容を↑のバッファにコピーして終わったら Unmap してください。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788713\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788713(v=vs.85).aspx)
_vertexBuffer->Unmap(インデックス,書き込み範囲を表すポインタ);
というわけでインデックスは Map の時と同様に 0 でよく、第二引数も nullptr でオッケー。

とりあえずこれで頂点バッファはできました。だけどまだ終わらなくて、次はこれを頂点バッファビューにして GPU に投げれるようにします。

頂点バッファビュー

頂点バッファビューを宣言します。

```
D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW _vbView={};
```

頂点バッファビューってのは、頂点バッファの全体の大きさとか 1 頂点当たりの大きさとかを知らせるための付加情報と頂点バッファを紐づけて GPU に投げるためのものです。DX11 いう所の VERTEX_BUFFER_DESC みたいなもんです。

まずは頂点バッファの GPU におけるアドレスを記録しておきます。

```
_vbView.BufferLocation=_vertexBuffer->GetGPUVirtualAddress();
```

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903923\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903923(v=vs.85).aspx)

次にストライド(頂点 1つ当たりのバイト数)を指定します。実はストライドって歩幅って意味なんだけれど、次のデータまでの距離を表すわけです。これは簡単で sizeof 使えばいい。

```
_vbView.StrideInBytes = sizeof(Vertex);
```

次にデータ全体のサイズを伝えます。

```
_vbView.SizeInBytes = sizeof(vertices);
```

で、このビューを最終的にはコマンドリストにて

```
_commandList->IASetVertexBuffers(0,1,&_vbView);
```

てな投げ方をするんですが、それはもうちょっと後でやります。

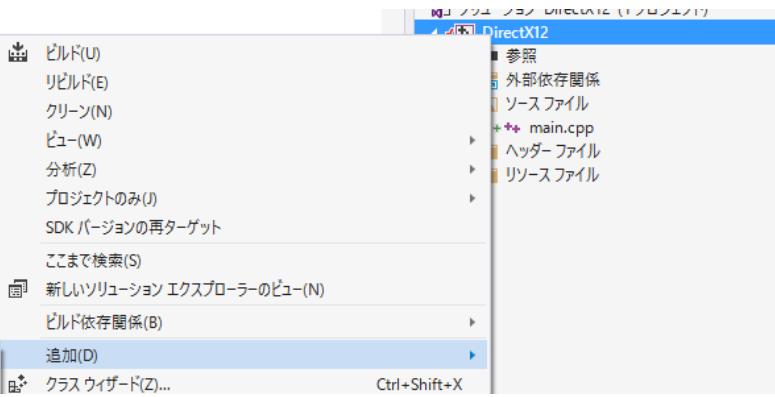
そんな事よりシェーダ書こうぜ

AD), //CPUからGPUへ転送する
3)), //サイズ
ない

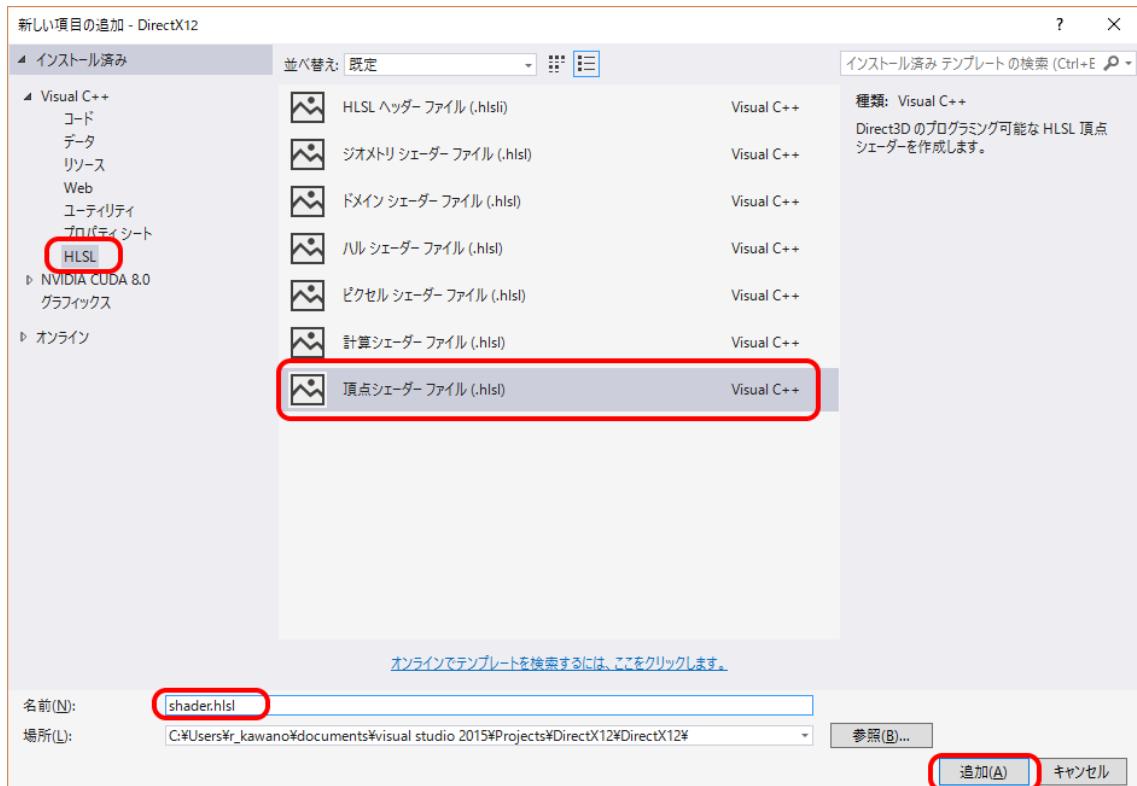
buff);

新しい項目(W)... Ctrl+Shift+A

存在する項目(G)... Shift+Alt+A



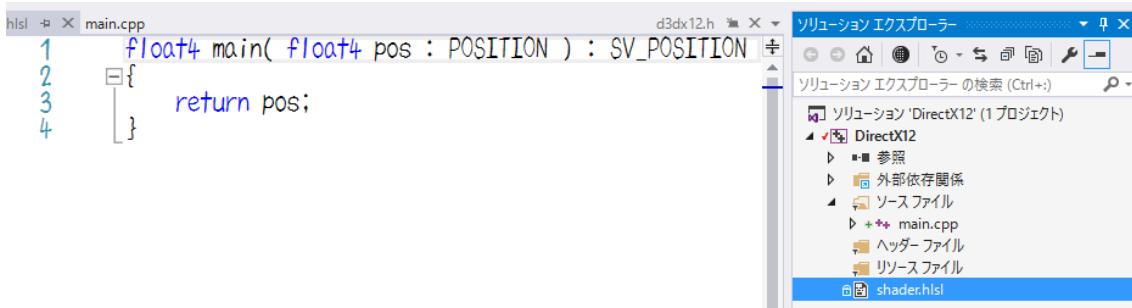
プロジェクトで右クリック→追加→新しい項目を選ぶと



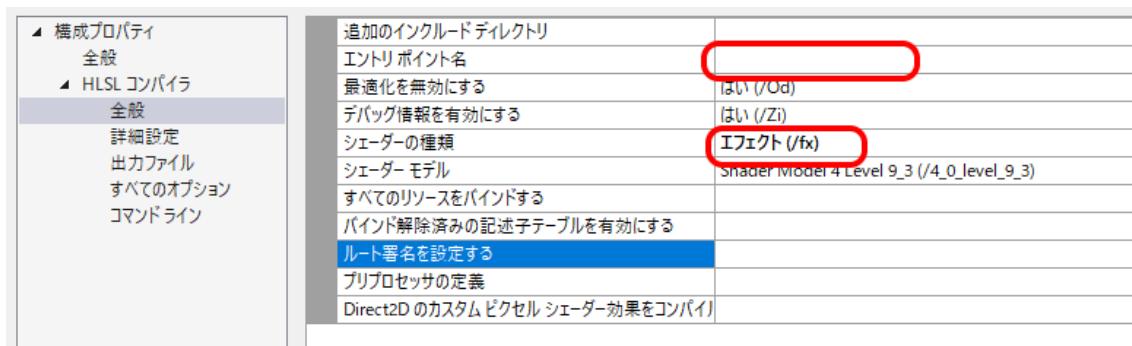
こんなのが出てくるので頂点シェーダーとして追加してください。とはいって実際には頂点シェーダーとピクセルシェーダーを共用しますので、VertexShaderではなく、 shader.hlsl にし

といてください→追加。

こうなるので, shader.hlsl で右クリック>プロパティ>



HLSL コンパイラ→全般



エントリポイント名を空白にして、シェーダーの種類を「エフェクト」にしてください。これでピクセルシェーダを併用できます。

で、実は頂点シェーダは今までいいのでピクセルシェーダ自分で書いていきます。まだシェーダの書き方を知らないと思うのでこう書いてください。

あと、シェーダモデルは 5.0 にしてください。

で、コンパイルして通ればひとまずシェーダは大丈夫です。

とはいって、これは hlsl 側が終わったって意味で、C++ 側では今度はシェーダ読み込み処理を書かなければなりません。面倒ですね。

シェーダ読み込み

はい、久々のプロフですが、シェーダ用の宣言です。

```
ID3DBlob* vertexShader = nullptr;
ID3DBlob* pixelShader = nullptr;
```

次にこれに対してシェーダのコンパイルを行います。

```
result = D3DCompileFromFile(_T("shader.hlsl"), nullptr, nullptr, "BasicVS", "vs_5_0", D3DCOMPILE_DEBUG |  
D3DCOMPILE_SKIP_OPTIMIZATION, 0, &vertexShader, nullptr);  
  
result = D3DCompileFromFile(_T("shader.hlsl"), nullptr, nullptr, "BasicPS", "ps_5_0", D3DCOMPILE_DEBUG |  
D3DCOMPILE_SKIP_OPTIMIZATION, 0, &pixelShader, nullptr);
```

ちょっと長いんですけど、頑張って書いてください。

で、これ実行しようとするとリンクに怒られるので d3dcompiler.lib をリンクしてください。

さて、これで終わりと思うかね？まだまだですよ。あくまでも「シェーダをコンパイル」して「使える」状態にしただけなので、使ってあげないといけません。

ルートシグネチャー

またわけわからんない概念が出てきました。ルートシグネチャーです。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899208\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899208(v=vs.85).aspx)

こんなのが読んでも分からぬと思います。

ちなみに機械翻訳した結果…

ルートシグネチャ

ルートシグネチャは、グラフィックスパイプラインにどのタイプのリソースがバインドされているかを定義します。

このセクションで

<u>ルート署名の概要</u>	ルートシグネチャは app によって設定され、シェーダが必要とするリソースにコマンドリストをリンクします。グラフィックスコマンドリストは、グラフィックスと ルートルートシグネチャ の両方を有する。 計算コマンドリスト には、単純に 1 つの 計算ルート署名 があります。これらのルート署名は、互いに独立しています。
<u>ルート署名の使用</u>	ルートシグネチャは、ディスクリプターテーブル（レイアウトを含む）、ルート定数およびルート記述子の任意に配置された集合の定義である。各エントリには最大限のコストがかかります。そのため、アプリケーションでは、ルートシグネチャに含めるエントリの種類ごとにバランスを取ることができます。
<u>ルート・シグネチャの作成</u>	ルートシグネチャは、ネストされた構造を含む複雑なデータ構造です。これらは、以下のデータ構造定義（メンバの初期化を支援するメソッドを含む）を使用してプログラムで定義することができます。また、 HLSL (High Level Shading Language) で作成することもできます。これにより、レイアウトがシェーダと互換性があることをコンパイラが早期に検証できる利点があります。

<u>ルート署名の制限</u>	ルート署名はアライム不動産であり、厳格な制限と考慮する必要があります。
<u>ルートシグネットチャに直接定数を使用する</u>	アプリケーションは、ルートシグネットチャ内のルート定数をそれぞれ 32 ビット値のセットとして定義できます。それらは定数バッファとして HLSL(High Level Shading Language) で表示されます。歴史的な理由から、定数バッファは 4x32 ビットの値の集合とみなされることに注意してください。
<u>ルートシグネットチャに直接記述子を使用する</u>	アプリケーションは、ディスクリプタヒープを通過することを避けるために、ディスクリプタを直接ルートシグネットチャに入れることができます。これらのディスクリプタは、ルートシグネットチャの領域（ルートシグネットチャの制限のセクションを参照）に多くのスペースを必要とするため、アプリケーションはそれを控えめに使用する必要があります。
<u>ルート署名の例</u>	次のセクションでは、複雑さが空から完全完全に変化するルートシグネットチャを示します。
<u>HLSL でのルートシグネットチャの指定</u>	HLSL でのルートシグネットチャの指定 Shader Model 5.1 は C++ コードでそれらを推定する代わりに使用できます。
<u>ルート署名バージョン 1.1</u>	Root Signature バージョン 1.1 の目的は、ディスクリプタヒープ内のディスクリプタが変更されないか、またはディスクリプタがポイントしても変更されない場合に、アプリケーションがドライバに指示できるようにすることです。これにより、ドライバが記述子またはそれが指すメモリが一定期間静的であることを知ることができる可能性のある最適化を行うことができるようになります。

Google 大先生翻訳がかなりの勢いでバグるほど難しいようです。



割と本気で殺しに来るのがわかるだろう？

そこで

<https://shobomaru.wordpress.com/2015/03/01/direct3d-12-update-at-idf14/>

とか

<https://sites.google.com/site/monshonosuana/directxno-hanashi-1/directx-145>

を見ました。

ちなみに

プライム不動産→Prime real estate→「主要(重要? 最優先?)な物理メモリ領域」とかそういうのだと思います。要は、ルートシグネチャも物理メモリを消費するので制限とコストについてしっかり考慮する必要がありますってことです。

ちなみに <https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/direct3d12/using-a-root-signature> をみると「各エントリには最大限のコストがかかります」と書かれているためメモリの管理には気を付けようぜという事だと思う。

ルートルートシグネチャ→compute root signature→単なる誤植っぽい。

空から完全完全→from empty to completely full→空っぽのやつから、完全にフルのやつまで…つまり、ルートシグネチャは中身空っぽの状態でも生成できるし、フルフルの状態もありうる。どちらの状況についても例を用いてご説明いたしますって事。

計算コマンドリスト、計算ルート署名→A compute command list will simply have one compute root signature.→これは、グラフィックス用のコマンドリストやらルートシグネチャに対して、コンピュートシェーダで使用するためのコマンドリスト(ID3D12CommandList)やらルートシグネチャがあるため、このような言い回しになっていると思います。

ちなみにルートシグネチャの説明として

「ルートシグネチャは、ディスクリプターブル(レイアウトを含む)ルート定数およびルート記述子の任意に配置された集合の定義である。各エントリには最大限のコストがかかります。そのため、アプリケーションでは、ルートシグネチャに含めるエントリの種類ごとにバランスを取りすることができます。」←機械翻訳

おかしなのは、この概要の説明が、「概要」の部分になく「使用」の部分にあるんだよなあ。ちなみに概要の部分の説明では

「ルートシグネチャは app によって設定され、シェーダが必要とするリソースにコマンドリストをリンクします。グラフィックスコマンドリストは、グラフィックスとルートルートシグネチャの両方を有する。計算コマンドリストには、単純に 1 つの計算ルート署名があります。これらのルート署名は、互いに独立しています。」←機械翻訳

である。

ちなみにマニュアルの中の例…「空のルートシグネチャ」ってやつは使い物にならない上に、

恐らくそれすら作るのは簡単ではない。

正直とてもとてもややこしい(難しいわけではない…ややこしい。説明は難しいが…)

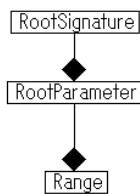
非常に作りが…本当に、本当にややこしい。

結局説明を入れても

<https://sites.google.com/site/monshonosuana/directxno-hanashi-1/directx-145>

と似たような説明になってしまふし、説明しても多分スルーしてしまう程わけわからんのです。

一応構造的には



こういうシンプルな構造にはなっています。で、RootParameter の1つ1つが、今まで何度か言っている DescriptorTable に当たります。正確には

```
D3D12_ROOT_PARAMETER rootParam = {};
rootParam.ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_DESCRIPTOR_TABLE;
rootParam.DescriptorTable.NumDescriptorRanges = 1;
```

こういう作りです。

コード見てもらった方が手っ取り早いと感じてこう書きました。実はルートパラメータというものは共用体状態になってて、DescriptorTable, Constants, Descriptor の三種のどれかの形態になっていて、どの形態になっているかは ParameterType で知らせるように作られています。

基本的に DescriptorTable を使っていくのですが、他の奴ももちろん知っておいた方がいい…でもとりあえず今は飛ばしていきます。知りたい人は

<https://shobomaru.wordpress.com/2015/03/01/direct3d-12-update-at-idf14/>

の解説を見ておくとよいと思います。

で、DescriptorTableについて色々と資料を漁りました。

<https://www.slideshare.net/DevCentralAMD/introduction-to-dx12-by-ivan-nevraev>

<https://software.intel.com/en-us/articles/introduction-to-resource-binding-in-microsoft-directx-12>

ちなみに DescriptorTable と DescriptorHeap は直接関連しているわけではありません。
これは知っておいてください。

「ディスクリプタヒープの主な目標は、できるだけ多くのレンダリングのためにすべてのディスクリプタを格納するために必要なだけ多くのメモリを割り当てます。」

「ディスクリプタ・テーブルは、ディスクリプタ・ヒープにオフセットします。ディスクリプタテーブルを切り替えることで、ヒープ全体を常に表示するようにグラフィックパイプラインを強制するのではなく、特定のシェーダが使用するリソースセットを変更するための安価な方法です。この方法では、シェーダはヒープ空間内のリソースをどこに見つけるかを理解する必要はありません。」

「言い換えれば、アプリケーションは、図 2 に示すように、異なるシェーダの同じディスクリプタヒープをインデックスする複数のディスクリプタテーブルを利用できます。」

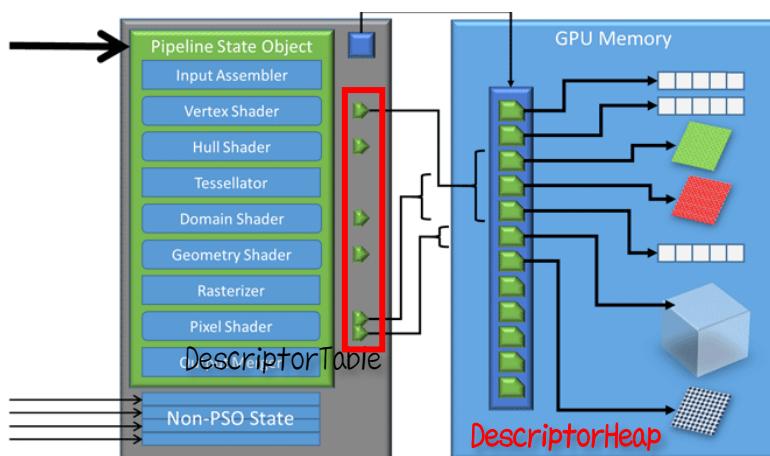
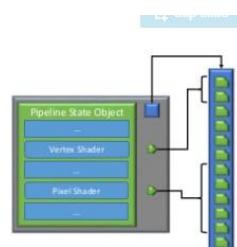


図2

ちょっと付け足してみたんだけど、DescriptorTableってのが、左側にある五角形のアレの事ですね。

Descriptor Tables

- Context points to active heap
- A table is an index and a size in the heap
- Not an API object
- Single view type per table
- Multiple tables per type

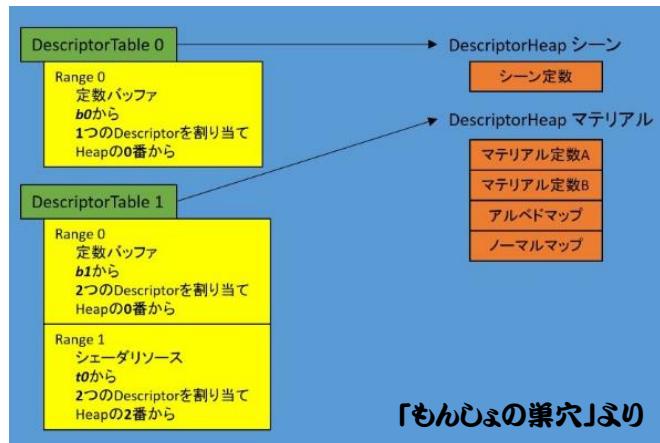


で、ディスクリプタテーブルはレンジと言うものを持ってて、これによってヒープの特定の場所にアクセスするんだけど、ヒープの場所の~(どつかアドレス)ではなくシェーダレジスタ番号の指定なんだよね。

ちょいイメージが違うんだわあ…。

まあ、レジスタ番号指定メンバの名前が **BaseShaderRegister** って名前だからまあ、そういう事なんだろうって察しはつくんですけどね。

もんじょ氏の図はもう少しだけ分かりやすくて、



アルベドとかノーマルは忘れて構造だけ見てね

まあ、マテリアルとマップがこんなお行儀よく並んでるかと言うとちょっと疑問なんだけど。まあ DirectX12においては「まとめて扱いたいから並べろ」って事かな。ちなみに「マテリアル定数」は定数バッファ(CBV)でアルベドとかノーマルはテクスチャ(SRV)です。別の種別のバッファが並んでるわけです。

で、レンジにはレンジには RangeType というメンバがあり、それ一つがシェーダの種別を持っている(こちらで指定する)という構造になっている。

で、なんで「レンジ」かというと、Range…範囲と言う意味で、DX11までだったらこういう指定って一つ一つだったんですが、それらをまとめて扱えるようにして、いっぺんに指定するため「範囲」という意味の Range が使われているのだと思います。

変数名を決めた「思想」まで慮らないと、意味が分からぬし…それが DirectX12

『DirectX12 沼へようこそ』

それはともかく何となく構造が見えてきたところで早速プログラミングしていきましょう。今回は単純なシェーダ2つだけなのでそれほど複雑にならないと思います。

```
ID3D12RootSignature* rootSignature=nullptr;//これが最終的に欲しいオブジェクト
ID3DBlob* signature=nullptr;//ルートシグネチャをつくるための材料
ID3DBlob* error=nullptr;//エラー出た時の対処
```

ちなみに ID3DBlob ってのは汎用的に使用するためのメモリオブジェクトだと思ってください。
 Blob ってのは不定形ってな意味があります。興味があったら『不思議なプロビー』とか映画『the BLOB』を見ると分かりやすいかもしれません。

ルートシグネチャ本体を作るためには…

CreateRootSignature

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899182\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn899182(v=vs.85).aspx)
 を使います。

//ルートシグネチャの生成

```
result = dev->CreateRootSignature(0,
    signature->GetBufferPointer(),
    signature->GetBufferSize(),
    IID_PPV_ARGS(&rootSignature));
```

で生成できるのですが、当然ながら signature が nullptr であるためクラッシュします。
 ではどのように signature を作るのかというと、

D3D12SerializeRootSignature を使用します。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn859363\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn859363(v=vs.85).aspx)

ここで第一引数である D3D12_ROOT_SIGNATURE_DESC は Flagsだけ指定すればよく

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986747\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986747(v=vs.85).aspx)
 他は nullptr と 0 でいいので、

```
D3D12_ROOT_SIGNATURE_DESC rsd = {};
rsd.Flags = D3D12_ROOT_SIGNATURE_FLAG_ALLOW_INPUT_ASSEMBLER_INPUT_LAYOUT;
```

で十分です。これを D3D12SerializeRootSignature の第一引数に入れます。ちなみに

D3D12_ROOT_SIGNATURE_FLAG_ALLOW_INPUT_ASSEMBLER_INPUT_LAYOUT;

は

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn879480\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn879480(v=vs.85).aspx)
 に書かれているように、

The app is opting in to using the Input Assembler (requiring an input layout that defines a set of vertex buffer bindings). Omitting this flag can result in one root argument space being saved on some hardware. Omit this flag if the Input Assembler is not required, though the optimization is minor.

に書かれているように、

『アプリケーションは、入力アセンブラー(頂点バッファバインディングのセットを定義する入力レイアウトが必要)を使用するようにオプトインしています。このフラグを省略すると、一部のハードウェアに1つのルート引数スペースが保存される可能性があります。入力アセンブラーが不要な場合はこのフラグを省略しますが、最適化は軽微です。』

ということで、今回は『入力アセンブラー(IA)』は使用するので

`D3D12_ROOT_SIGNATURE_FLAG_ALLOW_INPUT_ASSEMBLER_INPUT`
を指定します。

つまりこのように書くことになります。

```
D3D12_ROOT_SIGNATURE_DESC rsd = {};
rsd.Flags = D3D12_ROOT_SIGNATURE_FLAG_ALLOW_INPUT_ASSEMBLER_INPUT_LAYOUT;
```

さて、これでできた RootSignatureDesc を使って、シリアル化していきましょう。

第一引数はこの rsd のアドレスを代入し、第二引数は `D3D_ROOT_SIGNATURE_VERSION_1` を指定しておけばいいです。ちなみに `1_1` を使用すると今の所失敗します。たぶん他に色々設定する必要があるのでしょうが、これ以上ここに時間をかけたくないるので先に進みましょう。

残り2つは `signature` と `error` なので、アドレスをそのまま入れればよい。

さて、これで `CreateRootSignature` ができたらオッケーです。

でもし、シェーダに対して値とかテクスチャとか渡すようになると、最初に言った Range とかなんとか必要になってきますが、それは必要になってからまた説明します。

頂点レイアウト

頂点レイアウトって何?

これはデータの塊がどういう意味を持つのかを知らせるものです。CPU の世界ではご覧のように `Float3` つで、頂点の座標を示しているのは分かってるんですが、GPU に投げられた時には

単なるバイトデータの塊なのです。

例えば↑のデータならこんな感じに見えます。

「ウフフフフフ…フフフフフ…ヤ…ウフフフフフ」

なにわろとんねん。怖いわ。というわけで、これでは使い物にならんわけです。かといってテキストで投げたら GPU にとってはもっとワケわからんのです。ここで出てくるのが…

「このデータはこういう風に扱ってや」というデータ上で頂点情報がどのようにメモリ上にレイアウト(配置)されているのかを示す「頂点レイアウト」なのです。これを頂点情報とともにGPUに投げることによって、頂点情報をxyzとして認識できるわけです。

さて次に頂点レイアウトの定義ですが

D3D12_INPUT_ELEMENT_DESC

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770377\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770377(v=vs.85).aspx)

で定義します。これも DX11 のやつを参考に見てみます。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee416244\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee416244(v=vs.85).aspx)

まず、分らない用語が出てきます。

「セマンティクス」ってなんや?

初めて聞く言葉だと思いますが、これは「データの意味付け」くらいに思っておいたらいいです。

「HLSL セマンティクス」で検索すると

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb509647\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb509647(v=vs.85).aspx)

POSITION(座標)だの COLOR(色)だのが出てきます。

実は POSITION も COLOR もどちらもシェーダにわたってくるときには float4 つぶんと表されます。

POSITIONなら xyzw,COLORなら rgbaですね。

まあ最初は POSITION のみでいいです。

SemanticIndex はしばらく 0 でいいです。同一セマンティクス要素は出でこないので。
次の DXGI_FORMAT ですが、これは FLOAT いくつ分のデータとかそういうのを記述します。
FLOAT 三つ分なので

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418116\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418116(v=vs.85).aspx)

を見ながら

DXGI_FORMAT_R32G32B32_FLOAT

を指定します。

この辺が面倒なのですが X32Y32Z32 なんという指定はないのです。GPU まわりは XYZ も RGB として表現したりしますので、そういうのにもう慣れてください。

次に入力スロットですが、これは 0 でいいです。そのうちスロットを複数使いますが、しばらくは 0 スロットしか使わないのです。0 でいいです。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb205117\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb205117(v=vs.85).aspx)

とか

http://marupeke296.com/DX10_No2_RenderBillboard.html

にスロットの話とかが書かれてますので、興味のある人は良く読んでおきましょう。

AlignedByteOffset は D3D11_APPEND_ALIGNED_ELEMENT を指定しておいてください。本来は数値を設定するのですが、それだとあまりにも面倒なんで。

次に InputSlotClass ですがこれも

D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA

を指定します。

最後の引数は 0 にしてください。それはヘルプに明記されています。

で、この頂点レイアウトは『配列にすべきもの』です。つまり今まで書いたのを構造体の配列にするように定義してください。

```
//頂点レイアウト
D3D12_INPUT_ELEMENT_DESC inputLayoutDescs[] = {
    { "POSITION", 0, DXGI_FORMAT_R32G32B32_FLOAT, 0, D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT, D3D12_
    INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA, 0 },
};
```

あとはパイプラインステートにて

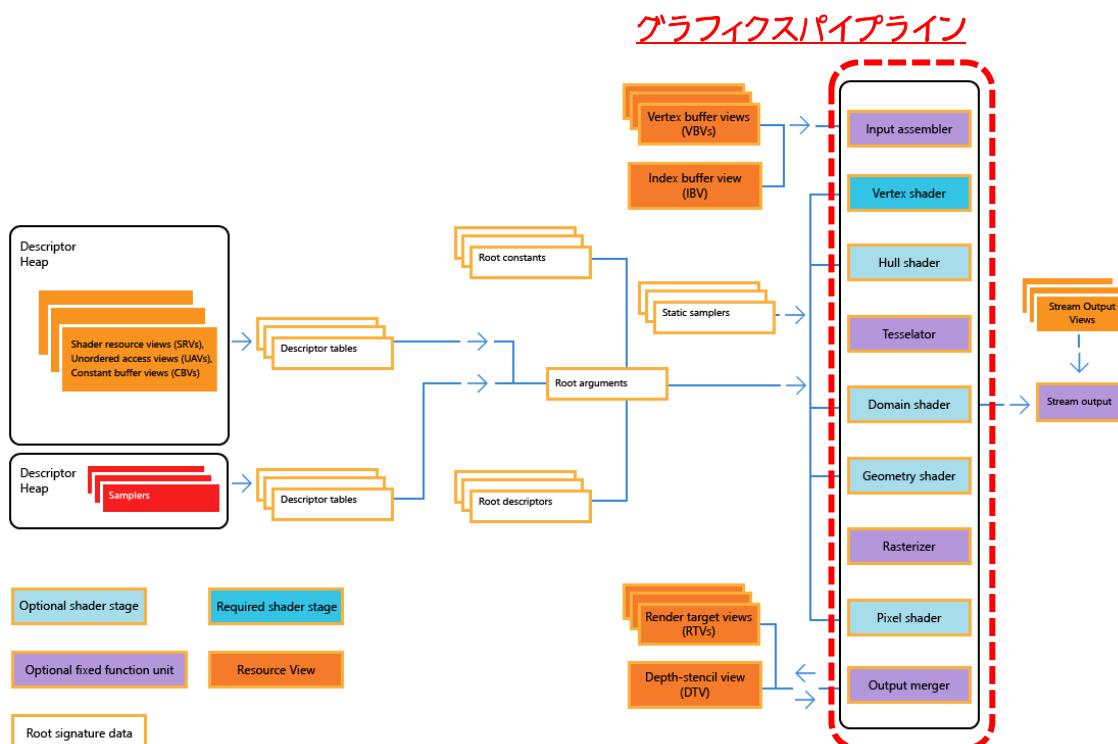
```
gpsDesc.InputLayout.pInputElementDescs = inputLayoutDescs; //  
gpsDesc.InputLayout.NumElements = _countof(inputLayoutDescs); //  
とでもしてやれば( ^ω^ )おつけ。
```

パイプラインステートオブジェクト(PSO)

さて、前にもちょっとだけ出て来てた「パイプラインステートオブジェクト(PSO)」を初期化していきましょう。

名前の通りパイプラインに関する情報をパンパン突っ込んでいきます。個人的にはあまりパイプラインと直接関係ないもの混ざっている気がするんですが…

まずグラフィクスピープライインと言うのは



↑こういうものでしたよね?

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/pipelines-and-shaders-with-directx-12> より

前にも言いましたが、DirectX12 は DirectX11 ではバラバラになっているものくつつけたがる設計思想なのだ。

ステート系ってのはここまで話で具体的に言うと…このレンダリングパイプラインに関わる部分をまとめたものという事だ。

シェーダ系

- 頂点シェーダ(VS)
- ピクセルシェーダ(PS)
- ハルシェーダ(HS)
- ドメインシェーダ(DS)
- ジオメトリシェーダ(GS)

です。それに加えて

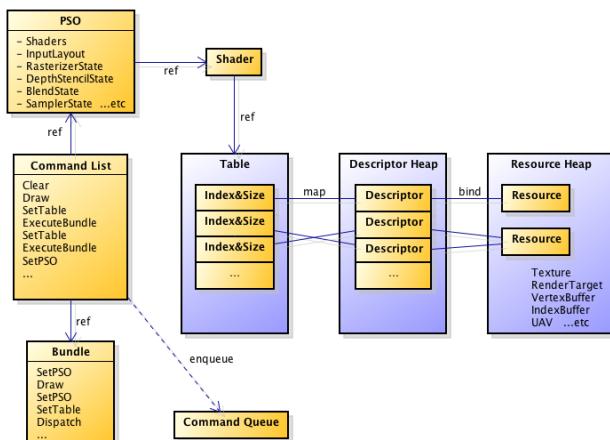
- 頂点レイアウト
- ラスタライザーステート
- ブレンドステート
- デプスステンシルステート
- トポロジータイプ
- その他色々

あと、ルートシグネチャと関連付ける必要があるので

- ルートシグネチャ

ちなみに比較的パイプラインステートとルートシグネチャの関係の分かりやすい図として

http://f.hatena.ne.jp/shuichi_h/20150502164707 の



あります。ああ～、なんとなく構造がわかつてくるですよ～。

これらの情報を

D3D12_GRAPHICS_PIPELINE_STATE_DESC 変数に入れておいて

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770370\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn770370(v=vs.85).aspx)

とはいえ、正直クソ多いので、必要なものだけ入れておきます。

VS,PS,RasterizerState,BlendState,DepthStencilState,SampleMask,PrimitiveTopologyState,Num
RenderTargets,0番レンダーターゲットビューフォーマット、サンプルカウント
など…とはいえる初心者が分かる部分ではないので

```
VS=C3DX_SHADER_BYTECODE(vs);
PS=C3DX_SHADER_BYTECODE(ps);
RasterizerState=C3DX_RASTERIZER_DESC(D3D12_DEFAULT);
BlendState=CD3DX_BLEND_DESC(D3D12_DEFAULT);
DepthStencilState.DepthEnable=false;//今はファルスで
DepthStencilState.StencilEnable=false;//今はファルスで
D3D12_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TYPE_TRIANGLE
レンダーターゲット数1
フォーマットは R8G8B8A8_UNORM
サンプルカウントは1で
```

あとはパイプラインステートを CreateGraphicsPipelineState でパイプラインステートを作
って…セットするだけです。これはコマンドリストのリセットの際に第二引数にパイプラ
インステートを入れておけばいいのです。

CreateGraphicsPipelineState

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788663\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788663(v=vs.85).aspx)

で、以下のように書いてください。

```
//ルートシグネチャと頂点レイアウト
gpsDesc.pRootSignature = _rootSignature;
gpsDesc.InputLayout.pInputElementDescs= inputLayoutDescs;//
gpsDesc.InputLayout.NumElements = _countof(inputLayoutDescs);//

//シェーダ系
gpsDesc.VS = CD3DX12_SHADER_BYTECODE(vsBlob);
gpsDesc.PS = CD3DX12_SHADER_BYTECODE(psBlob);

//使わない
```

```
//gpsDesc.HS;
//gpsDesc.DS;
//gpsDesc.GS;
//レンダーターゲット
gpsDesc.NumRenderTargets = 1;//注)このターゲット数と設定するフォーマット数は
gpsDesc.RTVFormats(0) = DXGI_FORMAT_R8G8B8A8_UNORM;//一致させておく事
```

注意点ですが設定したレンダーターゲット数以上にRTVFormatは設定しないでください。やっちはまいました。NumRenderTarget=1にした状態で8枚全部RGBAで設定したらエラります。とりあえず1枚なら0番目のみ設定しとけばいいです(デフォルトはDXGI_FORMAT_UNKNOWN)

```
//深度ステンシル
gpsDesc.DepthStencilState.DepthEnable = false;//あとで
gpsDesc.DepthStencilState.StencilEnable = false;//あとで
gpsDesc.DSVFormat;//あとで

//ラスタライザ
gpsDesc.RasterizerState = CD3DX12_RASTERIZER_DESC(D3D12_DEFAULT);

//その他
gpsDesc.BlendState=CD3DX12_BLEND_DESC(D3D12_DEFAULT);
gpsDesc.NodeMask = 0;
gpsDesc.SampleDesc.Count = 1;//いる
gpsDesc.SampleDesc.Quality = 0;//いる
gpsDesc.SampleMask = 0xffffffff;//全部1
//gpsDesc.Flags;//デフォルトでOK
gpsDesc.PrimitiveTopologyType = D3D12_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TYPE_TRIANGLE;//三角形
ID3D12PipelineState* _pipelineState=nullptr;
result = dev->CreateGraphicsPipelineState(&gpsDesc,IID_PPV_ARGS(&_pipelineState));
で、これでS_OKが返ってこない場合はシェーダとかレイアウトとかが間違えていると思いま
すので、確認しておいてください。
```

その他やらなければならない事

あともうちょっと…あともうちょっと我慢してくれ。もうすぐポリゴン出るから。
ここからやらなければならぬことは

- パイプラインステートをセット(コマンドリストのリセット時)
- ルートシグネチャをセット(SetGraphicsRootSignature)
- ビューポートのセット(RSSetViewports)

くらいなのだが、これに加えて、以前画面クリアするときには使ってない描画という処理を使ってるので、またちょっとだけ面倒なことをやらなければならない。
それは

『リソースバリア』である。

リソースバリア

これもフェンスと同じように、特定のリソースに対して読み込みと書き込みが同時に行われないようにする仕組みです。

で、今回ひとまずバックバッファリソースにバリアをかけておくため

ResourceBarrier

```
https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903898
_cmdList->ResourceBarrier(1,&CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(_renderTargets[バックバッ
ファーム番号],D3D12_RESOURCE_STATE_RENDER_TARGET,D3D12_RESOURCE_STATE_PRESENT));
つまり
_cmdList->ResourceBarrier(1,
    &CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(_backBuffers(bbIdx),
        D3D12_RESOURCE_STATE_RENDER_TARGET, D3D12_RESOURCE_STATE_PRESENT));
_cmdList->Close();
```

を使います。これをコマンドリストの一番最後に呼び出します。

あとはそれぞれの処理をこなしていく。

ビューポート

ビューポートってのは、これまでの話に比べると比較的簡単で、ディスプレイに対してレンダリング結果をどのように表示するかというものです。これは内部でレンダリング画像を『ビューポート変換』して、画面に表示しています。簡単ですのでやっていきましょう。

ん~、シンプルに言うとどこからどこまでの範囲にレンダリングするかってのを指定するものです。

必要なものは画面のサイズ…そしてデプスですが、たぶん良く分からぬと思いますので、デプスに関しては今は言うとおりにしてください。

RSSetViewportsって関数を使います。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903900\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903900(v=vs.85).aspx)

これはDX11と同じなのでそっち見て考えましょう。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419744\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419744(v=vs.85).aspx)

はい、今回は表示先はひとつだけなのでNumViewportsは1にしておいてください。

んで、ビューポート(D3D12_VIEWPORT)を普通に構造体オブジェクトとして作ってそのポイントを渡してください。

D3D12_VIEWPORTの指定は

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee416354\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee416354(v=vs.85).aspx)

見てもらえば入れるものは分かると思います。左上は0,0でいいです。

で、MinDepth=0,MaxDepth=1にしておいてください。

```
//ビューポート設定
_viewport.TopLeftX = 0;
_viewport.TopLeftY = 0;
_viewport.Width = wsize.w;
_viewport.Height = wsize.h;
_viewport.MaxDepth = 1.0f;//カメラからの距離(遠いほう)
_viewport.MinDepth = 0.0f;//カメラからの距離(近いほう)
```

//なんでカッサー(切り取り)矩形も必要

```
_scissorRect.left = 0;
_scissorRect.top = 0;
_scissorRect.right = wsize.w;
_scissorRect.bottom = wsize.h;
(中略)
```

//ビューポートとシザー設定

```
_cmdList->RSSetViewports(1, &_viewport);  
_cmdList->RSSetScissorRects(1, &_scissorRect);
```

残り色々セット

既に作っているパイプラインステートオブジェクトをセット
→コマンドリストのリセット時に既に作っているパイプラインステートオブジェクトを入れる。

ルートシグネチャーをセット

既に作っているルートシグネチャーを

```
_commandList->SetGraphicsRootSignature
```

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788705\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn788705(v=vs.85).aspx)

でセット。

ビューポートをセット

RSSetViewports

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903900\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn903900(v=vs.85).aspx)

でセット

で、もう一つ設定しなければならない!んだけど、シザーっていうやつで、画面をどう切り取るかの指定もしなければならない。正直めんどい!んだけど、これをやらないと表示されない。

RSSetScissorRects

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903899\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903899(v=vs.85).aspx)

これはいたって簡単。`left,top,right,bottom` を設定すればいいだけ。左上は 0 でいいから…あとはわかるな?

ここまでではいい! だが、最後にもう一つ、頂点バッファのセットも必要である。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419692\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419692(v=vs.85).aspx)

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn986883\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn986883(v=vs.85).aspx)

これも DX11 と同じなのでこれを見ながら

スロットは 0 でいい。Numbuffers は 1

で、次の引数に頂点バッファビューをセット。

ここまで終わったら

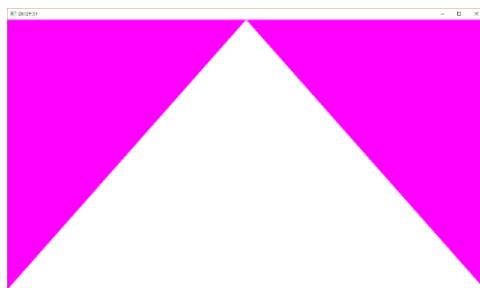
ドロー!!ポリゴン!!!

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419594\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee419594(v=vs.85).aspx)

_commandList->DrawInstanced(頂点数,インスタンス数,0,0)

で描画します。インスタンス数ってのは同じ奴をいくつも書くときに入れる奴なので、1でいいです。

うまくいけば…



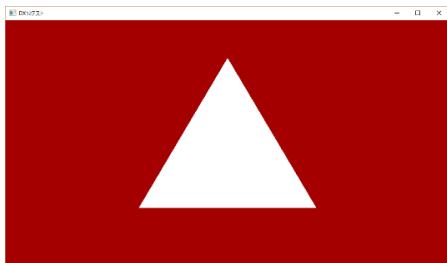
こんな感じの表示になります。右上の白い部分が今回描画している三角形です。

ここまで苦労を考えると意外とあっさりですね…

例えば頂点をちょっといじると

```
Vertex vertices[] = { { { 0.0f, 0.7f, 0.0f } },
{ { 0.4f, -0.5f, 0.0f } },
{ { -0.4f, -0.5f, 0.0f } } };
```

こうなります。



さらにシェーダをいじって色を変えてみましょう。

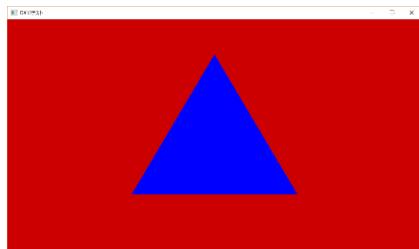
ピクセルシェーダの

```
return float4(1,1,1,1);
```

の部分を

```
return float4(0,0,1,1);
```

とすると



こうなります。でもこれは予想できて面白くない…。

というわけで、こう書いてみてください。

```
struct Out {  
    float4 svpos : SV_POSITION;  
    float4 pos : POSITION;  
};
```

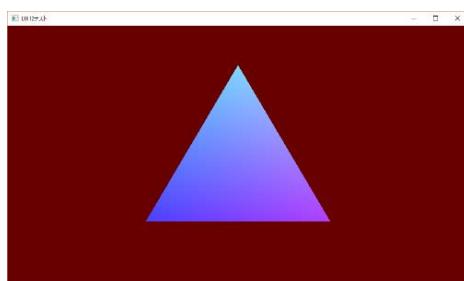
//頂点シェーダ

```
Out BasicVS( float4 pos : POSITION )  
{  
    Out o;  
    o.svpos = pos;  
    o.pos = pos;  
    return o;  
}
```

//ピクセルシェーダ

```
float4 BasicPS( Out o):SV_Target  
{  
    return float4((o.pos.xy+float2(1,1))/2,1,1);  
}
```

どうなりました?



はい、勝手にグラデーションがつきました。これがシェーダの面白さです。

シェーダの構造体とかあとメンバに関しては C++ よりかなり柔軟です。いや C++ でも似たようなことはできるんですが、かなり面白いと思います。面白いと思ってほしいなあ。

何でこうなるかを考えてほしいのですが、ちょっと面倒なのは SV_POSITION のまま使おうとするとグラデがわからないことですね。

たかだかポリゴン1枚出すのに100ページ越えちゃったよ…。やっとここまで パンナムブートキャンプ1日目終了 っすよ。これは確かに新人にはキツイわあ…。

うまくいかない場合

ちなみに、ここまで正しくやってるのに三角形表示されないことがあります。原因としてグラボが対応していないことがあります(ノートの場合はインテル長寿 HD グラフィックスになってるとか…ドライバの問題だったりするので、その場合は出力 exe ファイルに右クリックで高機能 GPU を割り当てるよう設定してテストしてみてください)。

すまんけどノートの HD グラフィクスの検証はちょっとやってないんですね(自前のノート PC も教務室のデスクトップ PC も nVidia しか選択されない仕様のため…ぶっちゃけめんどう)。



デバイスの生成もできるし対応はしてるはずなんだけど、要所要所で挙動が違うんですよね。検証にかける時間はちょっとないんですね…。

ちなみに、デバイスが複数ある場合に、こちらから(アプリケーション側から)グラボを選ぶといふのはできなくもない。

アプリがグラボを選ぶズエ…レリーズエ…

面倒なんだけど、dxgifactory を作った後に「使用されるグラフィクスアダプタを列挙」という関数があるんで、列挙された中からええグラボを取りに行くという事はできます。

やり方はというと、今の CreateDevice の第一引数が nullptr なんだけど、そいつをきちんと指

定する。どうするかと言うとグラフィクスアダプタを列挙する。

```
std::vector<IDXGIAAdapter*> adapters;
IDXGIAAdapter* adapter = nullptr;
for (int i = 0; _dxgiFactory->EnumAdapters(i, &adapter) != DXGI_ERROR_NOT_FOUND; ++i) {
    adapters.push_back(adapter);
}
この中から NVIDIA の奴を探す
for (auto adapt : adapters) {
    DXGI_ADAPTER_DESC adesc = {};
    adapt->GetDesc(&adesc);
    std::wstring strDesc = adesc.Description;
    if (strDesc.find(L"NVIDIA") != std::string::npos) {//NVIDIAアダプタを強制
        adapter = adapt;
        break;
    }
}
```

そのアダプタを使って CreateDevice する。

```
D3D12CreateDevice(adapter, 1, IID_PPV_ARGS(&dev))
```

いいね?

もうちょっと後になると怖い怖いテクスチャマッピングがお前らを襲うっ!!でもその前にその貼り付けるためのサーフェイスを作りましょう。

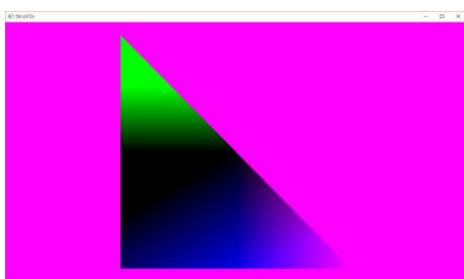
四角形の描画をしよう

まず、4頂点にしましょう。

//頂点バッファ生成

```
Vertex vertices[] = {
    XMFLOAT3(-0.5, -0.9, 0),
    XMFLOAT3(-0.5, 0.9, 0),
    XMFLOAT3(0.5, -0.9, 0),
    XMFLOAT3(0.5, 0.9, 0),
};
```

でも、これをそのまま表示したとしても



4角形にはなりません。

_cmdList->DrawInstanced(4, 1, 0, 0);

とやっても同じです。ではどうしましよう…? 2つくらいやりようがあります。

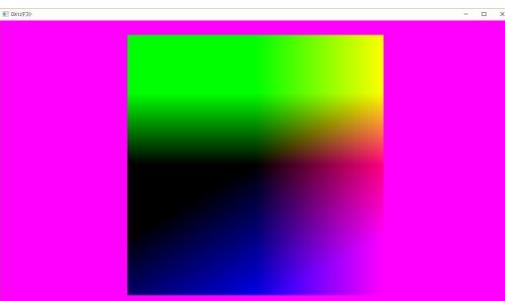
まずは、TRIANGLESTRIPにしてしまう事です。

_commandList->IASetPrimitiveTopology(D3D_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TRIANGLESTRIP);

通常は三角形と言えば三角形の集合 TRIANGLELIST がメジャーなのですが手っ取り早く矩形を表示するために TRIANGLESTRIPってのが使われます。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d9/triangle-strips>

簡単に言うと頂点を N 字もしくは Z 字の順になるように並べていくことでひとつながりの三角形を表現できるものです。



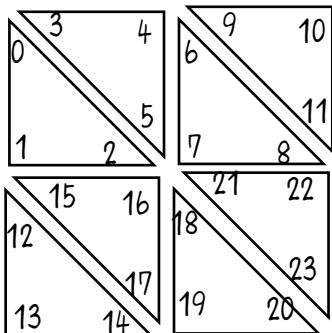
ね? 簡単じゃろ? 簡単だよなあ?

そして簡単すぎてゲイないので、TRIANGLELIST のまま4頂点で4角形になる方法を考える… 実はこ↑こ↓が重要で…後々お世話になる「インデックス」の概念を学ぶのだ。

と言いつつよく考えたら DXLib の頃からやってたよなあ…

インデックス情報の設定と GPU 転送

モデルデータなどは頂点の集合で、そして無数にあります。例えば



TRIANGLELIST で頂点を並べるとこういう図のように頂点が重なってしまうのですよ。真ん中の頂点なんか 2, 5, 7, 16, 18, 21 の 6 頂点が重複することになります。頂点 1 つ当たりの情報は「座標3」「法線3」「UV2」「その他」で、一頂点当たりの情報がかなり多いんですね。ということで、頂点情報を減らすため、もつといふと一度に動かす頂点を減らすために、インデックスという番号で三角形の構成情報を渡すという方式を取っています。

なので、例えば単なる矩形(4角形)ですら 6 頂点必要なんですが 4 頂点で済ますためにはインデックスデータがあればいい。UI に使用する矩形であれば TRIANGLESTRIP でもいいんですが、モデルではインデックスありきなので、まあ、練習の意味もこめてインデックスにしてみましょう。

さて、すでに 4 頂点ありますから、頂点番号は 0, 1, 2, 3 です。あ、いったん TRIANGLELIST に戻してくださいね。で、頂点 4 つを組み合わせて 2 つの三角形を作ってください。なお、インデックスは 6 個です。

この時、全ての三角形が時計回りになるように気を付けておいてください。ひっくり返ると面倒な事になります(描画されないんじゃないかな…)

さて、実際のインデックス情報も GPU のお気に召すような状態にしてあげなきゃいけません。

インデックス配列を作る

簡単すぎるか…

```
std::vector<unsigned short> indices = {0,2,1,2,3,1};
```

インデックスバッファを作る

頂点の時と同様に ID3D12Resource*でインデックスバッファ用変数を作つておいてください。

あと、頂点の時と同様に

```
result = dev->CreateCommittedResource(&CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),
                                         D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
                                         &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(indices.size() * sizeof(indices[0])),
                                         D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,
                                         nullptr,
                                         IID_PPV_ARGS(&indexBuffer));
```

で、これも頂点の時と同様にメンバ変数に `D3D12_INDEX_BUFFER_VIEW` の型の変数を作つてください。

そいつに

```
_ibView.BufferLocation = idxBuff->GetGPUVirtualAddress(); //バッファの場所
_ibView.Format = DXGI_FORMAT_R16_UINT; //フォーマット(shortだからR16)
_ibView.SizeInBytes = indices.size() * sizeof(indices[0]); //総サイズ
こんな感じで必要な情報を代入します。
```

できたらインデックス情報を転送しといてください。そこは自分でお願いします。やり方は頂点の時と同じです。

インデックスバッファをセット

`IASETINDEXBUFFER` 関数を使用して、インデックス情報をセットします。

```
_cmdList->IASetIndexBuffer(&_ibView);
_cmdList->IASetPrimitiveTopology(D3D_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TRIANGLELIST);
```

ドロー(インデックスあり)

簡単です。`DrawIndexedInstance` を使えばいい。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-drawindexedinstanced>

第一引数がインデックス数。第二引数がインスタンス数である事が分かれば…わかるじゃろ?

テクスチャ貼りたいなあ…

さて、そろそろテクスチャを貼りたくなってきたと思います。パンナムポートキャンプの2日目です。テクスチャってのは絵の事です。

まあ、絵は何でもいいんですけどね。別に



こんなにも

それはともかくテクスチャを貼りましょう。

うん、「また」なんだ。すまない。

テクスチャ…めんどくせえんだ。DirectX11までとはわけが違うんだ。シェーダやデスクリプタは勿論ルートシグネチャとか絡んでくるんですわこれが。

まずは貼れる準備をしましょう

頂点情報にUVを追加

では手始めにVertex構造体にuvを追加しましょう。

XMFLOAT2 uv;

UVは2floatなのでXMFLOAT2を使用します。

初期化の部分はuvの情報を増やしておいてください。できるでしょ?

モチロンレイアウトも増えますので追加します。

```
{ "TEXCOORD", 0, DXGI_FORMAT_R32G32_FLOAT, 0, D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT, D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA, 0 },
```

こうなるとモチロン頂点シェーダも変更しなきゃいけなくて…

頂点シェーダ変更

前にも言った通りグラフィックスパイプラインは簡略化して書くと
頂点情報→頂点シェーダ→ピクセルシェーダ→出力
で流れになってて「パイプライン」というのが、前のステージの出力が次のステージの入力
になっているわけで、今、頂点情報を変更したわけですからシェーダの方もuvの入力を追加する
必要があります。

やり方はとっても簡単。頂点シェーダにUVの項を追加するだけ

vs(float4 pos : POSITION ,float2 uv:TEXCOORD)

これでOK

ついでにピクセルシェーダ側もいじってみましょう。せっかくuvが入ってきたので色に反映させましょうか。出力構造体にuvを追加しといで…

```
return float4(output.uv.x,output.uv.y,1,1);
```

と書けば



こんな感じになるはずです。

テクスチャオブジェクト生成

はい、uvを作ったのは伊達や酔狂でもなんでもなく、画像を貼り付けるためです。そのためにはGPUに流せる「テクスチャデータ」を作つてあげる必要があります。察しのいい人はすでに分かってると思いますが…そう D3D12Resource です。

今一度

[https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createcommittedresource](https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12-device-createcommittedresource)

を見ましょう。

説明が

「ヒープがリソース全体を格納するのに十分な大きさでリソースがヒープにマップされるように、リソースと暗黙のヒープの両方を作成します。」←機械翻訳

「Creates both a resource and an implicit heap, such that the heap is big enough to contain the entire resource and the resource is mapped to the heap.」←原文

頂点シェーダの時とより、ちょっとパラメータの設定が面倒です。

CD3DX～一発ではなく、いちいちパラメータに入れるヒーププロパティとかリソースデスクリプションとか自分で書いてあげます。

// ひとまずこの通りに書いてください。

```
D3D12_HEAP_PROPERTIES heapprop = {};
heapprop.Type = D3D12_HEAP_TYPE_CUSTOM;
heapprop.CPUPageProperty = D3D12_CPU_PAGE_PROPERTY_WRITE_BACK;
heapprop.MemoryPoolPreference = D3D12_MEMORY_POOL_L0;
heapprop.CreationNodeMask = 1;
heapprop.VisibleNodeMask = 1;
```

色々ネットサーフィンしてペニーワイズとかチャーハンついでに DirectX12 のヒーププロパティについて調べましたが少なくとも日本語のサイトで、これらの設定についてきちんと考察、記載しているサイトはありませんでした。ほぼみんな同じコードなので、サンプル丸写しかなと邪推しています。

一応公式のリファレンスはこれ

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/ns-d3d12-d3d12_heap_properties

L0 とか L1 ってあのキャッシュの事ぢやうのん? CPU ページプロパティ? ページングのこと? だからページプロパティってなんなんですかあ! ??ごめんちょっと泣きそうなレベルで分からぬ。



恐らく推測としては CPU におけるページングだの L0 だの L1 だのの話なんだろうけど、説明

がほとんどないから本当に分からない。ここからそのページングとか L0L1 の詳細な話をするのかと!!! 時間ねーよ!!!!

それでもいちおう詳しいのはここかな。

https://shikihiiku.wordpress.com/2015/04/01/available_combinations_of_flags_when_allocating_resources_in_dx12/

ちなみに今回の場合だと

『D3D12_CPU_PAGE_WRITE_BACK を用いた場合

POOL_L0 のみリソース確保可能。

GPU で有効なアドレスを保持し、Map 可能です。

対象のアドレス領域には、WRITE_COMBINE や NOCACHE フラグが適用されていないので、一般的な writeback(通常のキャッシュが有効なメモリ)と考えられます。』

なぜこれを選ぶのか…正直わかりませんが、他の組み合わせでやろうとすると S_OK 出ないし、出たとしてもテクスチャ利用時に書き込めないとそういうのが発生してしまい、正直これに関しては分からんです。勉強ですまんがここはもう書かれてる通りにしてくれ。

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/ne-d3d12-d3d12_cpu_page_property

ライトバックとか言われても…意味が分からん。

まあ

<https://www.weblio.jp/content/%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%88%E3%83%90%E3%83%83%E3%82%A4>

F

を見れば

『CPU と記憶装置の間で記録を一時的に保管するキャッシュメモリーの動作方式のひとつで、CPU が記憶装置にデータを書き込む際、いったんキャッシュメモリーにデータを書き込み、処理の空き時間ができてからキャッシュメモリーからメインメモリーに書き込む方式のことである。』

キャッシュと記憶装置に同時にデータの書き込みを行うライトスルー方式に比べて、キャッシュが記憶装置よりも HYPERLINK "https://www.weblio.jp/content/%E8%A8%98%E6%86%B6" ¥o "記憶の意味" 記憶 HYPERLINK "https://www.weblio.jp/content/%E5%8B%95%E4%B D%9C" ¥o "動作の意味" 動作が HYPERLINK "https://www.weblio.jp/content/%E

9%AB%98%E9%80%9F” より “高速の意味” 高速であるという HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E7%89%B9%E6%80%A7>” より “特性の意味” 特性を HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E6%B4%BB%E3%81%8B%E3%81%99>” より “活かすの意味” 活かすことができ、HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E5%8B%95%E4%B0%9C>” より “動作の意味” 動作が HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E9%AB%8%E9%80%9F>” より “高速の意味” 高速になるという HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E9%95%B7%E6%89%80>” より “長所の意味” 長所があるが、HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E3%82%AD%E3%83%A3%E3%83%83%E3%82%B7%E3%83%A5>” より “キャッシュの意味” キャッシュと HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E3%83%A1%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%A1%E3%83%A2%E3%83%AA%E3%83%BC>” より “メインメモリーの意味” メインメモリーとの間で HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF>” より “データの意味” データが必ずしも HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E6%95%B4%E5%90%88>” より “整合の意味” 整合するとは HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E9%99%90%E3%82%89%E3%81%9A>” より “限らずの意味” 限らず、HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E3%83%A9%E3%82%82%E3%83%AB%E3%83%BC>” より “ライトスルーの意味” ライトスルー HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E6%96%B9%E5%BC%8F>” より “方式の意味” 方式よりも HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E5%88%B6%E5%BE%A1>” より “制御の意味” 制御が HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E5%A4%9A%E5%B0%91>” より “多少の意味” 多少困難になるという HYPERLINK “<https://www.weblio.jp/content/%E7%9F%AD%E6%89%80>” より “短所の意味” 短所もある。』

まあ、これがテクスチャデータ作成にどう関わってるのか分からんのだが…ともかく重ね重ね申し訳ないのだがここだけはサンプルの通りにしておいてほしい。

ということでヒーププロパティ D3D12_RESOURCE_DESC を設定していきます。

https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/ns-d3d12-d3d12_resource_desc

```
D3D12_RESOURCE_DIMENSION Dimension;//何次元テクスチャか(TEXTURE2D)
UINT64 Alignment;//先頭からなので0
UINT64 Width;//テクスチャ幅
UINT Height;//テクスチャ高さ
UINT16 DepthOrArraySize;//リソースは2Dだし配列でもないので1
```

```

UINT16           MipLevels; // ミップ使うまでは 0 レベル
DXGI_FORMAT     Format; // 例によって R8G8B8A8_UNORM
DXGI_SAMPLE_DESC SampleDesc; // count1, quality0
D3D12_TEXTURE_LAYOUT Layout; // わかりません(UNKNOWN)というより決定できない状態
D3D12_RESOURCE_FLAGS Flags; // NONE(ほかのオプション見たらわかるけど、これしかない)

```

一個一個見ていくつもいいけど、ひとまずオブジェクトを作りたいと思います。

ちなみに LAYOUT の SWIZZLE はデータの並びがややこしい(モートン符号化みたいな並びになってる)んでやめとこう←近いピクセルが隣接する並びなので圧縮効率がいいことがあるんだけど、やめとこう。敢えて今は沼には踏み込むまい。

とりあえずここまで読んで、32ビットで幅 256、高さ 256 のテクスチャオブジェクトを作ってみてください。

自分で考えて書くのもお勉強です…というかそれが正しいお勉強です。センセーが書くまで待ってる人は置いていきます。

(待ちます)

(しばらくお待ちします)

いかがでしょうか?
よし、S_OK が返ってる前提で行きます。

書き込み

ちなみにこいつを Map しようとすると失敗します。どういう事?

という事で Map ではなく別の方法を取ります。WriteToSubresource という関数を使用します。
<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12resource-writetosubresource>

ホンマ正攻法が通用しないの腹立つわあ…。

ちなみに第一引数は 0 にしておきます。問題の第二引数ですが、

リソースデータをコピーする宛先サブリソースの部分を定義するボックスへのポインタ。NULL の場合、データはオフセットのないデスティネーションのサブリソースに書き込まれます。ソースの寸法は、目的地に適合しなければなりません([HYPERLINK "https://msdn.microsoft.com/DD3973CC-043E-486E-9403-B46D8B7DE644#D3D12_BOX を参照](#))。

空のボックスはノーオペレーションになります。先頭の値がボトムの値以上であるか、または左の値が正しい値以上であるか、または前の値が後の値より大きいか等しい

場合、ボックスは空です。ボックスが空の場合、このメソッドは何も操作を実行しません。」

ん? nullptr でもいいって事ですかね? ちょっと検証してないんですが、

```
WriteToSubresource(インデックス(0), ボックス, データポインタ。横一列のデータ量、全画像のデータ量(バイト))
```

このボックスについてだけ、画像の上下左右と前と後ろを入れます。上下左右は画像の大きさで決めればいい。ただ front と back は 0,1 にしてください。一応今回は画像を用意していないのでノイズかなんかの模様がビットマップでもぶち込んでしまいましょう。

ちなみにサンプルでは WriteToSubresource ではなく、UpdateSubresource を使っています。ただし、D3DX12 の関数だし、これ使ったやり方は中間リソース作って使わなきゃだし、必然性が良く分からぬ。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/updatesubresources1>

ので使いません。ちなみにソースコード内部に潜っていくと、結局 WriteToSubresource と同じような事をやっています。CopyBufferRegion を呼び出して何やらやっているようです。

UpdateSubresources を使ったやり方は後で紹介しますので、両方やってみても構いません。

```
D3D12_RESOURCE_DESC resdesc={};
resdesc=textureBuffer->GetDesc();
D3D12_BOX box={};
box.left=0;
box.right=(resdesc.Width);
box.top=0;
box.bottom=(resdesc.Height);
box.front=0;
box.back=1;
result=textureBuffer->WriteToSubresource(0,&box, データの塊ポインタ, 1行のデータサイズ, 全体のデータサイズ);
こんな感じですかね。
```

バリアとフェンス

で、このテクスチャ書き込みも結局 GPU 側への書き込み命令なのでリソースバリアが必要になります。

```
_cmdLists->ResourceBarrier(1,&CD3DX12_RESOURCE_BARRIER::Transition(_textureBuffer,
D3D12_RESOURCE_STATE_COPY_DEST,D3D12_RESOURCE_STATE_PIXEL_SHADER_RESOURCE));
_cmdLists->Close();
_cmdQ->ExecuteCommandLists(1,(ID3D12CommandList* const*)&_cmdLists);
```

あとはいつものようにフェンス待ち

シェーダリソースビューを作る

さて、書き込みもできたことだしテクスチャビューに当たるシェーダリソースビュー(SRV)を作りたいところではあるが、ここで一つ考えたのだが、

レンダーターゲットビューとテクスチャリソースビューはヒープ上で共存できるかと言う話だが…まあまずはレンダーターゲットビュー作った時のヒープ作成のコードを見直してみよう。

```
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC descHeapDesc={};
descHeapDesc.Flags=D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_SHADER_VISIBLE;
descHeapDesc.NodeMask=0;
descHeapDesc.NumDescriptors=1;
descHeapDesc.Type=D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV;
result=_dev->CreateDescriptorHeap(
    &descHeapDesc,
    IID_PPV_ARGS(&_descriptorHeap)
);
```

…つまりそういうことだ。

ヒープを作る時点で、そのヒープは「何用か?」は決まっていると思われる。だって Type が決まっちゃうんだもんよ。

じゃあいちいちサイズ測る必要…なくね?

```
auto rtvSize=_dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV);
```

と思ってたんだが、

D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_NUM_TYPES

なるものもあるようだ。ただ、これを使ってるサンプルがなしのと詳しい説明もないとのことでちよこっと怖いので使ってないです。

ケツ論としては

ConstantBufferView と ShaderResourceView と UnorderedAccessView はまとめてよいが、
RenderTargetView と DepthStencilView とはまとめてはならない。

つまるところ、深度まで使おうと思ったらヒープは3種類必要という事になる。

というわけで定数バッファ、テクスチャバッファのためのヒープをいっちょ作りましょう。そのためデスクリムゾン…デスクリプタヒープが3種類。なので、元のレンダーターゲットに使用しているデスクリプタヒープの名称を変えておきましょう。

```
ID3D12DescriptorHeap* _rtvDescHeap;//RTV(レンダーターゲット)デスクリプタヒープ  
ID3D12DescriptorHeap* _dsvDescHeap;//DSV(深度)デスクリプタヒープ  
ID3D12DescriptorHeap* _rgstDescHeap;//その他(テクスチャ、定数)デスクリプタヒープ
```

ちなみに現行のレンダーターゲットに関しては _rtvDescHeap にしてください。

でテクスチャに関しては rgstDescHeap と言う名前にしていますが、これに関しては名前を後で変えるかもしれません、今の所はシェーダのレジスタに関わるヒープって事で rgstDescHeap って名前にしています。

ヒープができるたらシェーダリソースビューです。

```
D3D12_SHADER_RESOURCE_VIEW_DESC srvDesc = {};  
srvDesc.Format = DXGI_FORMAT_R8G8B8A8_UNORM;  
srvDesc.ViewDimension = D3D12_SRV_DIMENSION_TEXTURE2D;  
srvDesc.Texture2D.MipLevels = 1;  
srvDesc.Shader4ComponentMapping = D3D12_DEFAULT_SHADER_4_COMPONENT_MAPPING;
```

はい、上4つのパラメータはだいたい分かると思いますが、最後のパラメータが謎ですねえ。

https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/api/d3d12/ne-d3d12-d3d12_shader_component_mapping

「この列挙型を使用すると、SRV は、メモリフェッチ後にシェーダ内の4つのリターンコンポーネントにメモリをルーティングする方法を選択できます。各シェーダコンポーネント[0..3]（RGBAに対応）のオプションは次のとおりです。SRV フェッチ結果からのコンポーネント 0..3 または強制 0 または強制 1。

D3D12_DEFAULT_SHADER_4_COMPONENT_MAPPING を指定すると、デフォルトの1:1マッピングが示されます。そうでない場合は、マクロ D3D12_ENCODE_SHADER_4_COMPONENT_MAPPING を使用して任意のマッピングを指定できます。」

ともかく最初の一歩なのでデフォルトをやっておきましょう。

さて、これで CreateShaderResourceView が使えますね。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createshaderresourceview>

あとは RenderTargetView とやることは同じです。

出来上がったものが ShaderResourceView オブジェクトですがひとまずはそこまで。あとはルートシグネチャとコマンドリストのお仕事です。

サンプラーを設定

サンプラーは DxLib の時にも話しましたが uv が 0~1 の範囲を越えた時にどういう扱いをするのかというものです。

```
D3D12_STATIC_SAMPLER_DESC samplerDesc={};
samplerDesc.Filter=D3D12_FILTER_MIN_MAG_LINEAR_MIP_POINT;//特別なフィルタを使用しない
samplerDesc.AddressU=D3D12_TEXTURE_ADDRESS_MODE_WRAP;//縁が繰り返される(U方向)
samplerDesc.AddressV=D3D12_TEXTURE_ADDRESS_MODE_WRAP;//縁が繰り返される(V方向)
samplerDesc.AddressW=D3D12_TEXTURE_ADDRESS_MODE_WRAP;//縁が繰り返される(W方向)
samplerDesc.MaxLOD=D3D12_FLOAT32_MAX;//MIPMAP上限なし
samplerDesc.MinLOD=0.0f;//MIPMAP下限なし
samplerDesc.MipLODBias=0.0f;//MIPMAPのバイアス
samplerDesc.BorderColor=D3D12_STATIC_BORDER_COLOR_TRANSPARENT_BLACK;//エッジの色(黒透明)
samplerDesc.ShaderRegister=0;//使用するシェーダレジスタ(スロット)
samplerDesc.ShaderVisibility=D3D12_SHADER_VISIBILITY_ALL;//どのくらいのデータをシェ
```

一々に見せるか(全部)

samplerDesc.RegisterSpace=0;//0でいいよ

samplerDesc.MaxAnisotropy=0;//Filter が Anisotropy の時のみ有効

samplerDesc.ComparisonFunc=D3D12_COMPARISON_FUNC_NEVER;//特に比較しない!(ではなく常に否定)

これはルートシグネチャのパラメータにほっておいてください。

あー、ルートシグネチャを設定する前にシェーダ設定した方がいいね。

シェーダにテクスチャの受け取り側を記述する

それでは shader.hlsl の先頭に

Texture2D<float4> tex:register(t0);

SamplerState smp:register(s0);

と書いてください。

テクスチャの 0 番レジスタとサンプラーの 0 番レジスタを設定します。CPU 側から投げたテクスチャやサンプラーが↑の tex や smp になります。

ちなみに、番号の前の t だの s だのに関しては

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418530\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418530(v=vs.85).aspx)

見るといいと思います。

ともかく CPU 側からのデータを受け取る準備ができました。後はピクセルシェーダにてテクスチャの画素値を参照するようにすればいいのです。

ということで、Texture2D の Sampler 関数を使用します。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb509695\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/bb509695(v=vs.85).aspx)

tex.Sample(サンプラオブジェクト, UV 座標);

の様にして使います。ちなみにピクセルシェーダでのみ有効です。

では、ちょっと頑張って書いてみてください。シェーダエラーが起きなくなるまで頑張りましょう。

で、得られた画素値ですが…ひとまずは、その値をそのまま返すようにしてください。

ルートシグネチャを設定

はい、これがまた面倒…前に話したようにルートシグネチャ→ルートパラメータ→レンジの

階層構造になっています。

サンプラーはともかく、テクスチャが例によってルートパラメータとレンジの指定が必要になってしまいますのでやっていきます。

今回はテクスチャ(シェーダリソースビュー)なのでレンジは

```
descRange.RangeType=D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_SRV;//シェーダリソース  
descRange.BaseShaderRegister=0;//レジスタ番号  
descRange.NumDescriptors=1;  
descRange.OffsetInDescriptorsFromTableStart=D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;
```

であり

```
rootParam.ParameterType=D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_DESCRIPTOR_TABLE;  
rootParam.DescriptorTable.NumDescriptorRanges=1;  
rootParam.DescriptorTable.pDescriptorRanges=&descRange;//対応するレンジへのポインタ  
rootParam.ShaderVisibility=D3D12_SHADER_VISIBILITY_PIXEL;//ピクセルシェーダから参照;
```

であるとして、

それぞれ設定していきましょう。

毎フレームやること

ルートシグネチャのセット

[https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-](https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-setgraphicsrootsignature)

[id3d12graphicscommandlist-setgraphicsrootsignature](#)

```
_cmdList->SetGraphicsRootSignature(_rootSignature);
```

ComputeRootSignature と間違えないよう注意です。

次はテクスチャ用デスクリプタヒープのセットですね。

SetDescriptorHeap を使います。

[https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-](https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-setdescriptorheaps)

[id3d12graphicscommandlist-setdescriptorheaps](#)

```
_cmdList->SetDescriptorHeaps(1,&_rgstDesHeap);
```

ちなみに、第一引数がセットしたいヒープの数で、第二引数がヒープ配列です。1つしか指定しないので、ポインタでオッケー。

最後にデスクリプターテーブルのどれを使用するかを指定します。

`SetGraphicsRootDescriptorTable`

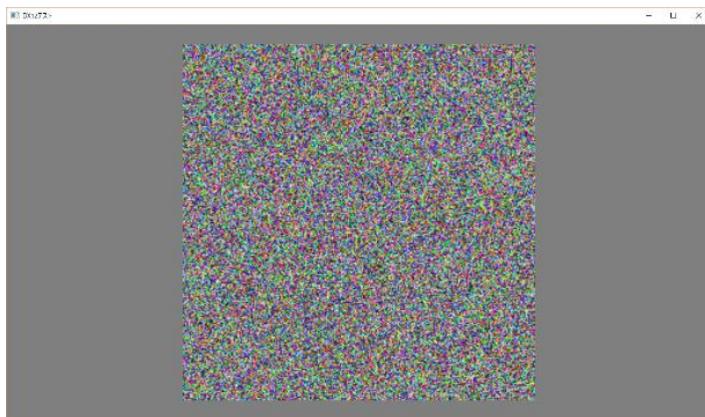
<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-setgraphicsrootdescriptorstable>

今回はデスクリプターテーブルが一つしかないし、レジスタに関連してヒープも一つしかないないので、

`_cmdList->SetGraphicsRootDescriptorTable(0,hstart);`

でな感じでいいと思います。

ここまでが適切にできていれば…



このようにノイズでもなんでも設定した絵が出ます

昨年とかは自分でビットマップ読み込んでどうこうしたりしてたんですが、皆は自分が好きな絵を表示したいでしょうからここいらでテクスチャ読み込み関連のヘルパライブラリを投入します。

ヘルパライブラリを使わずに BMP から表示したい人は

```
ImageData*
BMPLoader::Load(const char* filePath){

    BITMAPFILEHEADER fHeader={ };
    BITMAPINFOHEADER iHeader={ };
    FILE* fp=fopen(filePath,"rb");
    if(fp==nullptr) return nullptr;
    fread(&fHeader,sizeof(fHeader),1,fp);
    fread(&iHeader,sizeof(iHeader),1,fp);
```

```

assert(iHeader.biBitCount==24);
ImageData*ret=new ImageData(iHeader.biWidth,iHeader.biHeight);
auto buff=ret->GetBufferPointer();

//BMPが24bitの場合32ビットに変換する
//もつと言うとXBGR⇒RGBAIに変換する
for(int line=iHeader.biHeight-1;line>=0;--line){
    for(int count=0;count<iHeader.biWidth*4;count+=4){
        unsigned int address=line*iHeader.biWidth*4;
        unsigned char bgr(3);
        unsigned char rgba(4);
        fread(bgr,sizeof(char),3,fp);
        rgba(0)=bgr(2); //b→r
        rgba(1)=bgr(1); //g
        rgba(2)=bgr(0); //r→b
        rgba(3)=255;

        //memcpyとか使いたくないのでござるが...
        memcpy(buff+address+count,&rgba,sizeof(unsigned int));
    }
}

fclose(fp);
return ret;
}

↑これでも参考にしてください。あ、ImageDataってのは単なる中間クラスです。

///イメージデータ
class ImageData
{
    friend ImageLoader;

public:
    enum class DataType{
        unknown,

```

```

        bmp,
        png,
        tga
    };

private:
    DataType _dataType;
    unsigned int _width;
    unsigned int _height;
    std::vector<char> _data;

public:
    ImageData(int width,int height);
    ~ImageData();
    unsigned int GetWidth();
    unsigned int GetHeight();
    char* GetBufferPointer();

};

こういう僕のプログラムが Web のどこかにある画像読み込みを参考にしてもらえばいい
かと思います。

```

リソースの L0 とか L1 について

ちょっと分からぬままにしておくのが気持ち悪いので、色々と考えたことを書きます。一応キーになっているのが UMA(ユニファイド・メモリー・アーキテクチャ)です。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A6%E3%83%8B%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%89%E3%83%A1%E3%83%A2%E3%83%AA%E3%82%A2%E3%83%BC%E3%82%AD%E3%83%86%E3%82%AF%E3%83%81%E3%83%A3>

ちなみに昔は似たような名前の仕組みに DMA(ダイレクトメモリアクセス)っていう仕組みがあって、DirectX9 より前の時代はコイツにお世話をになっていた。

https://ja.wikipedia.org/wiki/Direct_Memory_Access

まあそれはともかく UMA だ。未確認生物ではない。

「メインメモリを CPU だけでなく、他のデバイスにも共有して使用するメモリアーキテクチャの一つである。」

「メインメモリの一部を VRAM の一部として扱い、CRTC(CRT コントローラー)に DMA 転送することで、画面を表示していた。DMA が動作中 CPU はメモリバスの使用権を失い、画面表示中は CPU 本来の能力を発することができなかった。そこで計算な

どの用途において DMA を停止し、CPU がメインメモリをフルにアクセスできるようにすることが一般的だった。

「現代のこの方式の応用もまた VRAM をメインメモリにマッピングする 場合に用いられていることが多い。このアーキテクチャが PC に適用された時は、CPU 本来の性能を発揮できないことから嫌われた。そこで CPU 動作速度の低下を避けるため、メモリバスの周波数を CPU 本来のバス周波数より高く設定し、CPU からのメモリアクセスをさまたげないよう工夫されるようになった。CPU がメモリにアクセスする際に GPU は目的の演算を遅延することから、表示にジッターが現れることが多かった。後にこれはメモリアクセス方式を工夫したり、あるいは最終的に表示に使うメモリのみを グラフィックボード に搭載することで解決した。しかし、さらに時代が下って再び採用され始める。PC に限らず ワークステーション でも一般的であった。3D アクセラレーターにおいて、VRAM だけではなく テクスチャメモリ、イメージキャプチャ結果 を保持するメモリとしても使われた。

ほんまに書き方が不親切だなと思う。もう少し平易に書けないものだろうか。いやいや説明していただけてる事ありがたいな。

「VRAM」の「UMA」の項目も見ておいた方がいいかもね

<https://ja.wikipedia.org/wiki/VRAM#UMA>

こっちの方が分かりやすいかな。

「メインメモリの領域から他用途のメモリを間借りすることを UMA(ユニファイドメモリアーキテクチャ)という」

ひとつですね。これが一番適切ですね。

ともかく、

<https://www.slideshare.net/mistercteam/d3-d12-anewmeaningforefficiencyandperformance>
の 34 ページの説明および

https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/api/d3d12/ne-d3d12-d3d12_memory_pool_D3D12_MEMORY_POOL_L0 メモリプールは L0 です。L0 は物理システムメモリプールです。 アダプタがディスクリート / NUMA の場合、このプールの CPU 帯域幅は大きくなり、GPU の帯域幅は小さくなります。アダプタが UMA の場合、このプールだけが有効です。

D3D12_MEMORY_POOL_L1 メモリプールは L1 です。L1 は通常、物理ビデオメモリプールとして知られています。 L1 は、アダプタがディスクリート / NUMA の場合にのみ使用でき、GPU の帯

域幅が大きく、CPU がアクセスできない場合もあります。アダプタが UMA の場合、このプールは使用できません。

L0 は CPU 側のメモリ共有メモリとして使用し GPU 側から見れる状態でのメモリプール。であり、L1 は GPU 側でのメモリプールではないかと思います。どういう事がというと、

(この場合の L0,L1 ってのが CPU の L1,L2 とはちょっと違うので注意してほしい。CPU 側のメモリか GPU 側のメモリかということで 0 を CPU 側 1 を GPU 側にしているのだと思う)

<https://pc.watch.impress.co.jp/docs/column/1month-kouza/b46073.html>

の話も読んどくといいと思うけど、CPU 側から GPU 側へデータを転送する際にはそれなりのコストがかかる。物理的に離れているのもあるが、そもそも構造が違うので転送時にはそれぞれの特性に応じたコストがかかる。

恐らく DirectX11 まではメインアダプタになっているグラボのドライバによってこのあたりの選択を自動化していたのだと思われる。オンボードならば L0 で刺し GPU なら L1 を利用するとかそういう具合に。

それならば一番の疑問点だが、なぜそのように使いやすさに逆行するような仕組みにしてしまったのかだが、恐らく GPU を複数刺したり、さらにその状態でオンボードまでフルで回転させてしまいたいなら、それはアプリケーション開発者側が制御しなければならないということで、今回のような仕組みなっていると推測できる。

ちなみに CD3DX の言うように、サンプル通りにやれば DirectX11 がやってたこと似たような状態にできるというのが、サンプルの言いたいことじゃないだろうかと思う。

DirectXTexture(WIC, DDS)を組み込み

…これ組み込むとちょっと大きさな状態になるからちょっと避けたいのと、こいつも常に更新繰り返していて、下手なタイミングで組み込むと動かなくなる可能性があるのだけど、今回は最新にしたばかりだし大丈夫だろうと思います。

まず

<https://github.com/Microsoft/DirectXTex>

を丸ごと落としてきます。

DirectXTex_Desktop_2017_Win10.sln

を開きます。ビルドします。ビルド時にビットは合わせておいてください。

ビルドすると DirectXTex.lib ができます。定義は DirectXTex.h にあります。プロジェクトからここにパスを通しておいてください。

一応パスは DXTEX_DIR ということにしておきます。

DirectXTex-master\DirectXTex

に合わせておけば

プロジェクトプロパティで

追加のインクルードディレクトリに \$(DXTEX_DIR) を

追加のライブラリディレクトリに \$(DXTEX_DIR)\Bin\Desktop_2017_Win10\x64\Debug
をそれぞれ記述します。

で、

```
#include<DirectXTex.h>
と
#pragma comment(lib,"DirectXTex.lib")
```

をそれぞれ記述。

これで一応の準備ができました。ちなみに WIC 単体で使用するだけならこんな大掛かりなものは必要なく、件のソースコードの WICTextureLoader12.h, cpp をそのまま自分のライブラリにぶち込んでいいと思います。その場合は

LoadWICTextureFromFile

という関数を使います。ファイルパスが WCHAR 披けなんで色々と面倒かもしれません。

```
LoadWICTextureFromFile(デバイス, パス, &テクスチャバッファ, 受け取るデータポインタ, 空のサブリソースデータ);
```

というような使い方をします。一見テクスチャバッファに書き込んでくれるように見えますが、書き込んでくれません。書き込むためのおせん立てを整えてくれるだけです。

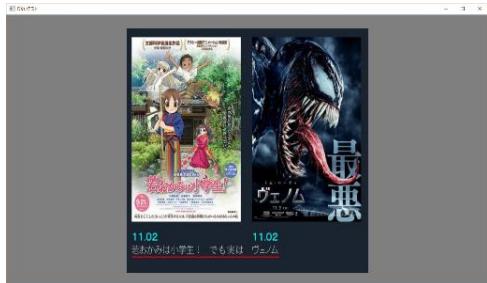
ちなみに LoadFromWICFile はそれすらしてくれないっぽいです。メモリ上に WIC テクスチャデータを読み込むくらいのようです。

BMP, PNG, JPG などのファイルは WIC という仕組み Windows Imaging Component なので、LoadFromWICFile とかそういう関数を使用します。

こんな感じで指定します。

```
TexMetadata metadata;
ScratchImage img;
auto result = DirectX::LoadFromWICFile(L"venom.png", WIC_FLAGS_NONE, &metadata, img);
ちなみに画像情報の本体は ScratchImage になります。うーん metadata はぶっちゃけいらないんじゃないかな。おかげ関数なので特にヘルプもないし困ったな…。ともかく img にデータが入ります。で、GetImage って関数があったので
auto simg= img.GetImage(0,0,0);
こんな風にしてみました。第一引数はミップレベルなので0で合っているんですが、第二引数がアイテム。第三引数がスライスってなってるんだけど、どちらも良く分からぬ。
```

パラメータが曖昧なのを気に入らない人は GetPixel すればデータ部分が取ってこれますので、それと metadata を組み合わせて WriteToSubresource しましょう。そうすれば



こんな感じに出力されます。

DDS に関してはまた必要になってからやりましょう。関数が別になるだけです。一応それ以外にもミップマップがどうこうあるんですが、それはミップマップを見ないと分からないと思うので、今回のこれはここで一旦切りましょう。

行列で座標変換してみよう

これもねえ… DirectX11 ならすぐ終わる話なんだけどもねえ。DirectX12 だとそもそもいられないんだわあ… 例によってデスクリプターヒープ、デスクリプターテーブル、ルートシグネチャ、レジスタだのなんだの…あとアライメントの問題もあったりして、非常にまあ…って感じなんですか。

まずは DxLib がやってるみたいに 2D ピクセル座標を D3D の画面座標に変換する部分を作つてみましょうか。

行列おさらい

「行列」自体は前期もやったし大丈夫だよね? 縦横に値が並んでるアレだよ。

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$$

こういうやつやな? で、使うのはこいつの乗算のみ。乗算のやり方は知ってるつけ? 左辺値の行と右辺値の列をそれぞれかけて足したものがその要素の値になるんだ。

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} e & f \\ g & h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ae + bg & af + bh \\ ce + dg & cf + dh \end{bmatrix}$$

こういうことなわけやな? この時に注意すべきことはなんやつたかな?

そう、乗算の順序やな? たとえば

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 19 & 22 \\ 43 & 50 \end{pmatrix}$$

と

$$\begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 23 & 34 \\ 31 & 46 \end{pmatrix}$$

とは全然違う結果になる

当たり前だよなあ?

というわけで乗算の順序が本当に大切なのだ。

座標変換系の行列を主に使う事になるんだけど、

回転 \Rightarrow 平行移動

と

平行移動 \Rightarrow 回転

とは全然違う結果になるだろう? 行列の乗算の順序はこの通りにしてほしいのだ。↑の例ならば(↓は数学的に掛け算すると思ってくれ)もし、回転して平行移動なら

$$\begin{pmatrix} \text{平行} \\ \text{移動} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{回} \\ \text{転} \end{pmatrix}$$

のようになるし、逆に平行移動して回転なら

$$\begin{pmatrix} \text{(回)} \\ \text{転} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{(平行)} \\ \text{(移動)} \end{pmatrix}$$

となる。掛け算の順序がそのまま変換の順序を表していると思ってほしい。(この場合見た目は逆だが)

あとこれはこの後に説明する XMMATRIX を使用する際には乗算の順序は右側に右側にかけていってほしい。ここが混乱のしどころだが…まあ逆に直感的かもしかん。

例えば Y 軸回転の関数が XMMatrixRotationY で、平行移動が XMMatrixTranslation だとして回転して平行移動ならば

```
XMMatrixRotationY(XM_1DIV2PI)*XMMatrixTranslation(1, 2, 3);
```

と書くべきで逆に平行移動してから回転なら

```
XMMatrixTranslation(1, 2, 3)*XMMatrixRotationY(XM_1DIV2PI);
```

と書いてほしい。

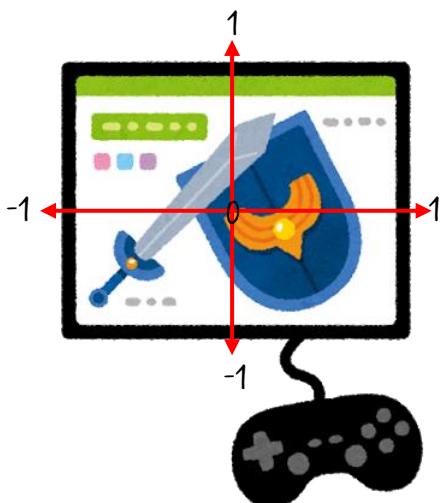
まあこっちの方が直感的に考えられて便利でしょ? うん、そうなんだこれならそもそも数学的な乗算順序を教えなくてもいいんじゃないのか。そう思うだろう。…なんだけど、シェーダ側の乗算関数においては、数学の方が採用されている。

頭が混乱しそうになるので注意してほしい。

2D 座標変換行列

ひとまず今回作るのはピクセル指定で画面上に表示する行列を作りたい。何の役に立つかと言うと UI とかに使うのだ。UI はピクセル単位で指定したいだろう? そうでもない?

ところが画面の大きさに関わらず座標はこういう指定だ。



画面…クライアント(ビューポート)サイズがいくらであろうとも-1~1 という値になる。言うてしまえば正規化された状態になるんやな?

さてここで無理やりにでもピクセル指定をしたいとするとどうすればいいだろうか? 例えば画面のサイズが1280*720であると仮定しよう。

となると

$$(0,0) \rightarrow (-1,1) \cdots ①$$

$$(1280,720) \rightarrow (1,-1) \cdots ②$$

ここまですぐわかるかな。じゃあ画面の真ん中はどういう変換かな? ちょっと自分で考えてみてくれ。ノートかなんかに絵と数値を書きながら。

$$(1280/2,720/2) \rightarrow (0,0) \cdots ③$$

はい。これらすべて満たすような変換を考えてみよう。皆さんができるんですよ? なに僕が書くまで待ってるんですか? この程度…中学生でもできますよ?(大ヒント)

まあ連立方程式立てればすぐ分かるんだけど。変換って結局こういう事やん?

$$m(x_0 + a) + n(y_0 + b) = (x_1, y_1)$$

で、この x_0 だの y_0 だのにさっきの①~③の式の値を当てはめてやりやれ! ていうか①と②だけで十分だったりする。

じゃあ①だが

$$(m(0+a), n(0+b)) = (-1,1)$$

と

$$(m(1280+a), n(720+b)) = (1,-1)$$

の連立方程式を解きましょう

$$(ma, nb) = (-1, 1)$$

$$(1280m+ma, 720n+nb) = (1, -1)$$

を連立させると

$$(1280m, 720n) = (2, -2)$$

$$(640m, 360n) = (1, -1)$$

$$m = 1/640$$

$$n = -1/360$$

であり、

$$a = -640$$

$$b = 360$$

と言えます。

1280 は幅だから w として、720 は高さだから h だとすると

$m = 2/w$ であり、 $n = -2/h$ であり、 $a = -w/2$ であり、 $b = -h/2$ となりますね。最初の式に代入すると

$$\left(\frac{2}{w} \left(x - \frac{w}{2} \right), \frac{-2}{h} \left(y - \frac{h}{2} \right) \right)$$

となります。なんかもうちょっとわかりやすくしたいので

$$\left(\frac{2x}{w} - 1, 1 - \frac{2y}{h} \right)$$

とするとシンプルですね。中坊程度の連立方程式すら分からぬイクノザコナメクジでも心配ないよ。たとえば横だけ考えて 0~1280 が -1~1 になるんだから、幅は 2/1280 倍ってのは分かるよね? ああもうここが分からんかったら話にならないので、身の振り方を考えたほうがいいのでは?

ともかく、座標を幅の半分で割ればいいことは分かるんだけど、そうなると範囲が 0~2 になってしまって、-1 すれば -1~1 になって終わりですね。結局 1 をひくことになるんだね。縦方向も同様で、同じ結果になります。

まあここまで、たぶん中学校を卒業できた人なら大丈夫でしょう。分からないなら中学校に戻りましょう?

これから高校レベルに一気に上がりますが、今回のこれを座標変換として、この座標変換を一気にやる行列を考えてください。つまり

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2x}{w} - 1 \\ 1 - \frac{2y}{h} \\ 1 \end{pmatrix}$$

ってなる $abcdefghi$ を考えろって言ってるんだよ!!! 言わせんな恥ずかしい。
この程度の事は自分で考えろよ。考えないと力にならんぞホンマ。何のために朝っぱらから学校にきて高え金払ってんのかマジ考えてくれよ。

当然ながら単位行列なら

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

こうなります。当たり前だよなあ。あとは拡大縮小の事を考えると

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{w} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{2}{h} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2x}{w} \\ -\frac{2y}{h} \\ 1 \end{pmatrix}$$

こうなるね。

あとは平行移動と考えればいいから

$$\begin{pmatrix} \frac{2}{w} & 0 & -1 \\ 0 & -\frac{2}{h} & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2x}{w} - 1 \\ 1 - \frac{2y}{h} \\ 1 \end{pmatrix}$$



となりますね。ここまで読み飛ばした奴はもう何考えてんの？ そんな生き方してて面白い!? ここまでが散々だった人は、今のうちに行列やり直しこう。今後は座標系に関しては、ほぼ行列しか出てこんぞ。

ともかく、この行列を作ってシェーダ側にぶん投げてそのまま乗算すればええんやな。

定数バッファ

さて、今回のデータは行列なんじゃけど。頂点でもインデックスでもなければテクスチャ(リソース)でもない。となるとどうすればええんでしょ?いや別にテクスチャとしてぶん投げても一向にかまわんのですが、最初つからそれはアカンやろとか教える側の思惑もあって、定数バッファという奴で投げます。

CPP 側

だいたい今はシェーダリソース、シェーダリソースビューと同じなので

```
ID3D12Resource* _cBuff;
```

とかが必要になるわけやなあ…。多分昨年の授業とかだと、新しくヒープ作って、ってやってたけどせっかくだからテクスチャのやつと統合してみようかと思う。もし分かりづらかったら言ってください。DX11 脳だとこの辺は気持ち悪いはずなんで…。

まずはいつものようにバッファ作りましょうか。

一応、

```
D3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD)
```

でもいいし

```
D3D12_HEAP_PROPERTIES cbvHeapProp = {};
```

```
cbvHeapProp.CPUPageProperty = D3D12_CPU_PAGE_PROPERTY_UNKNOWN;
```

```
cbvHeapProp.MemoryPoolPreference = D3D12_MEMORY_POOL_UNKNOWN;
```

```
cbvHeapProp.CreationNodeMask = 1;
```

```
cbvHeapProp.VisibleNodeMask = 1;
```

```
cbvHeapProp.Type = D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD;
```

でもいい。とりあえず同じ意味。

```
result = dev->CreateCommittedResource(&cbvHeapProp,
    D3D12_HEAP_FLAGS::D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
    &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(数量*((ひとつ当たりサイズ + 0xff)&~0xff)),
    D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,
    nullptr,
    IID_PPV_ARGS(&cbo->buffer));
```

とりあえずサンプルコードを書いておく。何故かというとちょっとした部分で意外とややこしいからだ。一応書いておくけど、これ書いて終わりにしないでくれ。そんなことをしても全

＜意味がないし。>

まず、

(ひとつ当たりサイズ + 0xff) & ~0xff

の部分の意味を考えてほしい。自分で、自分の頭で考えてほしい。考えられないなら授業は無駄。この授業を受けないほうがいい。どこへなりとも行ってくれ。

正解とか間違いとかどうでもいいんだ。**考える**という事が大事で、それができないならゲームプログラマなどなるべきではない。

とりあえず分かりづらい場合は、ひとつ当たりのサイズを S として、`0xff` を 255 として考えてくれ。

(S+255)&~255

分かりませんかねえ。基本情報とかこういう問題出ないんですかねえ。何のための資格なんですかねえ。

答えを言う前にこれを見ててくれ。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/upload-and-readback-of-texture-data>

の下の方で

Constant data reads must be a multiple of 256 bytes from the beginning of the heap (i.e. only from addresses that are 256-byte aligned).

と書いてある。敢えて日本語訳しないけど、大体言つてることは分かりますよね？ちなみにDX11までは16バイトアライメントだったはずなんだけど…どうしてそうなった!!!

はい、ここまで読めばお分かりですね。サイズを256の倍数にしてるんですね。

さて、ここでサイズ 256 アライメントにしてなかつた場合の挙動については「不確定」つまり

何が起きても知らんよってこと。という事で、うまくいくかもしれんし、うまくいけないかもしれん。だが、やめておいた方がいい。というかうまくいけない。もうがいいのだ。ほんマ何のエラーも出さずに応答なしになつたりするからマジ勘弁って感じです。

さて、昨年の授業ではまた新たにデスクリプターヒープを作つたりしてましたが、今年は先にテクスチャのために作ったデスクリプターヒープを使ってみましょう。

ただし、デスクリプタの数が増えますので DescriptorNum の数は増やしてください。増やせよ? 言つたからな?

で、テクスチャで作ったデスクリプタの後ろにくっつける形で、定数バッファビューを作りましょう。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12device-createconstantbufferview>

```
handle.ptr += _dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
D3D12_CONSTANT_BUFFER_VIEW_DESC cbvDesc = {};
cbvDesc.BufferLocation = _cBuff->GetGPUVirtualAddress();
cbvDesc.SizeInBytes = size;
_dev->CreateConstantBufferView(&cbvDesc, handle);
```

さて、これで後ろにくついたことになるね。

じゃあ次はルートシグネチャだ。これもパラメータを増やす必要がある。
`desc_range(1).RangeType = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_CBV; // 定数バッファ`
`desc_range(1).BaseShaderRegister = 0; // レジスタ番号`
`desc_range(1).NumDescriptors = 1;`
`desc_range(1).OffsetInDescriptorsFromTableStart = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;`

はい。当然レンジの数が増えましたので NumRanges も増やしてください。増やせよ?

あと、今回はピクセルシェーダだけでなく頂点シェーダでも使用するため

```
root_param.ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_ALL
```

としておきます。

あとは先ほど確保したバッファをマップして、先に書いた行列を放り込んでおいてください。
え? 分からん? ちょっとは考えや?

シェーダ側

前にも書いたと思いますが、定数バッファは `b0` とレジスタ番号で指定します。今回は行列なので

```
matrix mat : register(b0)
```

とでもしておきます。次に頂点に対して行列を乗算しますが*演算子ではなく、`mul` 関数を使用します。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418335\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418335(v=vs.85).aspx)

行列*ベクトル

ならば

`mul(行列, ベクトル)`

と書きます。

```
output.pos = mul(mat, pos);
```

はい、うまい事行けばそのまま反映されます。

3D化してみる

いよいよ待ちに待った3D化です。そんなに難しいことなくて

- ワールド行列
- カメラ(ビュー)行列
- 射影(ピースペクティブ)行列

の3つを3Dとして設定すればそれで終わりです。

ワールドは回転とか平行移動ですので、`XMMatrixRotation` なんとかや `XMMatrixTranslation` を
使えばいいですね。

そして、これはDxLibでも出てきた

カメラ行列

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixlookat\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixlookat(v=vs.85).aspx)

射影行列

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixperspectivefov\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixperspectivefov(v=vs.85).aspx)

です。ここから 3D 用の行列を丁寧に作っていきましょう。

合成するんですが

World→View→Projection の順序で乗算するので、WVP 行列とも言います。現在のペラポリゴンを 0,0,0 中心に置いておいて、それを Z 値 -20 ~ -50 くらいの所から見てるって感じのカメラ座標で画角は PI/2 くらいにしておきましょうか?

がんばれ

うまくいけば



こんな感じで回転してくれます。

サンプルコードとしては…

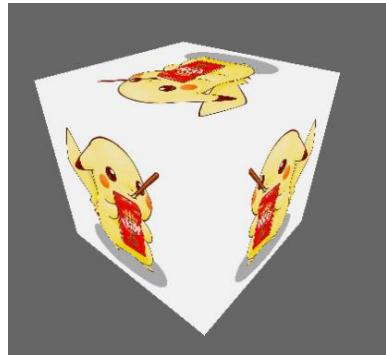
```
auto matrix = XMMatrixRotationY(angle);
auto eye = XMFLOAT3(0, 0, -30);
auto target = XMFLOAT3(0, 0, 0);
auto up = XMFLOAT3(0, 1, 0);
```

```

matrix *= XMMatrixLookAtLH(XMLoadFloat3(&eye), XMLoadFloat3(&target), XMLoadFloat3(&up));
matrix *= XMMatrixPerspectiveFovLH(XM_PIDIV2, static_cast<float>(wsize.w) /
static_cast<float>(wsize.h), 0.1f, 300.0f);
*_matrix = matrix;

```

こんな感じですね。それができたらもうちょっと頑張って



こんな感じの立方体にしてくるくる回してみてください

XMVECTORについて

XMMatrix 系の関数において引数の型として XMVECTOR というのを使います。こいつがちょっとクセモノで

```
struct Vector3{
```

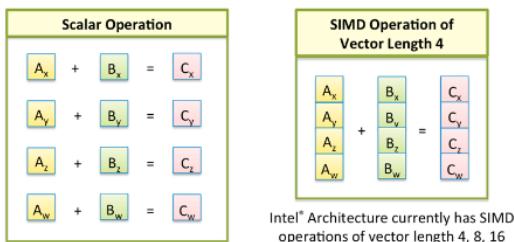
```
    float x,y,z;
```

```
};
```

みたいにな作りにはなってないんですね。残念ながら。そういう作りになっているのは XMFLOAT3ですよ。でも Matrix 系の関数は XMVECTOR を要求しやがる…なぜか?

これはどう見ても SIMD 型演算に合わせるためにこうなっています。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/SIMD>



ごらんのように4ついっぺんに計算する仕組みがあるんです

こういう仕組みに対応するには無理やりにでも4つにしないとスピードが出ないんですね。FLOAT3にして4つめ無視すりゃいいじゃんと思うかもしれません、メモリ上で4つワンセ

ットになつてしまふと不具合が起きるようになつています。

このためメンドクセエ XMVECTOR なんでものを使つてゐるわけです。

かといつて僕ら人間にとっては使いにくいけれどこのため XMFLOAT3 ⇔ XMVECTOR を支援する関数として

- XMLoadFloat3
- XMStoreFloat3

といつのがあります。Load と Store ってのが何? って感じだと思いますがアセンブリの時代にレジスタに乗つけたり下ろしたりしてた時の命令の名残ですね。ちなみにこの場合の Store は「お店」ではなく「保存する」「保管する」ってなイメージです。ちなみにお店の意味も色々な商品を「保管してる」とこから來てるわけです。

シェーディングはもう少し先(モデル読み込んでから)でいいでしょう。

リファクタリング

もう、すぐにでもミクさん読み込んでしまいたいんですけど、今のコードのままだとちょっとミクさん読み込みまで行くまでにコードがカオスなスパゲッティになっちゃうと思います。



既に頭の中がスパゲッティになってる人もいると思いますが…

既に Dx12Wrapper が結構な状況になっているでしょう？

まあ完璧なリファクタリングなんてできないと思いませんので、簡単なところからやっていきましょう。

- ① Release で解放する奴は ComPtr を使う
- ② 色々と関数化する
- ③ RootSignature→DescriptorTable→Range と DescriptorHeap の仕組みを使いややすくクラス設計しなおす

くらいでしょうかね。③のウェイトが重いですね。

まず簡単なところからやっていきましょう。

ComPtr を使う

ComPtr ってのは、Microsoft が作ったスマートポインタの一種なんだけど、解放のタイミングで Release 関数を呼び出してくれるスマートポインタです。

MS 系の特定のクラスは解放の際に delete ではなく、自身の Release 関数を呼び出すため、これ一つが使えると判断しました。

ちなみに wrl.h をインクルードして使います。ネームスペースがちょっと面倒で

`Microsoft::WRL::ComPtr<ID3D12RootSignature>`

2つくっついてちょっと嫌になりますよ～

ちなみに ComPtr の定義見れるんで中身を見ると

```

unsigned long InternalRelease() throw()
{
    unsigned long ref = 0;
    T* temp = ptr_;
    if (temp != nullptr)
    {
        ptr_ = nullptr;
        ref = temp->Release();
    }
    return ref;
}

```

とやってくれてますんで、今の所デストラクタで

```

Dx12Wrapper::~Dx12Wrapper()
{
    _cmdAlloc->Release();
    _cmdQ->Release();
    _cmdList->Release();
    _rtvDescHeap->Release();
    _dev->Release();
    _swapchain->Release();
    _dxgiFactory->Release();
}

```

とやってるのが不要になるわけです。現状の所はまだ Dx12Wrapper が全部つかんでるので自分で ScopedPtr(スコープ内でのみ有効なスマート…STL にはない)ので自分で実装する…テンプレの勉強にもなる)でも実装してやってやればいいけど、今後そういう場合もあるので、今回は ComPtr を使います。

ちなみに WRL ってのは Windows(Template)RuntimeLibrary の略です。なぜ T を省いた…

んで、こいつが VS2017 のデフォルト設定とちょいとばかり相性悪くて妙なエラーが出る。正直分からんのだが C7510 エラーが発生する。どういう事がと言うと

<https://social.msdn.microsoft.com/Forums/ja-JP/255e1c5c-33b6-4386-afa0-8dc38de24f31/comptr124b312521124731236420351123601239412356?forum=vcgeneralja>

うん、なるほど、/permission パラメータが悪さしているっぽいので、外しておきましょう。ちなみに「外していいのか?」と思うかもしれないけど、この仕様に関しては

『# 皮肉なことに C++ 言語の次バージョンで typename を省略可能にしようと議論されていますw』
らしいですので、まあ大丈夫なんちゃうかな?

ちょっと面倒な部分があるのは… IID_PPV_ARGS に入る部分は、このスマホのアドレスを渡せない。結果的に

```
ID3D12DescriptorHeap* rgstDescHeap = nullptr;
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC descHeapDesc = {};
descHeapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_SHADER_VISIBLE;
descHeapDesc.NodeMask = 0;
descHeapDesc.NumDescriptors = 2;
descHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV;
_dev->CreateDescriptorHeap(&descHeapDesc, IID_PPV_ARGS(&rgstDescHeap));
_rgstDescHeap.Attach(rgstDescHeap);
```

こういう形の書き方になる。Attach でポインタをセットします。ついでに生ポインタを欲しい場合は

```
_cmdList->Reset(_cmdAlloc.Get(), _pipeline.Get());
```

と書く。

面倒だったり「美しくない」と感じるなら使わなくてもいいかな。

色々関数化する(コメントをきちんと書く)

こういうわけのわからないプログラミングこそ、細かすぎるレベルで関数化した方がいいと思います。

とりあえず分かりやすいところで言うと

1. 関数が 100 行越えてるところ(あれば)
2. デスクリプターヒープ作成の部分
3. ルートシグネチャ設定部分
4. パイプラインステート設定部分

ちなみに僕のプログラムの場合、2～4を関数化すると自然に1がなくなります。もし2と3を関数化しても100行越えてる部分があればそこも関数化して100行越えないようにしてください。

ついつい調子に乗って

//コマンド系初期化

```
void InitCommandSet();
```

//スワップチェーン初期化

```
void InitSwapchain();
```

//フェンスの初期化

```
void InitFence();
```

//コンスタントバッファの初期化等

```
void InitConstants();
```

//頂点バッファの初期化(インデックスバッファもな)

```
void InitVertices();
```

//シェーダの初期化

```
void InitShaders();
```

//テクスチャの初期化

```
void InitTexture();
```

//レンダーターゲットビューのためのデスクリプタヒープを作成

```
void InitDescriptorHeapForRTV();
```

//レジスタ系のデスクリプタヒープを作成

```
void InitDescriptorHeapForRegister();
```

//ルートシグネチャの初期化

```
void InitRootSignature();
```

//パイプラインステート初期化

```
void InitPipelineState();
```

まで作りましたが、問題ないね。

名前はどうでもいいし、分け方も各自で考えてほしい。これは僕の一例に過ぎないので、正解とかそういうのはないと思ってくれ。

流石にソースコードは見せませんよ。甘えんな。ええかげんにしなさい!!!



ちょっとアドバイスだけど、クソザコナメクジこそ、関数化するたびに動作確認すべき。クソザコナメクジは関数化するだけでバグを混入してしまう。いくつかやってしまった後だともうどうしようもなくなるぞ!!!

驕らず高ぶらず動作確認をしよう。やりすぎ感あるが、こうなる。

//色々初期化

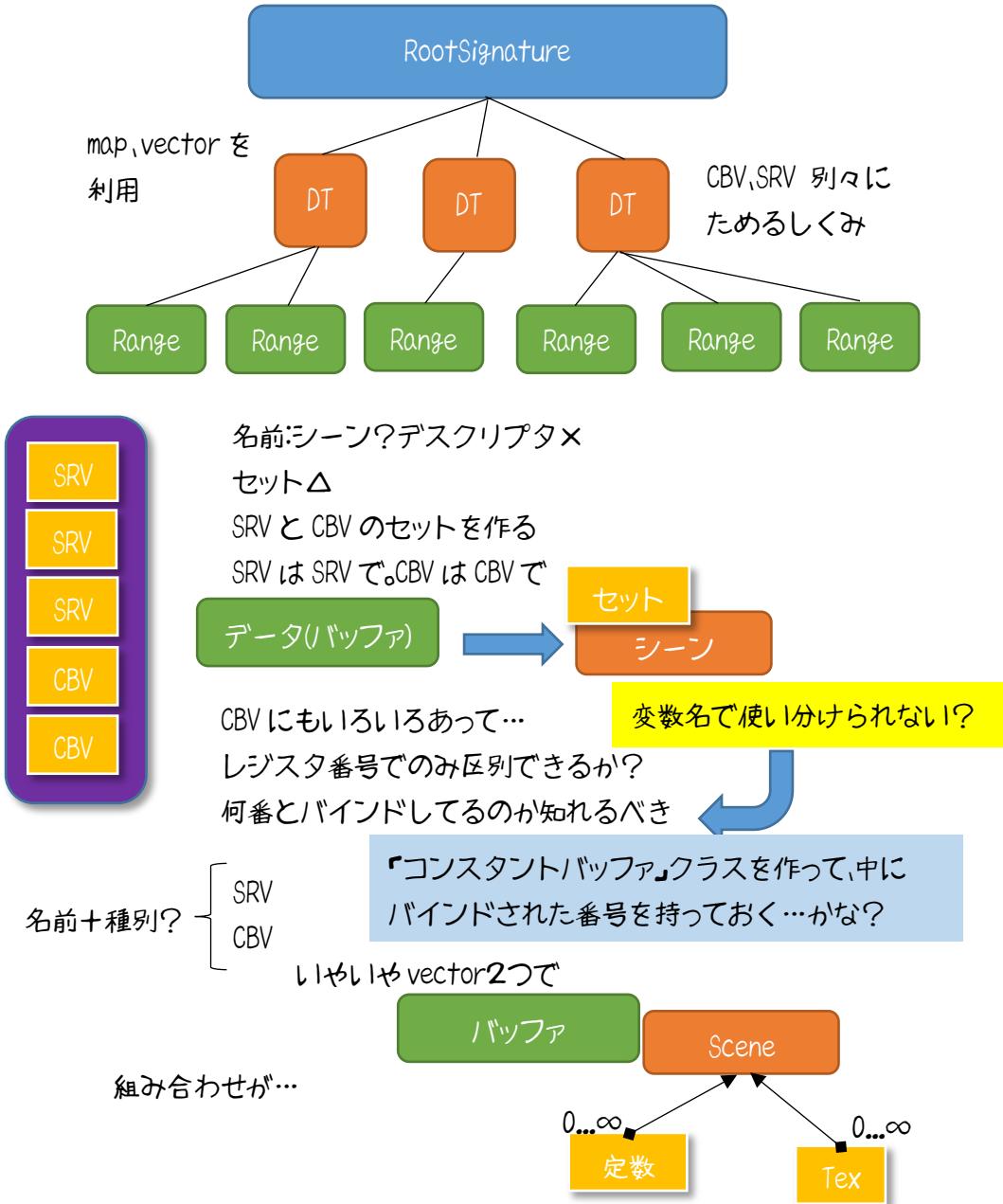
```
InitCommandSet();
InitSwapchain();
InitDescriptorHeapForRTV();
InitRenderTargetViewFromSwapchain();
InitFence();
InitVertices();
InitShaders();
InitDescriptorHeapForRegister();
InitRootSignature();
InitPipelineState();
InitTexture();
InitConstants();
```

さて、関数化ができる前提で行きます。

最後の難関だ。これ俺もノートにあーでもないこーでもないってやった結果なので、それなりに難しいと思ってくれ。

デスクリプター(テクスチャ、定数)まわりを支える設計

とりあえず、俺が書いてるメモをなんとか図にしてみる。



くらいのことはノートに走り書きしどんのじゃ。お前さんは書いとるか? この辺を考えよう
とするとノートが汚くなるんじゃ。

ノートをきれいに仕上げようなどと思ってはいけない!!!!

誰に見せるんじゃ…あほか。時間の無駄じゃれ! 自分の頭を整理するためにやるんじゃ。アウト
プットするためにやるんじゃ。センセーガノートのチェックなんてしねーからのがび書け。

あのな? 学習ってのはな?

情報の習得⇒思考⇒アウトプット⇒フィードバック⇒思考⇒最初へ戻る

をどれくらい繰り返したかなんじやれ!!!! 繰り返してこそ定着するんじやれ!!!! 愚直にやれとは言わん。できるだけ効率の良い方法を考えてくれ。でも、前を写してただけの奴は「思考」がすっぽり抜け落ちとるんじや!! なんば繰り返しても時間の無駄無駄無駄無駄無駄ア!!!

考えてるって言うなら何で傍らにガチャガチャ書いてるノートとか紙がないんじやあ!!! 書かずにやっていけるほど甘いアーキテクチャちやうんじやれ!!!!

あのな……高校の頃にホンマは「基礎解析学」「代数幾何」「線形代数」「確率統計」

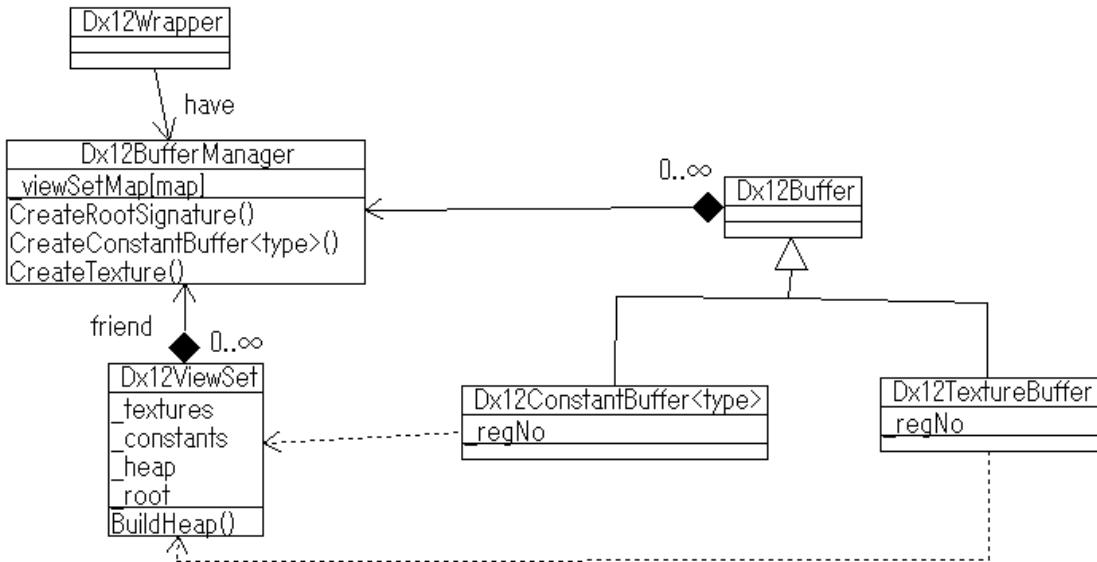


までやってるべきところをわざわざピタゴラスの定理やら連立一次方程式とかから教えないかん状況から3~4年いや2~3年でゲームプログラマになろうってんだからそりゃキツイよ!! 難しいよ!!! でも自分で選んだんじやん!?

現在できることと、できるようになりたい事の間にギャップがあるなら、そこに犠牲は支払う必要がありますよそりゃ。

ノート取るなり放課後にやるなり最大限の努力をしろよホンマに!!! イヤ? キツイ? 長い人生のこの期間くらい我慢できない? そんな人はもうアキラメロン。早急に身の振り方を考えましょう。寝坊とかする休みする奴とかもう論外。しらんよもう。

はいはいということで、クラス設計に入ります。



大雑把に設計しました。大雑把でも既にめんどくさそうなのは感じられますね…。ちなみに第一案にすぎませんし、いつものことですが後でガラッと変えるかもしれません。一応書いておくと、`ViewSet` の `BuildHeap` は `private` 関数で、`Dx12BufferManager` が `CreateRootSignature` するタイミングで呼び出す予定です。

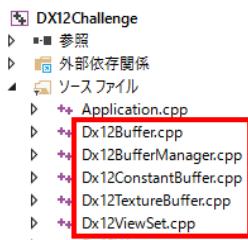
あのな、ゲームプログラマにはな? 設計力も求められるとんねん。コードをキレイに書く技術もそうだけどまとめあげる力も求められんねん。で、そこは「クリエイティブ」やねん。という事はセンサーのを丸写しするんじゃなくて「俺ならこう設計する」って考えながらやらんとかはつかへんねん。これはあくまでも参考程度に考えとしてや?

丸写ししてる奴!!!! そんな奴は確実に失敗する。失敗して気がつけば立て直し戻れるけど、気が付かないまま空回りして終わるぞ!!!だから今言っておく!!!自分の!!!頭を!!!使え!!!このクソザコナメクジがつ!!!!!!

あ、ちなみに `ConstantBuffer` のところだけなんか<Type>とかついてるやん?

これ `ConstantBuffer` の中身の型やね。テンプレートなテクニックを使おうかと思ってます。
あまり難しい事はしたくないんですけど…まあ仕方ないズラね。

ともかく、後で修正かかると思うけど、僕はもう行きますわー。早速クラス作りまーす。



で、ちょっとテクニカルなのが予想される Dx12ConstantBuffer から見ていきます。

```
#include "Dx12Buffer.h"

class Dx12BufferManager;
///定数バッファ基底クラス
class Dx12ConstantBufferBase : public Dx12Buffer
{
private:
    Microsoft::WRL::ComPtr<ID3D12Resource> _cbuf;
public:
    Dx12ConstantBufferBase();
    virtual ~Dx12ConstantBufferBase() = 0;
};

///定数バッファ基底クラスから派生した定数バッファクラス
///
template <typename T>
class Dx12ConstantBuffer : public Dx12ConstantBufferBase
{
friend Dx12BufferManager;
private:
    T* _mappedAddress;
    //直接作らせない
    Dx12ConstantBuffer() {}
    Dx12ConstantBuffer(const Dx12ConstantBuffer&)
        代入オペレータオーバーロードもな
public:
    ~Dx12ConstantBuffer() {}
};

…大丈夫かい? 息してますか~? テンプレ入ってますが意味はわかるかな?
```

Dx12Buffer は protected でレジスタ番号を持っている事を前提としてます。

で、そんなこんなでコンスタントバッファとテクスチャバッファのクラスを作ったらひとまず Wrapper のそれぞれのバッファ生成の部分をこれで置き換えます。

なんのためにそういうややこしいことをやるのかというと、使用するテクスチャとコンスタントバッファをグループピングしてしまいたいという意図があります。

何故グループピングなんてすんのかというと、使用する定数バッファビュー(CBV)とテクスチャビュー(SRV)は最終的にひとつのデスクリプターヒープに並べたい。また、デスクリプターテーブルのレンジにおいては CBV と SRV は区別しておく必要があるので、それぞれの vector を作っておいて、それを ViewSet クラスにでも持たせておいて、後から一気にデスクリプタ設定関係を構築しようという魂胆なのです。

意図するところはお分かりになられますか？

そうやないと、デスクリプタ構築のためにあらかじめテクスチャやら定数やらの使用数が分かつてなきやいけないことになるため、脳味噌側のメモリ節約したいからです。また、DX12 の場合はレジスタ番号の指定をレンジが握っている事になるため、実際のバッファがどのレジスタに放り込まれているのかの情報の距離が遠いです。このため、それぞれのバッファクラスにレジスタ番号を持たせておきます。

レジスタ番号は手動で入力するか、自動で入力するかが迷いどころですが、シェーダは自前で番号を書くので、本来は手動で入力すべきだと思います。ただ、その場合はレジスタ番号がぶりがなしあうかのチェックは必要となりますのでご注意ください。

ヘッダだけ公開

```
一応ヘッダだけ書いておきます

DxViewSet.h

class Dx12ViewSet
{
    friend Dx12BufferManager;

private:
    std::vector<std::shared_ptr<Dx12TextureBuffer>> _textures;
    std::vector<std::shared_ptr<Dx12ConstantBuffer>> _constants;

public:
    Dx12ViewSet();
    ~Dx12ViewSet();
    void BuildHeapAndViews();
```

```

};

Dx12Buffer.h
///DirectX12のバッファ系基底クラス
class Dx12Buffer
{
    friend Dx12BufferManager;
protected:
    ComPtr<ID3D12Resource> _resource;
public:
    ComPtr<ID3D12Resource> GetResource()const;
    Dx12Buffer();
    virtual ~Dx12Buffer()=0;
};

Dx12BufferConstant.h
class Dx12BufferManager;
///定数バッファ基底クラス
class Dx12ConstantBufferBase:public Dx12Buffer
{
    friend Dx12BufferManager;
protected:
    size_t _buffSize;
    void* Map();
public:
    Dx12ConstantBufferBase();
    virtual ~Dx12ConstantBufferBase()=0;
    size_t GetBufferSize(){ return _buffSize; }
};

///定数バッファ基底クラスから派生した定数バッファクラス
///
template<typename T>
class Dx12ConstantBuffer: public Dx12ConstantBufferBase
{
    friend Dx12BufferManager;
private:
    T* _mappedAddress;

```

```

//直接作らせない
Dx12ConstantBuffer(){};
Dx12ConstantBuffer(const Dx12ConstantBuffer&);
void operator=(const Dx12ConstantBuffer&);

public:
    ~Dx12ConstantBuffer(){}
    void UpdateValue(T& value){
        *_mappedAddress=value;
    }
};

Dx12BufferManager.h
class Dx12BufferManager
{
private:
    //定数バッファアライメントサイズを返す()
    size_t GetConstantBufferAlignedSize(size_t size);
    ID3D12Resource* CreateConstantBufferResource(size_t size);
    Dx12Wrapper& _dx;

public:
    Dx12BufferManager(Dx12Wrapper& dx);
    ~Dx12BufferManager();

    Dx12TextureBuffer* CreateTextureBuffer(const char* groupname, size_t
width, size_t height);

    Dx12TextureBuffer* CreateTextureBufferFromFile(const char* groupname, const
wchar_t* filepath);

    ///コンスタントバッファを作成します
    ///@param groupname グループ名(ワンセットにするための識別名)
    template<typename T>
    inline Dx12ConstantBuffer<T>* CreateConstantBuffer(const char* groupname){
        auto ret=new Dx12ConstantBuffer<T>();
        ret->_buffSize=GetConstantBufferAlignedSize(sizeof(T));
        ret->_resource.Attach(CreateConstantBufferResource(ret->_buffSize));
        ret->_mappedAddress=static_cast<T*>(ret->Map());
    }
}

```

```
    return ret;  
}  
};  
こんな感じですね。次の章は次ページからです
```

ともかく PMD モデルを表示させよう

あーもう前置きが長えんだよ!!俺は可愛いモデルを表示したいんだよふざけんなもう 150 ページ超えてんだぞ!!10 月まで間に合うのか!?
いつまで引っ張る気だよどこのパラエティ番組じゃあるまいしはよせえよ。

と皆様のお怒りの声が聞こえてきそうなので、さっさと PMD 表示までやっちゃいましょうね。二回目兄貴にとっては、ここらへんは昨年とほぼ変わらないのでつまんないかもしれません、初回兄貴はここからが楽しいのではないでどうか?

フォーマットを確認する

いやもう確認するまでもないんですが、一応参考文献的な出どころはきちんと書いておきた
いので書いておくと「通りすがりの記憶」というサイトに書いてあります。

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/209ad341d3ece2b1b4df24abf619dbe4

この手のデータの構成はだいたい
ヘッタ→データという流れになっていて、さらにこの「データ」もまたヘッタ部とデータ部で
構成されていたりします。ヘッタ→データの階層構造ですね。

ヘッタ

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/ac6aa40b23783309c8db5023356debba

ヘッタは基本難しい部分はないのですが、例えばこれを読み込もうとすると皆さんはフリー
に考えて上のページからコピペして

```
struct PMDHeader{
    char magic[3]; // "Pmd"
    float version; // 00 00 80 3F == 1.00 // 訂正しました。
    char model_name[20];
    char comment[256];
}

なんてやると思う。そして
PMDHeader pmdheader;
fread(&pmdheader, sizeof(pmdheader), fp);
```

なんてやると思う。いや、いいよ？ここまでもし自分で考えてやれてたら上等ですもん。逆に僕がなんかするまで待ってるようじゃ、そりやプログラマとしての姿勢を疑いますねえ。

自分で考えてコーディングできない奴よりよっぽどマシ。ほめてつかわす。

だが、いきなり問題が発生する…うまくいかへんのや



ま、とりあえずは読み込んで中身を確認してくれい。

ぐっちゃぐちゃやろ? こうなるともうミンチさんやで。うーん初見さんでなんでこうなるか
わかる人あるか?

初見じゃまず分からぬと思ふけど、これはバイトアライメントってのが関係している。今までにもしけつと出てきたけど、何のことかよくわからなかつたかもしねえ! ただ、こうやって普通に fread するだけでデータが壊れちゃう以上しつかり理解してほしい。

ここから昨年のテキストまんま

Windowsというか、最近のOSは、特に指定をしない場合4バイト区切りで処理を行おうとします。もしプログラムが4バイト区切りじゃない時はコンパイラが無理やり4バイト区切りにしようとします。結果として

- 最初の3バイトは“Pmd”という文字列
 - 次に float 型でバージョン情報(1.00)4バイト
 - その次はモデルの名前が 20 バイト
 - 最後にコメントが 256 バイト

先頭 3 バイトという指定が悪さを行なうわけです。ここでコンパイラは Windows のために 3 バイト部分を 4 バイトとして扱おうとします。

ちなみに `fread` などでのバイト数指定では本来期待通りの挙動をします。

しかし構造体を展開する際に先頭の 3 バイトを 4 バイトとして扱い、余った 1 バイトはパディングと言って詰め物をします。

で、別にファイル自体は詰め物をしないし、読み込みの処理も指定通り行われてしまうため結果としてもう version から狂ってくるわけです。

つまり、犯人は fread ではなく構造体だったのだ。sizeof() をした時点ではこちらの期待通りの数値にならないのだ。

C 言語の構造体は…いやコンパイラか？ まあ、コンパイラの方というべきか…処理系依存というべきか…まあ難しい話なんですねー。

簡単に言うとね、32bit マシンならメモリが 32bit ごと (つまり 4 バイト) ごとで区切られているんですね。…大雑把に言うとだけど。

////

で、とある変数がこのメモリにアクセスしようとした時には 4 バイトごとにアクセスしようとします。これには理由があって、メモリへのアクセスやファイル読み込みの際に 1 バイト毎に読み取っていたら効率が悪いため 4 バイトごと読み取っているわけです。

というか、コンピュータは 4 バイトアクセスで最適化設計されているので、1 バイト毎にアクセスすると、4 バイトアクセスより 1 バイトアクセスのほうが効率が悪いんです。

今回みたいに 3 バイトデータが混じっていると、こういうアクセスになる。

////

アライメントしていない場合は前の 4 バイトのケツ 1 バイトと、次の 4 バイトの 3 倍とを合わせることになり、処理が非常に重くなる。こういう理由でアライメントって仕組みが入ってしまう。

なので、コンパイラがご親切にも (おせつかいにも？) パディング (詰め物) してやって、あなたのプログラムを速くしてあげましょうって事なのだ。

まあ SIMD の話で既にこういう話は繋がついてると思うので、これ以上は深く解説しない。で、これを解消するにはどうすればいいのだろうか？

- pragma pack をいじる
- 読み込み時に先頭 3 文字だけ別物として fread する

という二つの手段があるが、2番目の方がたぶん理解的にはすっきりする。pragma packについては各自調べて自分の責任の下やっておいてくれ。

まあまあこれができたらさっそく頂点だ。

頂点リスト

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/5a1b1be2fb10b7838dfcbb010389707

頂点にもヘッタみたいなものがある。それが「頂点数」だ。これは読み込むバイト数にもかかわってくるが読み取り側のメモリ確保のためにもここに頂点数があるのがありがたい。まず4バイトを unsigned int として読み込む。何頂点あるかな？

あ、ちなみに上のページでの DWORD ってのが初見の人もいるかもしれないけど、これはダブルワードって言って4バイト符号なし整数のことだ。それだけ知つてればいい。

さて頂点数がわかつたら頂点データロードだけどフォーマットを確認しておこう。

コピペ…

```
float pos(3); // x,y,z // 座標
float normal_vec(3); // nx,ny,nz // 法線ベクトル
float uv(2); // u,v // UV 座標 // MMD は頂点 UV
WORD bone_num(2); // ボーン番号 1, 番号 2 // モデル変形(頂点移動)時に影響
BYTE bone_weight; // ボーン1に与える影響度 // min:0 max:100 // ボーン2への影響度は(100 - bone_weight)
BYTE edge_flag; // 0:通常, 1:エッジ無効 // エッジ(輪郭)が有効の場合
```

38バイト…これはもう頭に…来ますよ。

フツーに読ませる気ゼロですわ。

どうしようか? どうしようね? どこの教科書にも載つてませんよ? 自分の頭で考える癖をつけてください! (今までのほとんども教科書なんかには載つてねーけどな。世の中はクソだ。大人はうそつきだ。だから自立しろ頼るな。)

ただ、ちょっとだけ救いはある。この構造の場合、padding が最後にしか追加されないので。ということは read バイトを制限してやれば構造体に細工などいらないわけだ。だから、直感的な解決法で申し訳ないが

```
const unsigned int vertex_size = 38;
std::vector<char> pmdvertices(vertexCount * vertex_size);
fread(pmdvertices.data(), pmdvertices.size(), 1, fp);
と書ける。ただ、塊として扱うとはいえ char 配列ってのは乱暴かもしれない気に入らない人、もしくは頂点情報に細工をする場合はもうちょっと知恵を使わないとダメだろうが今は表示最優先。
```

まあ、何はともあれ頂点を読み始めたわけだから実はもうミクさんを、いや、ミクさんらしきモノを表示することはできる。さっそく見てみたいだろ？

とりあえずモデル表示してみよう

ひとまず、頂点の座標だけを表示する形でやってみてくれ。インデックスはまだないので、DrawInstanced でやってくれ。あと、トポロジーは POINT で。立方体の時とはデータが変わっているが、データのストライド(38 バイト)さえしっかりしてればなんかしら表示できるだろう。がんばれ。

え？ 教えてくれないのかって？

いやいや、ここまでやってこれた皆様ならきっとできますよ。

やる必要がある事は

- 頂点データを入れ替える
 - 頂点レイアウトを変更する
 - シェーダを変更する(ピクセルシェーダ…出力を黒一色に)
 - 画面クリア色を変更する(白一色に)
 - トポロジーを POINT に変更
 - DrawIndexedInstance⇒DrawInstance に
 - もちろん頂点数は変更しといてね
- そんなにやることないので頑張って。

うまいこといけば



こんな出ます

ちなみに僕が1回やらかした例として…

```
auto result=_dev->CreateCommittedResource(  
    &CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),  
    D3D12_HEAP_FLAG_NONE,  
    &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(sizeof(vdata.size())),  
    D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,  
    nullptr,  
    IID_PPV_ARGS(&_vertexBuff)  
);
```

さあ、何が発生しているか分かるかい?

```
&CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(sizeof(vdata.size())),
```

ここやね。まあぶっちゃけると1頂点のデータすら乗りませんと。そりやあきまへんわ。

ひとまずミクさんらしきものが出てればOKです。

BadAppleにしてみる



こういう状態にしたい

現在は頂点データをもとにただただ頂点を点として表示しているだけなので、影絵すら作れません。

じゃあトポロジを POINT から TRIANGLELIST に戻せばいいんじゃないの?と思った人?



こうなります

なんかホラーみたいでこれはこれでありかもしれません、結局のところ根本の解決になりません。

TRIANGLELIST って事は面です。三角形の面です。面を構成するには頂点情報だけでは足りませんでしたよね?

そう…インデックスですよね?

インデックス情報を読み込みましょう

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/7cebae143cb6b9bae38ebbefc228c05b

簡単ですね。unsigned int でインデックス数を読み込んだら、unsigned short のインデックス集合を作成して、あとはインデックスとして読み込めばいいのです。

ちょっとと、ここ自分で考えてやってみてくれないかなあ。ちなみに頂点の直後にインデックスデータがあるから、普通に fread すればいいけるはずだよ。

うまいこといけば



こんなん出ます

さあ、いよいよそれっぽくなってきました。もっと 3D っぽくしてみましょう

シェーディングしてみる

ついにきましたね。シェーディングってのは陰影をつけるという意味です。いったん分かりやすくするために反転してみます。



で、陰影をつけるためには法線情報が必要になります。既に法線は含まれておりますので、レイアウトに NORMAL を追加します。

```
"NORMAL",0,DXGI_FORMAT_R32G32B32_FLOAT,0,D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT,D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA,0 },
```

シェーダ側も変更します。

```
vs( float4 pos : POSITION, float4 normal:NORMAL)
```

```
struct Output {
    float4 svpos : SV_Position;
    float4 normal:NORMAL;
};
```

これで法線情報を使用することができます。ひとまず法線をそのまま色として出力してみましょう。



うーん。す…すりーディー?

まあ、これはあくまでも「法線」なので、最終的にライトベクトルと内積をとることで明るさを計算できます。

表面の明るさを決める最もシンプルな式として「ランパートの余弦則」ってのがあります。これは非常に簡単で。ライトのベクトルと物体の法線ベクトルのなす $\cos \theta$ によって明るさが決まるというものです。

$$I_{\text{lambert}} = k \cos \theta$$

内積にはこういう式がありましたね?

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = |\mathbf{a}| |\mathbf{b}| \cos \theta$$

また、この双方のベクトルが正規化済みなら、

$$I_{\text{lambert}} = k (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b})$$

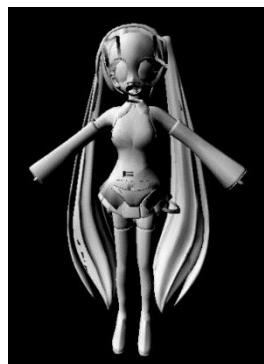
今回この k は 1 としてもいいので、あと HLSL では内積関数は dot ってのがありますので、それを使いましょう。正規化は normalize です。

法線は正規化されてると考えればいいので

```
float3 light = float3(-1,1,-1)
light = normalize(light)
brightness = dot(normal,light)
でいいでしょう。
```

こいつが明るさを示すので、RGB 全てにこれを適用すればいいです。

```
float4(brightness,brightness,brightness,1);
```



一応シェーディングはできているようです…が?
どうもおかしなことになっているようですね。

何故かな?何故だと思うね?

深度バッファ

はい、今まで何度か話には出てきてた「深度バッファ」ですね。深度バッファって何でしたっけ?

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%90%E3%83%83%E3%83%95%E3%82%A1>

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc324546.aspx>

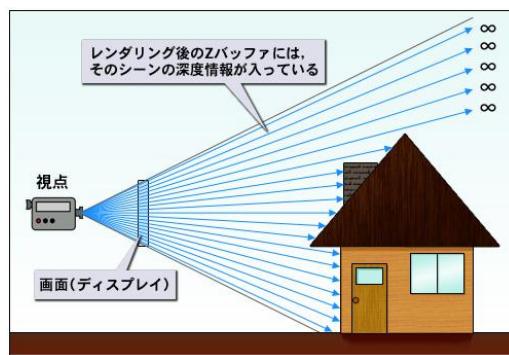
そう…深度バッファ法とは、視点からの距離を各ピクセルで…保持しておいて、今から色を塗るという時にその深度と今持っている深度を比較して、既に手前が塗りつぶされていれば破棄するという仕組みです。

深度バッファとは

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc324546.aspx>

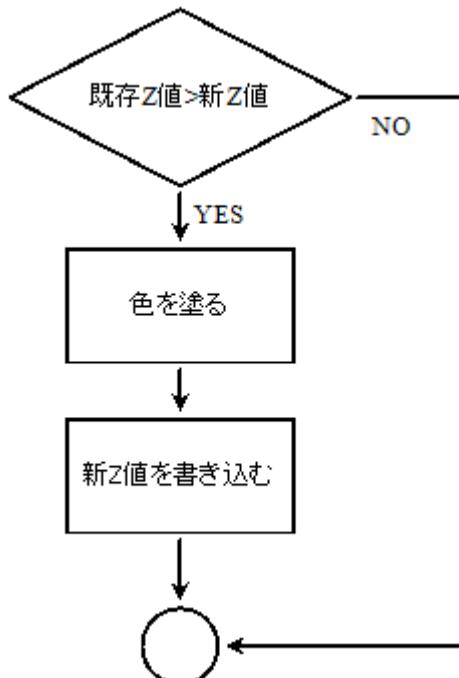
「深度」というのは何かというと、カメラから見た時のカメラからの距離の事です。いわゆる Z 値というのですが、UE4であったり 3dsMax であったりが Z を上方向として定義しているため、 Z 値って言うのが不適切になっちゃって、そのせいで「深度」というようになったんですね。

で、深度バッファってのは何かというと、画面上に色を乗せていく際に同時に深度値(Z 値)をピクセルに書き込んでいきます。その書き込み先を深度バッファというのです。



で、この深度バッファがどのように働くのか? というと、今からそのピクセルを書こうとするときに Z テスト(深度テスト)というのを行います(タイミングとしてはピクセルシェーダ後… ラスタライザが終わった段階でテストすればいいのに… DX12 をクソ難しくする暇あつたら この辺どうにかしろよ)。

で、深度テストと言うのは既に書き込まれている深度値と今から書き込もうとする深度値を比較して、今から書き込もうとする深度値が既に書き込まれている深度値よりも小さければ描画 & 新しい深度値を書き込み、そうでなければ描画も深度値更新もしないということです。



す。

フローチャートにするとこんな感じですね。

で、この深度テストの仕組みのために深度バッファを作らなければならない!(DX9 時代は深度テスト=TRUE にすれば終わってたのですが…)

残念ながら

`gpsDesc.DepthStencilState.DepthEnable=false;`

を `true` にすれば OK 的な代物ではありません。実際これを `true` にすると表示されません。お

そらくは「 $\text{Depth} \neq \text{Near}$ 」ため比較ができない常に深度テストが失敗するような結果になつているんでしょう。

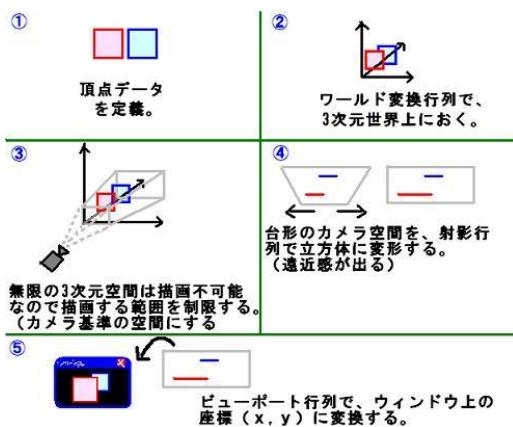
さて、というわけでちょっと不思議な「 $\text{Depth} \neq \text{Near}$ 」…デプスStencilバッファを作つていましょ。え? 深度バッファじゃないの? という疑問はごもっともではあるのだが、なんかそういう仕様になつているのだ。ちなみに深度バッファは通常の float と同様に 32bit のバッファである。

なお、Stencilも使用したい場合はこのバッファのビットをStencilと深度値で折半して使用することになる。ちなみにStencilが 8bit で深度値が 24bit という風になる。

ともかく今回は深度値の事だけ考えればよいのでやつていこう。ちなみにこの時の深度値の範囲は 0~1 である。一番近いところが 0 で一番遠いところが 1 である。

「え? いやいやだって見える範囲を 0.1f~100.0f にしてるのにそれはねーよ WWW と思った人には『いいね!!』をくれてやろう。そういう疑問を持つのは正しい。」

以前に、「プロジェクション行列は視錐台を厚さ 1cm の板に変換する」というような話をしたのを覚えているだろうか…。そう、厚さ 1cm の板になつてしまうのだ。このため最も近いところの Z 値が 0.0 となり、最も遠いところが 1.0 となるように変換されているのだ。



出典:(ゲームプログラマを目指すひと)

これの④やね。どうも遠近法の所にはかり目が言つてしまつたが、このプロジェクション行列変換は Z 値を 0~1 に正規化する役割も持つてゐるのだ。

結局 DX12 では何をしなければならないの?

さて話を戻して深度バッファを作つていこう。もちろんいつものように深度バッファを作るだけではなく、色々とやってあげないといけないのだが…

1. 深度バッファ作成

2. 深度バッファビュー作成(デスクリプタヒープとかビューとか)
 3. パイプラインステートオブジェクトに深度バッファの設定を追加
 4. 深度バッファビューをレンダーターゲットと関連付け(毎フレーム)
 5. 深度バッファビューを毎フレームクリア
- …結構やることあるね。うまくいけば



このように適切な立体感をもって表示されます

深度バッファの作成

レンダーターゲットとは違い、スワップチェインにテクスチャが乗っているわけではないため、自分で制作する必要があります。作り方はテクスチャとして作ってもらえばいいです。あ、深度なので、フォーマットがチョイとばかり違いますが…

深度バッファはフリップの必要がないので、1つ作ればいいです。

`CreatedCommittedResource` を使ってリソース(バッファ本体)を作っていく。ほぼほぼテクスチャの時と同様なのでアレを参考に考えてほしい。

関数化するならテクスチャの生成は

`InitTextureForDSV`

で、

デスクリプタヒープと言うかビューは

`InitDescriptorHeapForDSV`

あたりで作ってしまえばいいかなと思います。

```
depthResDesc.Dimension = D3D12_RESOURCE_DIMENSION_TEXTURE2D;
depthResDesc.Width = ws.size.width;//画面に対して使うバッファなので画面幅
depthResDesc.Height = ws.size.height;//画面に対して使うバッファなので画面高さ
depthResDesc.DepthOrArraySize = 1;
depthResDesc.Format = DXGI_FORMAT_D32_FLOAT;//必須(大事)デプスですしおすし
depthResDesc.SampleDesc.Count = 1;
depthResDesc.Flags = D3D12_RESOURCE_FLAG_ALLOW_DEPTH_STENCIL;//必須(大事)
```

```
depthHeapProp.Type = D3D12_HEAP_TYPE_DEFAULT; //デフォルトでよい
depthHeapProp.CPUPageProperty = D3D12_CPU_PAGE_PROPERTY_UNKNOWN; //別に知らなくてもOK
depthHeapProp.MemoryPoolPreference = D3D12_MEMORY_POOL_UNKNOWN; //別に知らなくてもOK
```

//このクリアバリューが重要な意味を持つので今回は作っておく
`D3D12_CLEAR_VALUE _depthClearValue = {};`
`_depthClearValue.DepthStencil.Depth = 1.0f; //深さ最大値は1`
`_depthClearValue.Format = DXGI_FORMAT_D32_FLOAT;`
 深さ最大値が1なのはわかるね?プロジェクション変換の結果、ニアファーガ0~1に正規化される
 からである。

```
result = dev->CreateCommittedResource(&CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_DEFAULT),
                                         D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
                                         &depthResDesc,
                                         D3D12_RESOURCE_STATE_DEPTH_WRITE, //デプス書き込みに使います
                                         &_depthClearValue,
                                         IID_PPV_ARGS(&_depthBuffer));
```

リザルトは確認しておきましょう。

深度バッファビューの作成

ClearDepthStencilView を使って作ります。これもほかのビューと同じですね。ビューデスクリプションとデスクリプターヒープが必要です。

```
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC _dsvHeapDesc = {};//ぶっちゃけ特に設定の必要はないっぽい
ID3D12DescriptorHeap* _dsvHeap = nullptr;
_dsvHeapDesc.NumDescriptors = 1;
_dsvHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_DSV;
result = dev->CreateDescriptorHeap(&_dsvHeapDesc, IID_PPV_ARGS(&_dsvHeap));
dev->CreateDepthStencilView(_depthBuffer, &dsvDesc, _dsvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());
CBV やら SRVみたいに兼用はできないので、深度バッファのためだけのヒープになります。
```

パイプラインステートオブジェクトに深度情報を追加

```
psoDesc.DepthStencilState.DepthEnable = true; //深度バッファを使うぞ
```

```
psodesc.DepthStencilState.DepthWriteMask = D3D12_DEPTH_WRITE_MASK_ALL; // DSV 必須  
psodesc.DepthStencilState.DepthFunc = D3D12_COMPARISON_FUNC_LESS; // 小さいほうを通すぞ  
とりあえず深度バッファを使うぞという事を明示します。ちなみに MASK_ALL ってのは「常に深  
度値を書き込む」という意味です。ちなみに「深度値を書き込まない」ということもでき、そ  
の時は MASK_ZERO になります。(αとの組みで使用することがあります)
```

次に FUNC_LESS ですが、これは深度テストの結果、大きいほうか小さいほうかどちらを採用す
るのかというものです。今回は深度値が小さい(カメラからの距離が近い)方を採用するの
で LESS にします。

次にここでも深度バッファのフォーマットを明示しなければなりませんので、

```
psodesc.DSVFormat = DXGI_FORMAT_D32_FLOAT; // 必須(DSV)
```

とします。

ではここまで設定したうえでパイプラインステートオブジェクトの生成が S_OK されること
を確認してください。

されなければどこかが間違っています。

レンダーターゲットと深度バッファを関連付け



「一緒にポテトはいかがですか」
を三回連續で断った瞬間氣を失い、
目が覚めると彼と二人きりの密室
にいた

「レンダーターゲットのセットですね。一緒に深度バッファもいかがですか?」

ということで本来はレンダーターゲットと深度バッファは一緒にすべきものだったりします。
なので、OMSetRenderTarget には深度ステンシルビューを入れる場所が最初から用意されて
います。現在の OMSetRenderTarget をご確認ください。

```
_commandList->OMSetRenderTargets(1, &rtvHandle, false, nullptr);
```

という風になっていると思いますが、これの第3引数が `nullptr` になっていますね？定義を確認してみましょう。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986884\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986884(v=vs.85).aspx)

第4引数が

`pDepthStencilDescriptor (in, optional)`

Type: `const D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE*`

A pointer to a `D3D12_CPU_DESCRIPTOR_HANDLE` structure that describes the CPU descriptor handle that represents the start of the heap that holds the depth stencil descriptor.

つまりところここに深度ステンシルデスクリプタハンドルを入れるってことです。つまり、

```
OMSetRenderTargets(1,&rtvHandle,false,&_dsvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());
```

こんな感じですね。で、これだけでは「まともに」機能しません。深度バッファは毎フレームクリアする必要があります。

深度バッファをクリア(毎フレーム)

`ClearDepthStencilView` という関数を使います。どうクリアするのかと言うと Z 値を無限大…と言いたいところですが、1 でクリアします。なぜ 1 かと言うと前にも話した通り、ビューポリューム `near~far` を 0~1 の範囲に正規化しているからです。

つまり 1 で初期化するという事は最初の Z 値が `far` になるわけで、クリッピングボリューム内に「見える」オブジェクトの Z 値は全て 1 未満だからオブジェクトに当たるたびに小さくなってしまいます。これをクリアしなければならないのです。

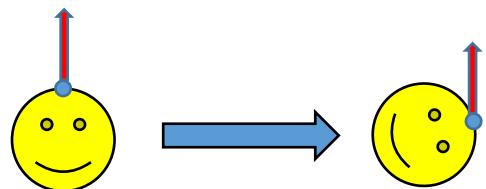
ちなみにこの機能により アルファブレンディングとの関係がうまくいかないことがあります、それはまあ…仕方ないと思ってください。そのうちその話はします。

ここまでがうまくいけば 3D のミクさんが石膏みたいに感じで表示されるはずです。
頑張りましょう。

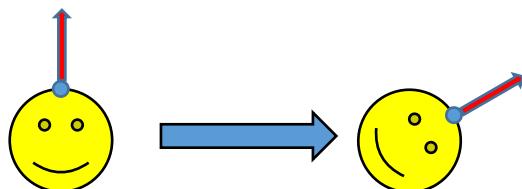
法線も座標変換

実際の話、モデルが回転する場合は座標だけでなく、法線も回転させなければいけません。

もし座標だけを回転させている状態のままならこうなります



イメージはなんとなくわかりますかね? 当然ながらこれではダメで



こうしたいわけ。当たり前だよなあ。

ところが現状としてはひとつの matrix に world, view, projection みつつの行列が合成されている状況で渡っているので話は単純ではない。悲しい事に合成されてしまうと元には戻せないんだ。



悲しいなあ…

いや、逆行列を持ってれば元に戻せるんだけど結局「逆行列」を渡さなければならないので、そもそも合成して渡すのではなく合成は GPU 側にお願いしておくって事でやろうかなと思った。でも頂点ごとにその計算が行われてしまうのは無駄でよろしくない。このため

- 合成前ワールド行列
- WVP 合成済行列

という渡し方にしようかと思います。渡すための構造体として

```
struct TransformMatrices {
    DirectX::XMATRIX world; //合成前ワールド
    DirectX::XMATRIX wvp; //WVP合成済み
};
```

という事でいいがでしょ? コンスタントバッファはそれに合わせて作ります。僕のプログラムだとこんな感じで渡します。

```
TransformMatrices tm = {};
tm.world = XMMatrixRotationY(angle);
```

```

tm.wvp = tm.world *
    XMMatrixLookAtLH(XMLoadFloat3(&eye), XMLoadFloat3(&target), XMLoadFloat3(&up)) *
    XMMatrixPerspectiveFovLH(XM_PIDIV2, static_cast<float>(wscale.w) /
static_cast<float>(wscale.h), 0.1f, 300.0f);
_constantBuffer.reset(_buffMgr->CreateConstantBuffer<TransformMatrices>("sample"));
_constantBuffer->UpdateValue(tm);
てな感じでシェーダ側も
cbuffer mat:register(b0) {
    matrix world;
    matrix wvp;
}
(中略)
pos = mul(wvp, pos);
normal = mul(world, normal);
こんな感じでシンプルにしましょう。

```

マテリアルを適用



この辺からみんなはマルチスレッドの面倒くささを思い知ることになるだろう…

細かい事は後で説明するけど、ひとまず DX11 時代のやり方を軽く言っておくと

- マテリアルごとにインデックス区切る
 - その区切ったインデックスごとに描画する
 - その描画の直前でマテリアル(定数バッファの内容)を切り替える
- というやり方で OK だった。

なんとなく直感的に感じるだろう?ところが DX11 ではそうはいけないのだ。

残念ながら。

どういう事がと言うと、DX12 の GPU に対する命令はほぼ全てコマンドリストに溜めてからコマンドキーで実行と言う流れである。

そして定数バッファの内容を切り替えるという事は Map した内容に対して変更を加えるという事である。これは CPU 側がマップ内容を書き換えるという事になる。CPU 側の処理である。

これ、DX11であれば特に問題なかったのだが、さっきも言ったようにコマンドリストをコマンドキューでまとめて処理するといった性質上…どんなにプログラムの上で書き換え⇒描画という命令をループで繰り返したところで結局



このようになってしまふのである。言ってる意味わかるかな?

/はあ~(クソデカため息)あほくさ。昨年はこの概念が良く分かってなかつたので、かなり死にました~。

昨年の俺

ということで面倒だという事を怠慢に置いたうえでマテリアルの適用(着色とか)を行っていきましょう。

マテリアルってなんや?

マテリアル(material)ってのはCGで言う場合は「表面材質」を表します。なぜ「表面」なのかと言うとCGの世界はペラペラの集合体だからです。中身が詰まってないポリゴンメッシュ集合なので、こういう言い方をします。

で、簡単に言うと着色のデータとかになるんやけど、基本的には「古典的」レンダリングの

- ディフューズ(拡散反射)
- スペキュラー(鏡面反射)
- アンビエント(下駄:…環境光反応成分)

になります。CG検定を受験する人は、これらについて理解してはるはず。当たり前だよなあ?

どうかな?

一応拡散反射ってのは、表面がざらついてる場合の反射で入射光反転ベクトルと法線ベクトルの内積に比例する。基本的にはこの色がベースになる。っていうとちょっと語弊があるけど、まあMMDにおいてはそう思って支障はない。

スペキュラってのはハイライトに使用されるもので、光が反射したベクトルと、視線ベクトル

反転ベクトルの内積のさらに n 乗(パワー)によって決まる。このパワー値が大きいほどハイライトが鋭くなる(より金属っぽくなる…つやつやする。逆にこれが小さいとぬるーんって感じのハイライトになる)

アンビエントってのは環境光って言って、そのままやと暗すぎるから下駄を履かせるときに加算する。この段階ではその程度の理解でいいです。CG検定受ける奴はきちんと勉強するよに。

マテリアルデータ読み込み

テクスチャなどを設定することになります。

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/ea0bb1b1d4c6ad98a93edbfe359dac32

では「材質リスト」って言ってますね。

いつもの流れです。

DWORD material_count; // 材質数

t_material*material(material_count); // 材質データ(70Bytes/material)

•t_material

float diffuse_color[3]; // dr,dg,db // 減衰色

float alpha; // 減衰色の不透明度

float specularity;

float specular_color[3]; // sr,sr,rb // 光沢色

float mirror_color[3]; // mr,mg,mb // 環境色(ambient)

BYTE toon_index; // toon?? bmp // 0.bmp:0xFF, 1(01).bmp:0x00 ... 10.bmp:0x09

BYTE edge_flag; // 輪郭、影

DWORD face_vert_count; // 面頂点数 // 面数ではありません。この材質で使う、HYPERLINK

"http://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/7cebae143cb6b9bae38ebbe2228c05b" 面頂点リストのデータ数です。

char texture_file_name[20]; // テクスチャファイル名またはスフィアファイル名 // 20バイト
ぎりぎりまで使える(終端の0x00は無くても動く)

はい、また「クソ」データ構造ですね。2つのBYTE直後にパディングが発生しますね。ふざけんな。これホントMMDの作者は作るときにどうしてたのかな?もしかしてpragma pack(1)してたのか?

まあ、このマテリアルデータはGPUに直接渡すわけではないので、パディングに気を付けさえすればそれほどややこしくはないと思います。ループ読み込みしちゃってもいいんじゃない

いでしょうか?

とりあえず色のメインデータは「古典的」レンダリングの場合ディフューズですから、ひとまずこいつさえあればいいです。

こいつもインデックスデータの直後にあるので、まずはマテリアル数を読み込みましょう。マテリアル数が DWORD ってのも逆に疑問を感じるのですが…今まであれだけケチっておいてお前 4,294,967,295 もマテリアルがあるとでも思ってんのか?

まあいいや。読み込んでみてください。ミクさんなら 17 個くらいですから確認してください。マテリアルは頂点とかに比べたら圧倒的に少ないのに、けちるメリットはないんだけどなあ。

```
struct PMDMaterial {
    float diffuse_color[3]; // dr, dg, db // 減衰色
    float alpha; // 減衰色の不透明度
    float specularity; // スペキュラ乗数
    float specular_color[3]; // sr, sg, sb // 光沢色
    float mirror_color[3]; // mr, mg, mb // 環境色(ambient)
    unsigned char toon_index; // toon???.bmp //
    unsigned char edge_flag; // 輪郭、影
    // パディング2個が予想される…ここまでで46バイト
    unsigned int face_vert_count; // 面頂点数
    char texture_file_name[20]; // テクスチャファイル名
};

std::vector<PMDMaterial> _materials;
(中略)
for (auto& material : _materials) {
    fread(&material, 46, 1, fp); // 直値はあとで修正しとく
    fread(&material.face_vert_count, 24, 1, fp); // 直値はあとで修正しとく
}
```

で、この取ってきたマテリアルを利用してミクさんに色をつけたろか? って事やな。

さて、ここまでええんや、ここまではな…

さて、ここからがお悩みどころやで……

マテリアルデータは複数あります。そしてマテリアルごとに描画を分けます。ここまではい

い。

さて、マテリアルは描画しつつ切り替わっていきます。そうやないと色分けでけまへんからな?

ところが以前にも話したように



という問題がある。

昨年はこれに対して

「全マテリアルについてのバッファを生成し、それぞれをヒープに乗っけていく。」

「そのヒープの参照を切り替えていくことでマテリアルを切り替えていく。」

あ、それでさ、昨年のコード見たんだけど、↑の戦略は間違ってないとして…ひどいなー。
やっぱわかつてなかつたんやな……。どういうコードかちょっと見せましょか?

クソコードでごめんなさい

昨年のコード(ママ)

このコードはレンダリング関数内のコードです。

```
for (auto& mat : _materials) {
    *cbufTemp = *cbuffer;
    cbufTemp->diffuse = mat.diffuse;
    cbufTemp->alpha = mat.alpha;
    cbufTemp->specularity = mat.specularity;
    cbufTemp->specular = mat.specular;
    cbufTemp->ambient = mat.ambient;
    cbufTemp->existTexture = (mat.texture != nullptr);
    cbufTemp->existSPA = false;
    ID3D12DescriptorHeap* texDescHeap() = { textureCreator.GetDescriptorHeap() };
    _commandList->SetDescriptorHeaps(1, texDescHeap);
    if (mat.toonIdx >= 0 && mat.toonIdx < 10) {
        cbufTemp->existToon = true;
    }
}
```

```

_commandList-
>SetGraphicsRootDescriptorTable(_toonTextures(mat.toonIdx+1)->GetRootParameterIndex(),
 _toonTextures(mat.toonIdx+1)->GPUDescriptorHandle()));

}

else {
    cbuffTemp->existToon = false;
}

if (mat.texture != nullptr) {
    if (mat.texture->GetType() == default) {
        _commandList->SetGraphicsRootDescriptorTable(mat.texture-
>GetRootParameterIndex(), mat.texture->GPUDescriptorHandle());
    }
    else {
        cbuffTemp->existTexture = false;
        cbuffTemp->existSPA = true;
        _commandList->SetGraphicsRootDescriptorTable(mat.texture-
>GetRootParameterIndex(), mat.texture->GPUDescriptorHandle());
    }
}

cbuffTemp = (CBuffer*)((char*)cbuffTemp + GetSizeOf256Alignment(cbuffTemp));
ID3D12DescriptorHeap* descHeaps2() = { cbo->GetDescriptorHeap() };
_commandList->SetDescriptorHeaps(1, descHeaps2);
_commandList->SetGraphicsRootDescriptorTable(cbo->GetParameterIndex(), handle);

handle.ptr += descSize;

_commandList->DrawIndexedInstanced(mat.indexCount, 1, indexOffset, 0, 0);
indexOffset += mat.indexCount;
}
間違ってはない!…間違ってはない!ねんで?
```

でも…これはひどい!…結局分かってない!…DX11 脳のままコーディングしていたことが窺えますね。
まあ仕方ない!…仕方ない!…昨年は本当に申し訳ございませんでした。が、本当に日本語資料も口クになりながら、授業日数は進んでいくし焦ってたんだよ~。わかつてくれ~。

とはいって、昨年授業を受けてた人でも、もしかしたらこのコードの酷さがわかつてないのかもしれない。

ちょっとここから「経験済み」の人ための解説になるけど…初見の人は繋してください。初見でもなんとなく分かるようには説明しますし(少なくとも僕はそのつもり)、もしかしたら経験済みの人でも良く分からぬかもしれない。

そこはこれまでやってきたバッファの話とか、デスクリプターヒープの話とかをイメージできているかどうかにかかっている。

ひとまずやっている事を説明するな? ちなみに、ゼーカー/バッファは(256バイト)*マテリアル数ぶん確保してるし、デスクリプタ数もマテリアル数ぶん確保するで? …もうここでピンと来ると思うけど、

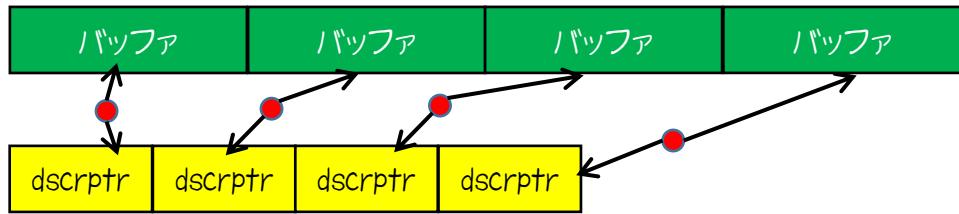
予め確保しておいて、さらにコンスタントバッファビューを作るときに

//指定デスクリプタ数ぶんのビューを作る

```
for (int i = 0; i < b->descriptorNum; ++i) {
    D3D12_CONSTANT_BUFFER_VIEW_DESC cbvDesc = {};
    cbvDesc.BufferLocation = buffLoc;
    buffLoc += (b->bufferSizeOfOne + 0xff)&~0xff;
    cbvDesc.SizeInBytes = (b->bufferSizeOfOne + 0xff)&~0xff;
    dev->CreateConstantBufferView(&cbvDesc, handle);
    handle.ptr += descSize;
}
```

とやっており、バッファアドレスの部分とヒープ上のビューの関連付けを予め行っている。間違つてはなし。間違つてないけどもう少しシンプルに書けるはずだし、そもそもレンダリングループ内でのような事(マテリアルの設定切り替え)をする必要がない。

図に書くと



こうなつたるわけやな。で、レンダリングの時にこれ(ヒープ)を切り替えながら進めとるわけや。

しかしよく考えたら頭が悪い。処理的にもエントロピー(複雑度合い)的にも。処理的に頭が悪い部分とはどこかというと、このバッファへの内容の代入を毎フレーム行っている部分や。既にバッファは確保してるし、関連付けられたデスクリプタも既に用意している…つまりレンダリンググループ外でバッファの中身を埋めてしまえば

```
for (auto& mat : _materials) {
    handle.ptr += descSize;
    _commandList->DrawIndexedInstanced(mat.indexCount, 1, indexOffset, 0, 0);
}
```

で済むはずだよなあ…。あたりまえだよなあ。こうやつたとしてもちょっと気に入らないのはマテリアル数ぶんのビューができることになつてしまふので、何だかなーって思う。

2つの冴えてないやり方

「冴えてない」ってのはもっと冴えたやり方がきっとあるはずだと思うので、こういう書き方をしていきます。

まず一つ目のやり方は前述のとおり、バッファとビューをマテリアル数ぶん作り、それを切り替えていくというやり方です。

このデメリットとしては、バッファがもつたしない気がするし、ビューももつたしない気がする。

もう一つのやり方としては…コンスタントバッファを Map で更新するのではなく CopyBufferRegion などのリスト系コマンドで投げてやる方法です。その場合

Copy⇒Draw⇒Copy⇒Draw⇒Copy⇒Draw⇒Copy⇒Draw と積んであげれば

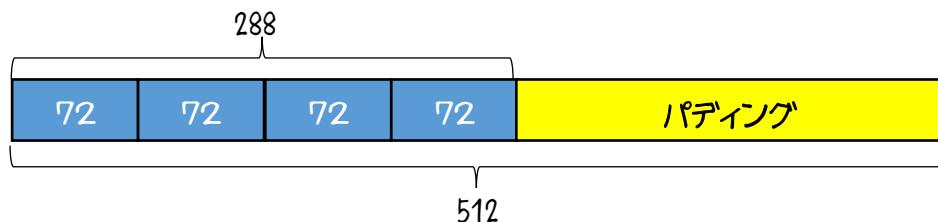


のようにすることができます。これはこれでコピーコマンドが増えることで負担が高まるんじゃないのかと言う懸念もあります。どっちがいいのかは検証してみないとわかりませんね。

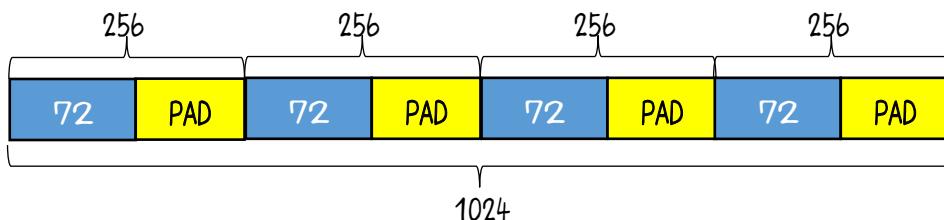
まず、最初のやり方からやってみましょう。

マテリアルのためのバッファ作成

ひとまず前者のやり方を採用して作ってみましょう。マテリアル数分バッファを用意します。今回はディフューズだけ投げてみます。僕の予想が正しければ昨年よりバッファも節約できるかもしれませんし(結論から言うとダメでした)…。



こういう風にはできませんでした。指定 BufferLocation 自体が 256 アライメントである必要があるため(S_OK が返るし、その場では何も起きないけど突然クラッシュする原因となる)



こういう無駄な事になってしまいます。悲しい。こうなると1つ1つバッファ作っても占有領域的には同じことだよなあ…。

最初にルールを決めましょう

- レジスタ番号は1とします(0は既に座標変換で使用しているため)。
- ビューは1マテリアルごとに1つとします。
- ルートパラメータはWVPと別にします。

- もちろんヒープも WVP と別にします。

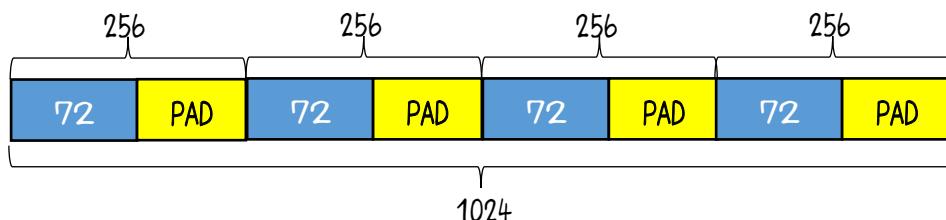
本当にこの「マテリアルの切り替え」は「鬼門」と呼んでもいい。上記の 256 区切りが本当にバグを引き起こしやすいしたかだが



を表示するまでに大勢死者が出るであろう(予言)。まだテクスチャも貼ってないのに…

まずはバッファを作つていこうか…

どつみち



といった状況なのでそもそもバッファは別々に作つてもいいしまとめててもいい。君の自由だ。
自由選択です。つまり

```
size = (size + 0xff) & ~0xff; // 256 累め
auto result = _dev->CreateCommittedResource(
    &CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),
    D3D12_HEAP_FLAGS::D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
    &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(size*mats.size()), // 256 * マテ数
    D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,
    nullptr,
    IID_PPV_ARGS(&_materialBuff));
);
```

としてもいいし

```

int midx = 0;
for (auto& mbuff : _materialsBuff) {
    auto result = _dev->CreateCommittedResource(
        &CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),
        D3D12_HEAP_FLAGS::D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
        &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(size),
        D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,
        nullptr,
        IID_PPV_ARGS(&mbuff));
    Material* material = nullptr;
    result = mbuff->Map(0, nullptr, (void**)&material);
    *material = mats(midx);
    mbuff->Unmap(0, nullptr);
    ++midx;
}

```

としてもいい。モチロンどっちにするかで、後々の書き方も変わってくるとは思いますが、トータルでのバッファ占有領域も変わらないし、デスクリプタ通してみたらどっちみち同じような見え方するので、自分がやりやすい方法でいいと思います。

今回はビューも分ける予定だし個人的にはバッファを分けてしまった方が考え方的には楽になつていいかなと思ひます。

このあたり、ホント最終的にはパターンの組み合わせを作って、状況に寄つての最適解を検証する必要はあると思ひます。今回は分かりやすい方法(マテリアル数ぶんのバッファオブジェクトを作る)を選択します。

これが問題になるようなパターンあるかな?今は思いつかない。

ヒープとビューの作成

ここはバッファの作り方が違うと、この対応も違うので注意してください。

ヒープ自体はもう作れるでしょ?ちょっと作ってみましょうよ。但し今回はデスクリプタの数はマテリアル数と同じなので

```
descHeapDesc.NumDescriptors = mats.size();
```

とやっておく。

もし、バッファをマテリアルごとに分けているならば

```
for (auto& m : mats) {
    desc.BufferLocation = _materialsBuff(idx)->GetGPUVirtualAddress();
    _dev->CreateConstantBufferView(&desc, handle);
    handle.ptr += _dev-
        >GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
    ++idx;
}
```

あ…コードを丸写ししても、まったく実力にはならんぞ?書く俺も悪いのかもしけんが何をやっているのかを考えて書いてね?例えば「ここは何をやってるの?」「どうしてこう書いてるの?」って訊かれたら答えられますか?

例えば↑のコードなら

desc.BufferLocation = _materialsBuff(idx)->GetGPUVirtualAddress();
ビューとバッファのアドレスをバインドしています。今回はバッファはまとめずに配列管理にしているため、GetGPUVirtualAddress をそのまま入れています。

_dev->CreateConstantBufferView(&desc, handle);
desc 設定を元にヒープ上にビュー情報を作成します。

handle.ptr += _dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
ヒープへの書き込み位置を進めています。

と言った具合にです。

なお、1つのバッファでやった場合は

```
for (auto& m : mats) {
    desc.BufferLocation = _materialBuff->GetGPUVirtualAddress();
    _dev->CreateConstantBufferView(&desc, handle);
    desc.BufferLocation += size; //もちろん256アライメントプラスする
    handle.ptr += _dev->GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
}
```

えーと、赤字の部分がポイントですが、前にも言ったように、いつもにやったところで 256 アライメント並びにせざるを得ないため、バッファロケーションが 256 ごとに並んでいると思つ

てください。

ルートシグネチャの設定

前にも書きましたが、今回のマテリアルはレジスタ番号を1番とするため、別レンジを作らなければなりません。また、座標変換と寿命というガスコープが違うため、パラメータも別とします。

まずはレンジの設定。簡単ですが追加しときます。

//"b1"もつくるぞー

```
range.NumDescriptors = mats.size(); //マテリアル数
range.RangeType = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_CBV; //定数バッファやで
range.BaseShaderRegister = 1; //レジスタ番号は1ですよ
range.OffsetInDescriptorsFromTableStart = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;
ranges.push_back(range);
```

ルートパラメータは別にしたいので

```
rootparam.ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_DESCRIPTOR_TABLE;
rootparam.DescriptorTable.NumDescriptorRanges = 1;
rootparam.DescriptorTable.pDescriptorRanges = &ranges.back();
rootparam.ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_ALL;
rootparams.push_back(rootparam);
```

とにかく追加しとく。もちろん「パラメータ数」も増やしておくことを忘れずに。

これで今回のマテリアルを追加する準備ができました。

シェーダ

あとは shader 側ですが、レジスタ番号1なので

```
cbuffer material : register(b1) {
    float3 diffuse;
}
```

とします。これで diffuse 色が付くので着色します。Brightness に乗算しておいてください。

Draw 時の切り替え

```
unsigned int offset = 0;
```

```

auto mathandle = _materialHeap->GetGPUDescriptorHandleForHeapStart();
ID3D12DescriptorHeap* matdescHeaps[] = { _materialHeap };
_cmdList->SetDescriptorHeaps(1, matdescHeaps);
for (auto& m : _model->Materials()) {
    _cmdList->SetGraphicsRootDescriptorTable(1, mathandle);
    mathandle.ptr += _dev-
>GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
    auto idxcnt = m.face_vert_count;
    _cmdList->DrawIndexedInstanced(idxcnt, 1, offset, 0, 0);
    offset += idxcnt;
}

```

PMD のマテリアルには、そのマテリアルに割り当てるべきインデックスの数が記録されています。

それを利用して色分けを行います。このマテリアルをすべて描画するとすべての面を描画したことになります。

これをマテリアルに分けるためにループを作り、そこに DrawIndexed～ を実行します。
描画しつつビューを切り替えていくことで色分けを行うことができます。

うまくいけば…



まあ、色々問題はあるけど色分けはできましたね。

あと、既に一部でディフューズアンビエントスペキュラーを入れてる人がいるので、もうやっちゃいますけどね？ 例えば

```

struct Material {
    Material() {}
    Material(DirectX::XMFLOAT3& d, DirectX::XMFLOAT3& s, DirectX::XMFLOAT3&
a) : diffuse(d), specular(s), ambient(a) {}
    DirectX::XMFLOAT3 diffuse; //拡散反射

```

```

    DirectX::XMFLOAT3 specular; //鏡面反射
    DirectX::XMFLOAT3 ambient; //環境光成分
};

こういう風に作っていたとします。

```

そうすると HLSL 側は

```

cbuffer material : register(b1) {
    float3 diffuse;
    float3 specular;
    float3 ambient;
}

```

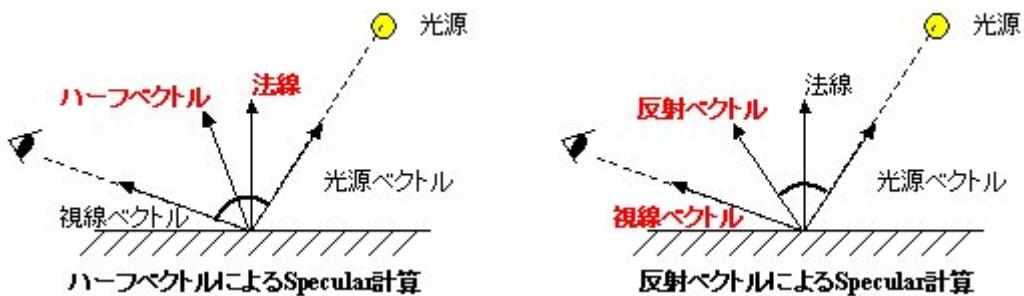
するわけで、そこにディフューズスペキュラーアンビエントが入ってくるわけです。順当にいくとこの3要素と、ザラピカゲタを乗算すればいいわけですが

ちなみに鏡面の方はハーフベクトルではなく、直接反射を計算すると

$$R = I_{in} - 2N(I \cdot N)$$

$$I_{specular} = (R \cdot V_{eye})^n$$

てな感じの式になります。ちなみに R は反射ベクトルの計算をしています。



ハーフベクトルの方が計算負荷は低いので、実際にスペキュラいうたらこっち(ハーフベクトル)が採用されることが多い…が、今回はきちんと反射ベクトルを作ろう…reflect 関数でな!!

つまり↑の式の1行目は

```

float3 mirror=reflect(light,input.normal);
となる。

```

あとはこいつと視線ベクトルの内積を取って

```
float spec=pow(dot(mirror,toeye),n)
```

で、取れた明るさを乗算加算すれば、それっぽくなります。

```
float spec = saturate(dot(reflect(-light, input.normal), ray));
```

```
spec = pow(spec, 10);
```

```
float brightness = saturate(dot(light, input.normal.xyz));
```

```
return float4(saturate(diffuse*brightness+specular*spec+ambient),1);
```

ただしこの時に面倒な問題に直面します。



なんか赤くね?

昨年の僕も見落としていたんですけどね…なんかこういう仕様があるみたいなのねん。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418340\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418340(v=vs.85).aspx)

「各構造体は、次の変数に次の 4 成分ベクトルを開始させます。これは、構造体の配列にパディングを生成する場合があります。いずれの構造体の結果のサイズも、必ず sizeof(4 要素ベクトル) によって均一に割り切ることができます。」

ちなみに構造体にまとめてみてもダメですね。

```
struct Material {
    float3 diffuse;
    float3 specular;
    float3 ambient;
};

cbuffer material : register(b1) {
    Material mat;
}
```

sizeof(float4)仕様にパディングが入るようです。お前この野郎。ということで、もう諦めて

float4にしました。

```
cbuffer material : register(b1) {  
    float4 diffuse;  
    float4 specular;  
    float4 ambient;  
}
```

モチロン C++ 側も XMFLOAT4 状態にしないとズレるので、それに対処しさえすれば



おっ

さて、ちょっと疑問なのは

```
float4(saturate(diffuse.rgb*brightness+specular.rgb*spec+ambient.rgb),1);
```

の環境光に何も乗算されてないという所が気になりますので、検証しましょう。

```
return ambient;
```

で環境光(ゲタ)のみ表示しましょう。そして MMD の照明 0 の状態を見てみましょう。



んまあだいたいの色味は同じ感じかな。

じゃあ足しときやいいのか。あと、データにある alpha と specularity(乗算値)ですが、それぞれ diffuse の w(4番目) と specular の w(4番目) に割り当てましょう。

(余談ですが、久々に MMD 立ちあげたら視野角が 30 あることに気づきました…それ合わせておくといいかもしません。)

```
auto& m = mats.back();
m.diffuse.w = pm.alpha;
m.specular.w = pm.specularity;
```

しといて

```
spec = pow(spec, specular.a);
return float4(saturate(diffuse.rgb*brightness+specular.rgb*spec+ambient.rgb),diffuse.a);
```

とすれば無駄なく使っていいですね。



なんか白っぽいんだよなあ…トーン入れたら変わるかな?

テクスチャを入れよう!!!

さあご覧のように色分けができたところまではいいのですが、目が怖いですね。

実はミクさん。ほとんどはディフューズカラーで色分けできるんですが、目だけはテクスチャでできているんですよね。

どうやら eye2.bmp という名前のようにです。

一応絵は



一応 BMP なので透過は入っていない!…そして周囲が黒って事を考えると 0,0,0 は抜く仕様なのかな?

そうは言っても、アルファという事にしちゃうと、深度バッファ問題が発生するため、特に考えずに貼り付けてみましょう。

UV復活!!UV復活!!UV復活!!

一度は封印したテクスチャの設定を復活させます。



ピロリロリロリロツ

Output vs(float4 pos : POSITION, float4 normal:NORMAL, float2 uv:TEXCOORD)

とか'

```
struct Output {  
    float4 svpos : SV_Position;  
    float4 normal:NORMAL;
```

```
float3 pos:POSITION;  
float2 uv : TEXCOORD;  
};  
  
とか  
  
return float4(tex.Sample(smp, input.uv).rgb*diffuse...;
```

などを復活させます。あとはレイアウトを復活させれば UV データは入ってるはずなので

```
{ "TEXCOORD", 0, DXGI_FORMAT_R32G32_FLOAT, 0, D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT, D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA, 0}
```

まで復活させれば…



あれれえ?おつかしいなあ。

テクスチャの設定がない奴の取り扱い

まあ、わかつててやったんですけどね。えーとですね。今回のミクモデルに関してですがテクスチャは目のみに貼られていて、それ以外はノーテクスチャで UV 値が(0,1)固定なんですね。で、テクスチャがあるとかないとか判断できないため

```
tex.Sample(smp, input.uv).rgb*diffuse
```

というコードを書くと



の左下の色がサンプリングされて、全ての頂点が黒くなるわけです。というわけで全身黒になっているわけ。これを無理やり白っぽいテクスチャにすると



このようにやつぱりミクさんが表示されるわけです

でも、テクスチャがない時にまでテクスチャの影響を受けたくないですよね。さて、どうしたものか…ここは状況によって考えてもらいたいんですが、色々と考えてみました。

- テクスチャが指定されてない場合は白テクスチャを割り当てとく(多分これが簡単だし速い)
- シェーダを切り替える(いやあ…パイプラインステート複数作らにゃいけんし…まあ仕方ないのかなあ…)
- フラグ管理する(GPU 側にテクスチャ使用するかどうかを教える…ピクセルシェーダがちょっと忙しくなるかな)
- ↑の派生になるが、使用するテクスチャ数を渡す(マルチテクスチャ前提。意外と↑より速いと思われる)

おそらくこれのどれを選ぶかはその時の状況次第だし、これら以外にもやり方はあるだろう。非常に申し訳ないが、正直現場的にどのようなやり方をしているのかなんて想像するしかない。

(僕は現役時代は2D屋だったし、テクスチャは必ず1枚だけ貼られるという状況だったので、本当に想像するしかない…面白ないと言わざるを得ない。そろそろ僕も教育的なところからはいなくなるべきだと思います…嘘教えたくないしさ)

まあ、ちなみにそれぞれの解説を簡単にしておくと、

最初のやり方については4x4くらいの白テクスチャを用意しておいて、それを乗算すればいいと思ってます。

現在のコードが

```
tex.Sample(smp, input.uv).rgb*diffuse*brightness
```

なのでtex.Sampleの部分が白ならば、diffuse*brightnessと同じ意味になるからです。

まあとりあえず白テクスチャを実装するとして、そもそもどの画像を読み込むのかを設定してあげる必要があります。どっちみちテクスチャ分のバッファを用意しなきゃいけないし、結構やることはあります。

- テクスチャのファイルパスの確定
- テクスチャバッファの作成
- テクスチャビュー(ヒープ)の作成

がやれれば、あとは定数バッファの時同様切り替えるだけです。今回一番面倒なのは恐らく…

テクスチャファイルパスの確定

ですね。めんどう。

何が面倒かと言うと PMD ファイルの中身においてテクスチャの指定があるんですが、その指定がそもそも「モデルパスからの相対パス」なんですよね…

```
3material[0].face_vert_count          000001E0
3material[5].texture_file_name[0]      65 79 65 32 2E 62 6D 70 00 FD FD FD FD FD FD eye2.bmp .....
3material[5].texture_file_name[16]     FD FD FD FD .....
3material[6].diffuse_color[0]          3DED9168 3DED9168 3DED9168
3material[6].diffuse_color[16]         0F000000
```

eye2.bmp と書いてありますが、あくまでこれはモデルからの相対パスです。もしモデルから見て tex フォルダの中の eye2.bmp ならば tex/eye2.bmp になります。

で、このパスをそのまま

```
fopen("tex/eye2.bmp", "rb");
```

なんてやっても当然の如く開くことができません。何故なら fopen はプロジェクトファイルからの相対パスを求めているのに、PMD の中に書いてあるのはモデルからの相対パスだからです。

つまりモデルを直下に置いてるなら問題ないんですが、そこからどこか別の所に動かすと問題が発生するわけです。

分かりますかね？

というわけで

モデルパス→アプリパスの変換が必要となるわけです。

ここは DirectX12 関係ないので、ちょっと頭使いましょうか。

まずは具体的な例を考えましょう。

C:\¥DX12¥Program

にプロジェクトファイルがあり、モデルは model フォルダにあり miku.pmd とし、モデルからの

テクスチャファイルパスの指定が `tex/eye.bmp` だとします。

という事はフルパスだとそのままつなげて

`C:/DX12/Program/model/miku.pmd/tex/eye.bmp`

となります。当然これでは開けませんね? 何が邪魔かって `miku.pmd` ですよね? 要はフォルダ名を `model` 抽出したいわけですが、どうすればいいのでしょうか?

簡単に言うとモデルの「ファイル名」と / を削除すればモデルフォルダパスが得られるわけです。そうすれば

(モデルフォルダ)/(テクスチャパス)

でOKなわけです。

どうやってやるのか? というと `std::string` の機能だけでなんとかなりますので、自分で考えてみましょう。

ちなみに使用するメソッドは

- `rfind`: 逆から検索して文字が見つかった場所のインデックスを返す
 - `substr`: 文字列の一部を抽出
- です。

このヒントから自分で実装してみましょう。

そうですね。`rfind` で逆から / を探してそのインデックスを得ると


model / miku.pmd

を指すインデックスが得られます。

という事はここでぶった切れますよね? つまりフォルダ文字列としての最後がそのインデックスに当たるわけです。で、文字列の一部を取得するのが `substr` メソッドですので

```
filename=modelpath.substr(0,modelpath.rfind('/'))
```

とやればいいわけです…が、ディレクトリセパレータが / とは限らないんですねえこれが ¥ の場合もあるんですよ。一応 C 言語では ¥ がエスケープシーケンスなので ¥ と言う文字列は ¥\ と

します。

どうするのかと言うと

```
//ファイルのフォルダ区切りは¥と/の二種類が使用される可能性があり
//場合によってはそれがゴチャゴチャである可能性もある。
//ともかく末尾の¥か/を得られればいいので、双方のrfindをとり比較する
//int型に代入しているのは見つからなかった場合はrfindがnpos(-1→0xffffffff)を返すため
int pathIndex1=path.rfind('/');
int pathIndex2 = path.rfind('¥');
int pathIndex = max( pathIndex1 , pathIndex2 );
std::string folderPath = path.substr(0,pathIndex);
FolderPath += "/"; //最後はセパレータが消えるため(↑の行をpathIndex+1にしても可)
```

でフォルダ名を抽出できるため、あとは、これとテクスチャのファイル名を連結させるだけです。↑のは関数にでもして便利に使えるようにしておきましょう。

さてこれでパス問題は解決したことにします。

`char*⇒wchar_t*`

あっちゃん。説明忘れてたことに今!気づきました。

ちょっと今のままで問題がってですね。PMD ファイル内のパス指定は当然の権利のように `char*` 型なんですが、`WICLoadTexture` 関数の求める文字列は `wchar_t*` 型なんですね。
これが意外と面倒なんですがね?

`MultiByteToWideChar`

という Windows 関数を使用します。

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc448053.aspx>

めんどくせえんだこれが。これで一発で `wchar_t*` が返ってくるならいいんですが、そうはいかない…。手順としては

- 一回目: `char` を `wchar_t` に変換した時の「文字数」が返ってくる
- 二回目: `wchar_t` 配列を渡し、変換した文字列を受け取る

という、なんかメンドクサイ手順が必要なんです。



まあ愚痴っても仕方ないので、作るしかない。

```
auto bsize = MultiByteToWideChar(CP_ACP,  
    MB_PRECOMPOSED | MB_ERR_INVALID_CHARS,  
    filepath, -1, nullptr, 0);
```

```
std::wstring wstr;  
wstr.resize(bsize);
```

```
bsize = MultiByteToWideChar(CP_ACP,  
    MB_PRECOMPOSED | MB_ERR_INVALID_CHARS,  
    filepath, -1, &wstr.data(), bsize);
```

こんな感じのコードで関数を作ってください。StringToString 的なやつ。

ちなみにこの時指定するコードページですが、CP_ACP としています。これは何がどうと ANSI コードページつまり Windows においては SJIS の事やねん。

何言ってるかわかんない?
そりやそうやんなあ…

文字コードってのがあるのは知ってるかい？UnicodeとかSJISとかUTF-8とかそういうのや。これが整合していないと文字化け起こすアレやな。

それがPMDの場合はSJISを採用しているのでSJIS変換しているだけで、例えばPMXの場合はUTF-8なんやで…これはUnicode対応のためやろなあ…。正直文字コードの話をすると10コマくらり吹っ飛ばす自信あるので興味がある人は

<https://www.amazon.co.jp/%E3%83%97%E3%83%AD%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%9E%E3%81%AE%E3%81%9F%E3%82%81%E3%81%AE%E6%96%87%E5%AD%97%E3%82%B3%E3%83%BC%E3%83%89%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%85%A5%E9%96%80-WEB-PRESS-plus-plus%E3%82%B7%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%82%BA/dp/4774141b4X>

とかを自前で読んでおくとヒントにならぬですかね。

お金がもったいない人は

<https://qiita.com/yuji38kwmt/items/b3a7820b4d3b544da4ff>

見ておきましょう。

ともかく今はPMDを読み込むことが先決である。まず、一度目の呼び出しの戻り値で文字数が返るためそれを元にwstringのサイズを変更。

あとはもう一度MultiByteToWideCharを呼び出し、中身を埋める。その文字列でロードすればいい。

白テクスチャの作成

白テクスチャを作成します。バッファ作るところは省略しますよ？

こうかな？

```
std::vector<unsigned char> data(4 * 4 * 4);
std::fill(data.begin(), data.end(), 0xff);
auto result = _whiteTexBuff->WriteToSubresource(0, nullptr, data.data(), 4*4, 4*4*4);
やってることはお判りでしょうか？
```

テクスチャ用ヒープ作成

ここでは白テクスチャとかそういうんじゃなく、普通にヒープ領域をマテリアル数分用意します。で、ループ回しながらビューを作っていくますが、この時のバッファ参照先をテクスチャがあるかないかで白かそれ以外にしていきます。なので、テクスチャビュー自体はマテリアル数と同じにします。

最終的な話をしておくと、このテクスチャはマテリアルと歩調を合わせたいので、マテリアルと同じレジスタ番号に割り当てます(+1)。+0の存在理由がちょっと薄くなりますが、その辺はもう少しあった後にリファクタリングしましょう。

ヒープも新しく作ります…と思ったけどまとめといた方が使いやすいかな…あのね、恩着せがましく思うかもしれないけど、この辺の設計とか結構悩むのよ。悩んで悩んだ結果のテキストをみんなに見せてるんですわ。色々さ、習熟度とか後々の予想とか立てながらさ…アカン時もあるのよ…そりやさ。先生だから万能で設計とか最初からできるんでしょとか思つてる人は認識を改めましょう。



よく『不完全な知識を学生に教えるってどうよ』みたいなことを言うセンセーもいますが、僕はそうは思ってません。だってそんなんやってたらカビの生えたような知識とか設計思想しか得られませんぜ?まあそれで長年やってる人とか学校がありますが少なくとも僕は嫌です。

というわけでヒープはこうします。マテリアルヒープの所をちょいちょいといじって

```
descHeapDesc.NumDescriptors = mats.size()*2;
```

こう。

そうしといて、定数バッファ*個数の後にテクスチャが来るよう配置してください。

ルートシグネチャの部分で、そのぶんの把握が必要なので、コンスタントバッファの数をデスクリプタ数に明記してください。

//"b1"もつくるぞー

```
descTblRange(2).NumDescriptors = _model->Materials().size(); //マテリアル数
descTblRange(2).RangeType = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_CBV;
descTblRange(2).BaseShaderRegister = 1;
descTblRange(2).OffsetInDescriptorsFromTableStart = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;
```

//"t1"もつくるぞー

```
descTblRange(3).NumDescriptors = _model->Materials().size(); //マテリアル数
descTblRange(3).RangeType = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_SRV;
descTblRange(3).BaseShaderRegister = 1;
descTblRange(3).OffsetInDescriptorsFromTableStart = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;
```

ドローの部分は特に変更の必要がないです。

うまい事行けば



こうでます

とりあえず、おめでとう!! 君はねんがんのミクさんを表示した。

他のキャラクターもやってみよう

旧ISA0式靈夢モデル、我那覇響モデルなどは比較的妙な細工をされていないので使いやすいかと思います。

TGAへの対処

さて、靈夢さんを表示しようとしたときにクラッショウしちゃったんですよねえ…。何故かと言うと中身のテクスチャがTGAファイルだからです。



うまくいけばこうなるんですけど

どうやって対処するのかと言うと現段階でWICを使用しますが、これが対応しているのはBMP,PNG,JPGといったよくWindowsで使用するフォーマットだけなんです。

TGAはTGAで対処しなければならないのですが簡単です。

```
DirectX::LoadFromTGAFile(filepath,  
                           metadata,  
                           image);
```

こんな感じですね。

もう、ついでに DDS もやっちはいましょう。関数名が変わるだけです。

ちなみにこの切り替え…switch 使いたくなりますが、Switch 撲滅するマンの僕はこうしています。

あらかじめ

```
_loadfunc("jpg") = _loadfunc("png") = _loadfunc("bmp") = ()(const wchar_t*
filepath, DirectX::TexMetadata* metadata, DirectX::ScratchImage& image)->HRESULT {
    return DirectX::LoadFromWICFile(filepath,
        0,
        metadata,
        image);
};

_loadfunc("tga") = ()(const wchar_t* filepath, DirectX::TexMetadata* metadata,
DirectX::ScratchImage& image)->HRESULT {
    return DirectX::LoadFromTGAFFile(filepath,
        metadata,
        image);
};

_loadfunc("dds") = ()(const wchar_t* filepath, DirectX::TexMetadata* metadata,
DirectX::ScratchImage& image)->HRESULT {
    return DirectX::LoadFromDDSTextureFile(filepath,
        0,
        metadata,
        image);
};
```

と作っておいて、実際のロード時に

```
auto result = _loadfunc(ext)(filepath, &metadata, image);
if (FAILED(result)) {
    return nullptr;
}
```

とするわけ。これが真の switch 嫌いよ。ここまでやれば靈夢さんも…



sph/spaへの対処

さて、こんどは我那覇響ちゃんモデルを使用してみたのですがまたもやクラッシュ!!!なぜだろ
うと調べてみたら

```

sector[8].face_vert_count      000001B1
material[7].texture_file_name[0] 68 61 64 61 2E 73 70 61 00 FD FD FD FD FD FD FD FD hada.spa .....
material[7].texture_file_name[16] FD FD FD FD
material[8].diffuse_color[0]    3E2A64C3 3E2A64C3 3E2A64C3
material[8].alpha               3F7D70A4
material[8].specularity        40A00000
material[8].specular_color[0]   00000000 00000000 00000000
material[8].mirror_color[0]     3DD4FDF4 3DD4FDF4 3DD4FDF4
material[8].toon_index          03
material[8].edge_flag           01
material[8].face_vert_count    000034F8
material[8].texture_file_name[0] 68 61 69 72 2E 73 70 61 00 FD FD FD FD FD FD FD hair.spa .....
material[8].texture_file_name[16] FD FD FD FD

```

なんだろうね?

これはね…

<https://www6.atwiki.jp/vpvpwiki/pages/216.html>

PMD 特有のアレだろうけど「スフィアマップ」ってのがあるんだよ。中身は WIC なのですが、マッ
プの使い方が変わってくるんですね。

- sph は乗算
- spa は加算

名前の由来は分かりませんが、そういう事みたいです。ちなみに今回の我那覇モデルにはな
いのですが、

テクスチャファイル名*スフィアマップ名
とすることによって、合成が行われるという仕様のようです。

ということで、

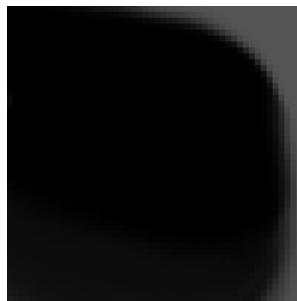
```
_loadfunc("spa") = _loadfunc("sph") = _loadfunc("jpg") = _loadfunc("png") =
_loadfunc("bmp") =...
```

としてやれば、普通にクラッシュは解消されるのですが
当然ながら画像が



セネガルの方から来ます

どうしてこうなってしまうのかと言うと、先ほど見た `hada.spa` をコピーして拡張子 `bmp` にして見てみると



50x50 のテクスチャでした

そりゃこいつと

```
tex2.Sample(smp, input.uv)*float4(saturate(diffu...
```

てな計算をやっちゃダメだよなあ。確かに真っ黒になりますわ。つまるところ、一つのポリゴンを描画する時に同時に参照するテクスチャが増えるという事で色々と考えなければならぬ。

- テクスチャ配列を使用する
- もう別スロット(レジスタ)にしちゃう

で、テクスチャ配列も考えたんですけど、あれ結構制約があるみたいでして、ちょっと変なバグり方したくないので、別スロットで扱っちゃいましょう。

`t0` はちょっと置いておいて

- `t1` が通常テクスチャ(既にやってるやつ)
- `t2` が乗算テクスチャ()
- `t3` が加算テクスチャ

そういうルールにしましょう。そこで加算テクスチャの場合、加算テクスチャのためのプラッ

クテクスチャ(加算しても何も変わらない)も用意します。乗算の方はホワイトテクスチャでOKです。通常ミクさんならほぼすべての sph/spa ビューは白/黒になります。

というわけで、ホワイトテクスチャの時と同様にブラックテクスチャも作っておきます。

後の対処は同じです。sph は乗算…spa は加算すればいいだけです。

と、簡単そうに書きましたが、そう簡単には行かないんですね。

ていうか、昨年はもうホントに騙し騙しで動かしてましたがよう動いてたなあと思ったりして。学生さんには申し訳ないんですけどね。今年以降はそういう事ないようにしたいと思いますが…。

ちょっとね、RootSignature のデスクリプターテーブルのねレンジの仕様の認識がちょっとだけズレてたみたい。

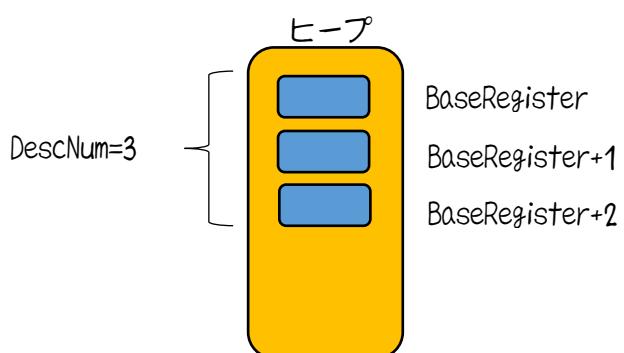
<https://sites.google.com/site/monshonosuana/directxno-hanashi-1/directx-145>

とか

<https://www.3dgep.com/learning-directx12-2/>

とかをもう一度読んで、実際の挙動とも合わせて考えると…。

まあひとことで言うと、レンジにおける「デスクリプタ数」を増やすとヒープ上の範囲も広くなるんだけど、同時にレジスタの範囲も決定しているという事です。ですから



こうなってるのは以前に話した通りなんですが、この3というのはレジスタ番号も3つぶん取るという事になります。ですから今回ののような場合は

定数デスク数=1

テクスチャデスク数=3

とし、ヒープの並びを

定数、ベーステクスチャ、sph、spa としなければならない。あと、さっきわかった事ですが、ルート

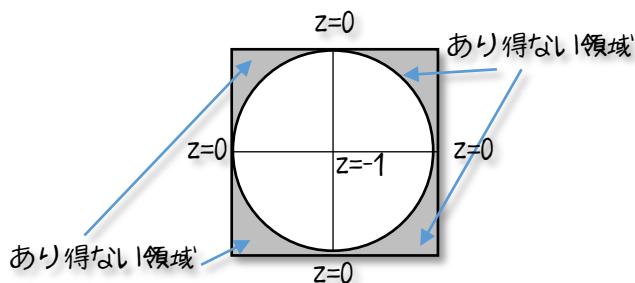
パラメータが別々であってもレジスト番号被ると許されません。

ところでスフィアマップって何者なのかっていうと



こういうやつで

周囲を反射しているような感じのマップになります。これが乗算と加算とあるんですが、
スフィアマップのテクスチャは図のように、正方形の領域に内接するように書かれた円の形
をしています。



そしてモデルにおける法線ベクトルを (nx, ny, nz) とすると、正規化済みのため
 $nx^2 + ny^2 + nz^2 = 1$ が成り立っています。

もし、 $z=0$ で法線が完全にそっぽを向いていたとしても $nx^2 + ny^2 = 1$ が成り立つはずです。

つまり円です。更に言うと $z \neq 0$ 以外の実数であれば xy は円の内部になるはずです。
つまり、法線の xy を uv に使用しても円の外側に出ることはないと見た目おかしくはない
のです。ただしこのやり方は簡易版なので、



つやつやしてるけどなんか変。

より正解に近くするにはきちんと、視線の反射ベクトルを作つて…

```
float3 vray = data.pos - eye; // 視線ベクトル
vray = reflect(vray, data.normal); // 視線の反射ベクトル
vray = normalize(vray);
color += spa.Sample(smp, vray.xy / 2 * float2(1, -1) + float2(0.5, 0.5)).rgb;
```

のようにします。

で、これでも正確ではなくて、実は data.pos は(-1~1,-1~1,0~1)空間に正規化されているため、きちんとした「視線ベクトル」を得たければ Camera および Projection 行列をかけず、ボーン行列とワールド行列のみをかけるための origPos ってのを作ります。作るときに注意点ですか…

```
struct Output {
    float4 svpos:SV_POSITION;
    float4 pos:POSITION0;
    float4 origpos:POSITION1;
    float3 normal:NORMAL;
    float2 uv:TEXCOORD;
};
```

POSITION 系が2つあるので、ひとつずつ 0,1 を末尾につけてください。セマンティクスに同じのがあるとコンパイル通らないようです。

```
output.origpos = mul(m, pos);
pos = mul(mul(viewproj, m), pos);
こんな感じに、分けておきます。で、視線ベクトルは
float3 vray = data.origpos - eye;
vray = normalize(vray);
```

とします。

この vray を元に

```
vray=reflect(vray, data.normal);
color += spa.Sample(smp, vray.xy * float2(0.5, -0.5) + float2(0.5, 0.5)).rgb;
のようにします。
そうすれば
```



こんな感じに

イイ感じにハイライトが入ります。

うーん。ちょっとこれ間違ってるっぽかった。やっぱりツヤツヤすぎるし…と思って、色々と調べていたらひとまず法線の xy を uv として利用するところまでは正解なんですが、そのままだと視線と関係がない事になる。

どうするのかと言うと、法線をカメラ変換したベクトルを持っておいて、それを元に UV を決定すればいいみたいですね。つまり

頂点シェーダで

```
output.cnormal = mul(view, normal);
```

てな感じでやっておいて、ピクセルシェーダで

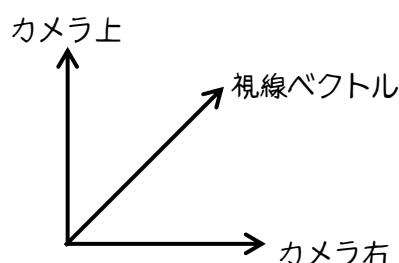
```
float2 spuv = float2(0.5, -0.5) * (input.cnormal.xy + float2(1, -1));
```

としこの uv を使うというわけです。そうすれば視点にも追ってくるし一件落着。

…してなかった。学生さんの指摘で、平行移動すると不自然になるという指摘がありました。

そりやそうだ。カメラの向きだけ考慮しているのでそれは不自然になりますわ。

ということで、もうちょっと真面目にやる。言うたらピクセルシェーダでカメラ行列的な事をやります。簡単に言うとカメラ座標系が

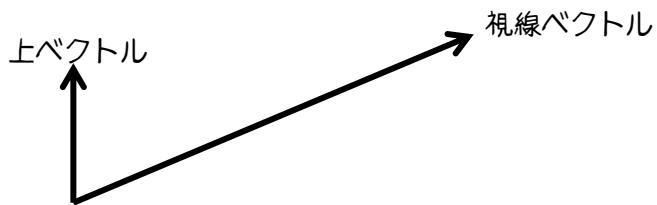


こういう風になっているとして、法線ベクトルをカメラ右ベクトルと上ベクトルでできてい

る平面に投影して、その投影をそれぞれ UV に使用するというものやね。

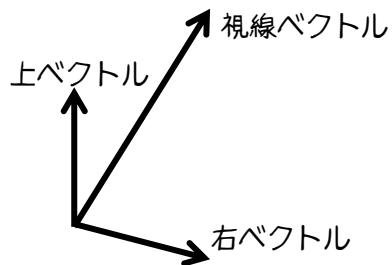
ちなみにええ機会やから言うとくけど、カメラ行列作るときの LookAtLH におけるあの「上ベクトル」は結構テクニカルなんやで

カメラ行列作るときは視線ベクトルとは直交しなくてもいい「なんとなく上ベクトル」なんや。



つまり真横から見てこういう状況になってると思ってくれ。これでは「座標系」にはならない。要素を構成する全てのベクトルが直交しているべきなのだ。では上ベクトルには意味がないのかと言うと重要な意味がある。

視線ベクトルと上ベクトルの外積を取ることによって、この二つに直交するベクトル「右ベクトル」ができます。

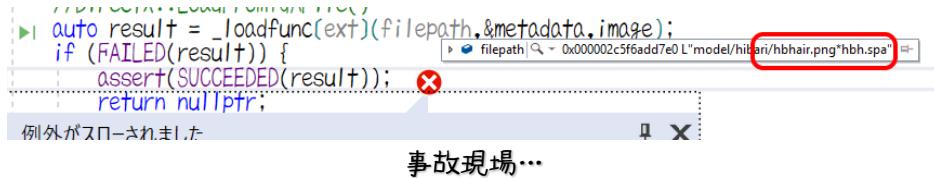


上ベクトルだけが直交しない状況ですが、右ベクトルと視線ベクトルの外積で

混在しているときー!!

通常テクスチャとスフィアマップが混在している時があります。どういう風に混在しているのかと言うと*アスタリスクで分かれます。もし*を見つけたら、それを元に分割する必要が出てきます。

ちなみに上げておきますが『hibari』というキャラがそうです。悶乱カグラの雲雀ちゃんなんですが、こいつを読み込むうとするとぼくのところではアサート落ちします。



```

auto result = _loadfunc(ext)(filepath,&metadata,image);
if (FAILED(result)) {
    assert(SUCCEEDED(result));
    return nullptr;
}

```

例外がスローされました。

事故現場…

ご覧のようにファイル名が『hbhair.png*hbh.spa』となっています。

いちおう一度に spa+spa とかになることはないので、それほど難しくもないかと思います。
*でセパレートされているという事はパスの数は『*の数+1』ですね？

この辺は『知ってるかどうか』で手間がだいぶ変わってくるが最短距離で行きましょう。
count というのを使用します。

<https://cppref.jp.github.io/reference/algorithm/count.html>

これは勿論文字列と『文字』にも適用できます。まあへいぶつちやけ、ここはカッコイイことしなくてもいいと思います。

あとちなみに、これ、雲雀モデルだけなのかどうか知らないのですが、PNG が RGBA ではなく BGRA になっています…しかも肌の色だけ。



これ原因がわからずに苦労した…

というわけで、~~癌急処置的ですが読み込んで WriteSubresource する前に~~

```

uint8_t*p=image.GetPixels();
if(metadata.format==DXGI_FORMAT_B8G8R8A8_UNORM){

```

```

auto pixelssize = image.GetPixelSize();
for (int i = 0; i < pixelssize; i += 4) {
    std::swap(p[i + 0], p[i + 2]);
}

```

~~コーディングだけ見たらあっさりやけど、ここに至るまでに頭脳がワヤになってて、凡ミスに気付かずには死んでた。~~

某学生の指摘で metadata の format 使えばえんちゃいますのん? というのがあります
ロード時に

```
D3D12_RESOURCE_DESC resDesc = {};
```

```
resDesc.Format = metadata.format;
```

としておいて、これだけだとビューアと合わなくなるので、ビューア作るときに

//通常テクスチャビュー作成

```
D3D12_SHADER_RESOURCE_VIEW_DESC srvDesc = {};
```

```
srvDesc.Format = DXGI_FORMAT_R8G8B8A8_UNORM;
```

と書いちやってた部分を…

```
srvDesc.Format = texbuff->GetDesc().Format;
```

としましょう。

あとはロード時はこうだ。みなまで書かんぞ? 頭使え

//混在しているかチェック

```
auto splittercount = std::count(fname.begin(), fname.end(), '*');
```

```
size_t startIdx = 0;
```

```
for (int i = 0; i < splittercount + 1; ++i) {
```

```
    auto splitterIdx = fname.find('*', startIdx);
```

```
    splitterIdx = splitterIdx == std::string::npos ? fname.length() : splitterIdx;
```

```
    auto path = fname.substr(startIdx, splitterIdx - startIdx);
```

```
    startIdx = splitterIdx + 1;
```

```
    if (path.length() > 0) {
```

//拡張子抽出

```
        size_t spos = path.rfind(".") + 1;
```

```
        if (spos == 0) continue;
```

```
        auto ext = path.substr(spos, path.size() - spos);
```

```
        path = folder + path;
```

頭ワヤ状態で書いてるんでちょっと気に入らんコードになってしまふけどな。

これ以上拘泥するわけにもいかん。

補足

なんか分からんというご意見がありましたので、一応いくつか解説しておきます。

とりあえず、拡張子によって読み込む関数を変更する部分ですが少し細かく解説します。まず

```
map<string, function<HRESULT(const wchar_t*, TexMetadata*, ScratchImage&)>> _loadfunc;
```

こういうのを作りました。

以前にも使いましたが、ここでのポイントは function です。functional に入ってます。

```
function<戻り値型(引数型 1234...)>
```

というのは、関数オブジェクトを受け取るために用意されたテンプレート型です。こいつが何を受け取れるかと言うとラムダ式です。

そしてマップ…つまり分かれますね？

拡張子をキーとした連想配列内に実行すべき関数オブジェクト(ラムダ式)が入ったテーブルを作りたいわけです。

そしてつまるところ

```
_loadfunc("spa") = _loadfunc("sph") = _loadfunc("jpg") = _loadfunc("png") =
_loadfunc("bmp") = ()(const wchar_t* filepath, TexMetadata* metadata, ScratchImage&
image)->HRESULT {
```

```
    return LoadFromWICFile(filepath,
                           0,
                           metadata,
                           image);
};
```

```
_loadfunc("tga") = ()(const wchar_t* filepath, TexMetadata* metadata, ScratchImage&
image)->HRESULT {
```

```
    return LoadFromTGAFfile(filepath,
                            metadata,
                            image);
};
```

ちなみに戻り値のあるラムダ式の書き方は
(クロージャ)(引数)->戻り値{内容};

という書き方になります。覚えておきましょう。呼び出し側ですが、

```
auto result = _loadfunc(ext)(filepath,&metadata,image);
assert(SUCCEEDED(result));
```

こんな感じでテーブルから呼び出したラムダ式を実行するように書いておけばOK

次に言うまでもないと思いますが、黒テクスチャの作り方を書いておきます。黒テクスチャは白テクスチャと同じように作ります。ただ、中に入れる色が違うだけです。

```
struct Color {
    Color() :r(0),g(0),b(0),a(0) {}
    Color(unsigned char inr, unsigned char ing, unsigned char inb, unsigned char ina) :r(inr),g(ing),b(inb),a(ina){}
    unsigned char r, g, b, a;
};

std::vector<Color> data(4 * 4);
std::fill(data.begin(), data.end(), Color(0,0,0,0xff));
僕はこういうやり方をしていますが、別にfor文で3つ0で最後0xffでも構いません。
```

カリングしないようにしましょう

ついでと言っては何ですが、ちょっと靈夢さんを後ろから見てみましょう。

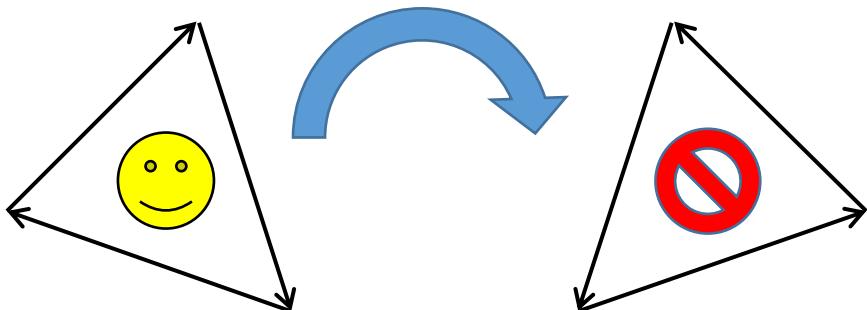


なぜリボン(?)が透けているのだろうか?

DirectXでは、処理効率向上のためにラスタライザが「裏面を描画対象としない」ようになっています。これは正しいんです。「どうせ見えない」裏面まで書くのはもったいね。

一応どちらを表面にするのかのルールはあって、特に設定しない場合は頂点の順序が時計回りの時が描画すべき面で、逆に反時計回りの面は描画しない面となります。

例えば、ある面が時計回りだとして、それを反対から見たら反時計回りになりますよね？



反時計回りなら描画しないようになってるわけ。これを「背面カリング」というんだ。ところがMMDはそもそもゲーム向けというわけではなく、映像制作のための物なんだ。というわけで背面カリングなんて無視しても別にいいという思想なわけ。だからカリングありの設定で靈夢さんを表示しようとすると先ほどの画像のようになるわけ。

で、何処をいじるのかと言うと、パイプラインステートの中にRasterizerStateってのがないかな？

その中にCULLMODEってあるから、そいつに対して、カリングしないよという設定を行う。

```
gpsDesc.RasterizerState.CullMode=D3D12_CULL_MODE_NONE;
```

こうすれば後ろから見ても



この通り。リボンが消えたりしていないと思います。

簡単でしたね。

トゥーン!!

ちょっと例年と流れを変えて、先にトゥーンレンダリングやってみましょう。日本人が大好きなトゥーンレンダリングです。



海外のCGアニメ

そして



日本のCGアニメ

もう好みが分かれている事がお分かりだろう!!! 秘密はトゥーンだ!!! ちなみに俺は↑の海外の奴も好きやで。最近海外アニメもエロティシズムがそこはかとなく出てきていいと思う。まあトゥーンじゃないけど日本のCGは



エロいと思います!!!

茶番はこれくらいにして、そもそもトゥーンとは何か?

トゥーン(toon)ってのはもともと cartoon の略記で、いわゆるアニメの事やな。

そもそもMMDと自分のレンダリングの違いを見てみたら違うのがわかるでしょ?



ここまでレンダリング

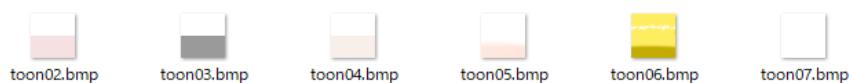


トゥーンレンダリング

な~んか、陰影がぶつ飛んでるのが…分かるだろう?でも完全に飛んでるわけでもなさそう…そう、トゥーンレンダリングってのは、手法は色々あるんですが、まとめて言うと、こういう、言い方は悪いですが、のっぺりしたレンダリングにするレンダリングをトゥーンレンダリングっていうのです。

MMDにおけるトゥーンの実装手法

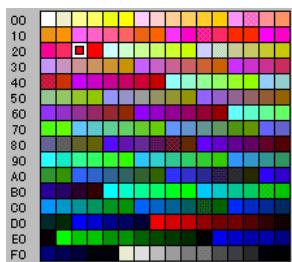
MMDではカラールックアップテーブルという手法を用いてトゥーンを実現しています。
MMDの中身のDataというフォルダの中を見てもらうと



こういうデータがあると思うんですね。これとりあえずtoonってフォルダ作って、そこに入れているという事にして話を進めます。

で、上のビットマップたちの何がトゥーンなのかという話ですが、いわゆる「カラールックアップテーブル」という手法を使っています。

どういうことがというと、GIF画像や一部のビットマップは「パレット」というデータを持っていて、



こういう感じの「使用するカラーが並んでいるテーブル」になっています。プログラムで言うと

```
vector<Color> _palette;
```

みたいな感じです。ちなみに言っておくと MMD のデフォルトのそのカラーマップは 32x32 しかなくて、しかも有効なのは縦方向だけなので、どう考えても粗いと思うんですね。アレかな? バイリニア補間されることを想定しているのかな?

ともかくこの画像を使って何をするのかというと、例えば明るさは $\cos \theta$ に比例するので、連続的です。連続的であるがゆえに



このような見え方になるんですね。日本のアニメのセルっぽいのは色々とありますが、パキッとした色の変化が特徴です。

ということで、どうするのかというとランバートの結果

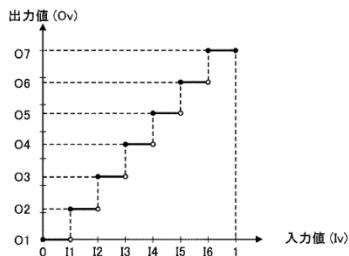
こんな感じの色の変化になっているものを
例えば

のようにしたいと考えます。いわゆるポスタリゼーションですね
C 言語プログラムのまま考えると恐らく4つの領域として if 文で範囲を指定して色を決めるというやり方が考えられますね?

このやり方のデメリットはハードコーディングになってしまい、外から調整できないというのと、シェーダの場合には if 文が結構なボトルネックになってしまうという事です。ということで何を考えるのかというと、上のもともとの明るさを 0~255 の値という事にします。

で 0~255 を持ってきて 000000001111111222222233333333 のような感じの配列のインデ

ックスとします。そうすれば先ほどの if 文的なことを「データ」として表現できます。ちなみにポスタリゼーションのグラフは



このようになります

こういう入力値と出力値のグラフの見方は可能な限りできるようになっておきましょう。横軸が入力値で、縦軸が出力値です。本来なら $y=x$ のグラフのように斜めの直線になるべきなんんですけどね。

ちなみに MMD のデフォルトトゥーンは



という具合にかなり極端なテーブルとなっています。ちなみにカラールックアップテーブルは略して CLUT っていう事もあるので、資料とか探すときの参考にしてください。

とりまトゥーンを読み込もう

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/ea0bb1b1d4c6ad98a93edbfe359dac32

に書かれていますが、ちょっと妙な並びになっています。

01なら0番で02なら1番で登録されています。面倒ね。ちなみに00番は0xff…-1ってことかな?(ないんですけど)まあいたんミクさんで試してみましょう。

普通にテクスチャロードする時に一緒に読み込んでください。ただし同じ奴をロードしたくはないので重複しないように工夫します(たいていのマテリアルはトゥーンテクスチャが重複しています)

あと、トゥーンに関してはファイル名が直接記載されているわけではなく、インデックスのみが記載されている状態です。数値を特定のフォーマットの文字列として使用するには…。C 言語ならば `sprintf` を使用しますね? いちいち使い方書きませんよ? 分からないなら自分で調べてください。

なお、僕は stringstream を使用します。実は以前にも使用していましたが覚えてますかね？

ああ、そういえばこれ普通のテクスチャにも適用すべきだったかなと思うんでリファクタリングの際にでも改善しておいてほしいのですが、テクスチャのパスが同じ奴はバッファ共用しといてビューダけはマテリアル数分用意するって感じで。

以前にやった map を使用してうまいこと読み込み処理を軽減してバッファ消費も少なくしていきましょう。

う~ん。そう考えていくと以前に設計したテクスチャバッファとビューが1対1っていうのがもう無理が出てきましたね(ブラックとホワイトの時点で破綻してましたが)

まあいいや。最初から正解ってのは無理なんだよ(;ω;)とはいえた定数バッファは1対1でいいんじゃないかなとは思ってる。

いつものようにパスをキーにバッファオブジェクトへのポインタを値としてね。

map<string,Dx12TexBuffer>

だよ言わせんな恥ずかしい///

あとはいつも通り…多分レジスタ3番で大丈夫だろう。

既にある(デスクリプタ)ヒープに追加のビュー(デスクリプタ)作って→ルートシグネチャ書き換えて→描画時のハンドルをさらに進めて…

シェーダ側

レジスタ+3番に登録しているとして、

Texture2D<float4> clut:register(t3);

とりあえずディフューズで得た brightness をインデックス(uv 値)としてトゥーンマップを適用する。PMD のトゥーンはちょっとどうかと思うが、上から下に暗くなっていく感じだ。つまりそのままやれば brightness 値が高い方が暗くなってしまう。

よって反転させる。値の反転はどうするかわかるかな？これは知っておこう。V という数値が

あつたとして、シェーダ上でそれを反転させるには $1-v$ である。わかるかな？ $0 \sim 1$ の範囲が $1 \sim 0$ になるやろ？

というわけで

```
clut.Sample(smp, float2(0, 1 - brightness))
```

を `brightness` の代わりに乗算すればいい…かな？とりあえず試してみよう。

実装

トゥーン指定がない部分もあるので、そいつに関しては `GradationalTextureBuffer` を用意しておこう。普通に $y=x$ で $0 \sim 255$ ($0 \sim 1$) が $0 \sim 255$ ($0 \sim 1$) に変化する奴でいいです。

で、インデックスを調べて実際にあればその画像を使用してトゥーンしなければ `GradationalTextureBuffer` を使用します。

つまり

```
void Dx12Wrapper::CreateGradualationalTextureBuffer() {
    _gradTexBuff = _buffMgr->CreateTextureBuffer("sample", 4, 256);
    struct Color {
        Color() : r(0), g(0), b(0), a(0) {}
        Color(unsigned char inr, unsigned char ing, unsigned char inb, unsigned
              char ina) : r(inr), g(ing), b(inb), a(ina) {}
        unsigned char r, g, b, a;
    };
    std::vector<Color> data(4 * 256);
    auto it = data.begin();
    unsigned char brightness = 255;
    for (; it != data.end(); it += 4) {
        std::fill_n(it, 4, Color(brightness, brightness, brightness, 0xff));
        --brightness;
    }
    auto result = _gradTexBuff->WriteToSubresource(0, nullptr, data.data(), 4 *
        sizeof(Color), data.size() * sizeof(Color));
    _cmdList->Close();
    ExecuteCommand();
    WaitExecute();
}
```

```

    _cmdAlloc->Reset();
    _cmdList->Reset(_cmdAlloc.Get(), nullptr);
}

こうしておいて

std::string
Dx12Wrapper::GetToonPathFromIndex(std::string& folder, int idx) {
    std::ostringstream os;
    os << "toon/toon" << std::setw(2) << std::setfill('0') << idx+1 << ".bmp";
    return os.str();
}

こういうの作っておいて

if (pm.toon_index != 0xff) {
    auto toonfilepath = GetToonPathFromIndex(folder, pm.toon_index);
    _toonBuffers(idx).reset(_buffMgr->CreateTextureBufferFromFile("sample",
StringToWString(toonfilepath).c_str(), "bmp"));
}

```

あとはいつも通りヒープ増やしてビュー作ってルートシグネチャ設定して…

```

descHeapDesc.NumDescriptors = mats.size() * 5;
(中略)
//トゥーン
texbuff = _gradTexBuff;
if (_toonBuffers(idx)) {
    texbuff = _toonBuffers(idx)->GetResource().Get();
}
srvDesc.Format = texbuff->GetDesc().Format;
_dev->CreateShaderResourceView(texbuff, &srvDesc, handle);
handle.ptr += heap_increment_size;
(中略)
// "t0~3"もつくるぞー
descTb1Range(2).NumDescriptors = 4;//
(中略)
mathandle.ptr += increment_size*5;
こんな感じですかね。

```

hlsl では

```
float4 toon = clut.Sample(smp, float2(0, 1.0-brightness));
(中略)
float4 matcol=float4(saturate(toon.rgb*diffuse.rgb + specular.rgb*spec + ambient.rgb),
diffuse.a);
こんな感じですかね。
```

結果として

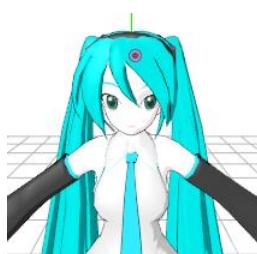


ちょっと白すぎませんかね?

となるが、MMD の設定を同様にすると…



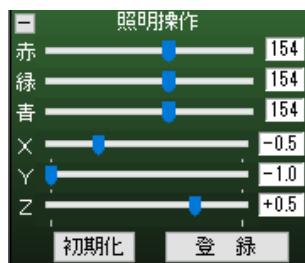
今の状況はフル環境光と(1,-1,-1)だから



こうなります

そんなに変わらないような気もする。輪郭線はまだつけられないのに、差っ引いて考えるとこんなもんじゃないかな。

逆に MMD のデフォルト設定に合わせると



こういう風になってるから



うーん。MMDと比較するとまだ色合いが違うんだよねえ。



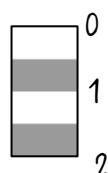
一応、照明の強さは全要素(Diffuse Ambient Specular)に関係するようなので、全部に乗算してみた。



色合いはマシになってきたけど、まだ違うなあ
ていうか、暗いし、色がくすんじゃってるんだよねえ…。

あと、ちなみにアドレッシングモードを WRAP にしてるとちょっと問題が発生します。
UV の $1.0=0.0$ であるため、 1.0 のつもりが 0.0 の色もしくは中間色が出たりします。これをなくすために少なくともトゥーンのサンプラーに関しては CLAMP にしておいてください。

理由は WRAP にしてると $0\sim1$ の範囲を超えた時に「繰り返し」であり、



こうなっているのと同義であり
ちょうど1の時は0と1の中間色あたりが出てしまい、色の変化がおかしなことになります。

そういえば…

そういえばトゥーンのファイル名 toon+00.bmp ってな感じにしていましたが、PMD のファイルをよく見ると後ろの方に

こういうファイルがありました。

toon_file_name[0]	74 6F 6F 6E 30 31 2E 62 6D 70 00 FD FD FD FD FD FD toon01.bmp
toon_file_name[16]	FD
toon_file_name[32]	FD
toon_file_name[48]	FD
toon_file_name[64]	FD
toon_file_name[80]	FD
toon_file_name[96]	FD
toon_file_name[0]	74 6F 6F 6E 30 32 2E 62 6D 70 00 FD FD FD FD FD toon02.bmp
toon_file_name[16]	FD
toon_file_name[32]	FD
toon_file_name[48]	FD
toon_file_name[64]	FD
toon_file_name[80]	FD
toon_file_name[96]	FD
toon_file_name[0]	74 6F 6F 6E 30 33 2E 62 6D 70 00 FD FD FD FD FD toon03.bmp
toon_file_name[16]	FD
toon_file_name[32]	FD
toon_file_name[48]	FD
toon_file_name[64]	FD
toon_file_name[80]	FD
toon_file_name[96]	FD FD FD FD
toon_file_name[0]	74 6F 6F 6E 30 34 2E 62 6D 70 00 FD FD FD FD FD toon04.bmp

あるやないけ!!!

つまりトゥーンテクスチャ名は文字操作でやつるんじゃなくて、きちんとテーブルを用意してくれているわけだ。

じゃあさっそくこのデータを使おう。ただこのデータは後から追加された仕様なのかなり遠い。

今、マテリアルまで読んでるので→ボーン情報→IK 情報→モーフ(表情)情報→表示枠情報
 (エディタに必要な部分なんぞ気にしなくていい!)→ボーン枠名(エディタ用)→ボーン枠表示
 (エディタ用)→英語情報→ボーン英語情報→表情英語情報→表示英語情報
 ときて、やっとトゥーンファイル名に来ます。遠い!!!!遠いよ!!!!

一旦、この間のデータゼーんぶすつ飛ばして読み込みます。

ああ～、ただただ不毛で面倒なんじゃああああ～

//ボーン

```
unsigned short boneNum=0;
fread(&boneNum, sizeof(boneNum), 1, fp);
//いつたんすつ飛ばす(39バイト…またけったいな)
fseek(fp, boneNum*39, SEEK_CUR);
```

//IK

```

unsigned short ikNum=0;
fread(&ikNum,sizeof(ikNum), 1, fp);
//モチロンすっ飛ばす
for(int i=0;i<ikNum; ++i){
    fseek(fp,4,SEEK_CUR);
    unsigned char ikchainNum;//ぶつ殺すぞ
    fread(&ikchainNum,sizeof(ikchainNum),1,fp);
    fseek(fp,6,SEEK_CUR);
    fseek(fp,ikchainNum*sizeof(unsigned short),SEEK_CUR);
}

```

//表情

```

unsigned short skinNum=0;
fread(&skinNum,sizeof(skinNum), 1, fp);
//当然の権利のようにすっ飛ばすで
for(int i=0;i<skinNum; ++i){
    fseek(fp,20,SEEK_CUR);
    unsigned int vertNum=0;
    fread(&vertNum,sizeof(vertNum),1,fp);
    fseek(fp,1,SEEK_CUR);
    fseek(fp,16*vertNum,SEEK_CUR);
}

```

//表示用表情

```

unsigned char skinDispNum=0;
fread(&skinDispNum,sizeof(skinDispNum),1,fp);
fseek(fp,skinDispNum*sizeof(unsigned short),SEEK_CUR);

```

//表示用ボーン名

```

unsigned char boneDispNum=0;
fread(&boneDispNum,sizeof(boneDispNum),1,fp);
fseek(fp,50*boneDispNum,SEEK_CUR);

```

//表示ボーンリスト

```

unsigned int dispBoneNum=0;
fread(&dispBoneNum,sizeof(dispBoneNum),1,fp);

```

```

fseek(fp, 3 * dispBoneNum, SEEK_CUR);

//英名
//英名対応フラグ
unsigned char englishFlg = 0;
fread(&englishFlg, sizeof(englishFlg), 1, fp);
if (englishFlg) {
    //モデル名20バイト+256バイトコメント
    fseek(fp, 20 + 256, SEEK_CUR);
    //ボーン名20バイト*ボーン数
    fseek(fp, boneNum * 20, SEEK_CUR);
    //((表情数-1)*20バイト。-1なのはベース部分ぶん
    fseek(fp, (skinNum-1) * 20, SEEK_CUR);
    //ボーン数*50バイト。
    fseek(fp, boneDispNum * 50, SEEK_CUR);
}

std::array<char(100),10>toonTexNames;//固定
fread(toonTexNames.data(), sizeof(char) * 100, toonTexNames.size(), fp);

```

ここまで書けば toonTexNames にトゥーンファイル名が並んであるはずです。いやお前これ、ホンマ不毛やったで。とっととコピペでもなんでもすればいいじゃなれ!!!!ここまでやったんやから、文句言うのは許さへんからな…とっととやれ。

で、とりあえずルールとしてはトゥーンのフォルダを最初に探し、そのファイルがなかったらモデルフォルダを探しに行くという仕様のようなので

```

#include<Shlwapi.h>
#pragma comment(lib,"shlwapi.lib")

std::string
Dx12Wrapper::GetToonPathFromIndex(const std::string& folder, int idx) {
    std::string filename = _model->ToonTexNames()(idx);
    std::string path="toon/";
    path += filename;
    if (PathFileExistsA(path.c_str())) {

```

```

        return path;
    }else{
        return folder + filename;
    }
}

```

こんな感じにします。ちなみにいちいちオープンとかしたくなかったので,FileExists 関数を使っています。

補足

ちなみにここまでやってきて,MMD と画角と光源を合わせて描画しても



僕プログラム



MMD

こんな風に見え方がかなり違うんですよね。輪郭線はともかくとして、陰の入り方、色合いが違いますよね？

MMD はランパートで陰影しない可能性が微レ存…?

微粒子レベルどころか普通にランパートじゃないっぽいんですけどね。一応『MMD ランパート』で検索しても

<https://www.google.co.jp/search?q=MikuMikuDance+%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%90%E3%83%BC%E3%83%88&ei=v4jGW5fzFJrk-Aa5iZyYCA&start=10&sa=N&biw=1591&bih=819>

ハーフランパートの話しか出てこないですねえ…。

そこで、某学生からこういう情報が入ってきた。

『明るさを角度で計算してるっぽいっすよ』

なん…だと？

いやいや、力言ってんじゃねえよお前そんなんじゃランパートさん涙目だぞ？

でもやってみよう

float brightness = (dot(light, input.normal.xyz));

brightness = saturate(1-acos(brightness) / pi);



どういうことなの?

まあかなり MMD はセルっぽく見せるために工夫というか特殊な事をやってるっぽいですね…
コロレハ色合いがまだ合ってませんが。

さらにガンマ補正がどうこう言ってたのでちょっとやってみる。今のレンダーターゲットは
RGBAだから計算結果を SRGBだと仮定して結果を 2.2 乗してみる。

<http://tech.cygames.co.jp/archives/2339/>

col = pow(col, 2.2);



最初の白いのよりかはマシだけど…

なんか黄色くないですか?ちょっと GGXrd の質感に近いような気がしなくもない。
とりあえずトーンに関してはこの辺にしておきましょう。キリがない…

ところで…

まつたく話は変わるんですが、PhysicallyBasedRendering の著者が内容をフリー公開しました。

<http://www.pbr-book.org/>

喜べ!!! 日本円にして 1 万円超えの書籍が無料公開だぞ!!! ホンマなんなの!!! 書籍かつた俺涙目!!! 涙が出ますよ。

そして Web 版公開という事は、さ、さらに!!!

Google 翻訳を利用しまくれるっていう事!!!! マジかよ!!!

ちまちま翻訳作業してた俺!!!! ホント涙目!!!! どういうことなの!?

あと、まったく違うけど面白い記事(技術系ではなく、これから生き方の話)見つけたので

<https://oreno-yuigon.hatenablog.com/entry/2018/10/14/225052>

難しい文章ではないので読んでおくといいと思います。そういう観点で周りの人たちを見てみましょう… センセーでも保護者さんでも親戚のおっさんでも、そこらへん歩いてるおっさんでも見ながら… どうですかね… まあホント。… 少しづつでいいから頑張っていかんとな!!!

人間止まらなければ成長します。実力がなくても進み続けていれば少しずつでも良くなっていくので進み続けましょう。

止まるんじゃないぞ



リファクタリング②

とりあえずここまで表示までの流れがつかめたと思うのでいったんリファクタリングしましょう。

ぼくは以前の設計がちょっと合わないことに気づいたのでちょっとその辺を修正します。また、ノリでドウンドゥン書いてたら Wrapper がやたら長くなつたため(1200 行くらいになつた) そこもどうにかしたい。

で、ここまでだいぶ自分の力量も上がったと思いますが、そのぶんコードの量と複雑さも跳ね上がっていると思います。下手にリファクタリングするとすぐに動かなくなると思いますので、ここまで動いている時点ではまずは「コミット」しておいてください(自分一人でやる分には「プッシュ」まではいらないです)

「設計」とかは「慣れ」がある程度必要なので、いきなり完成形を目指さないでください。でも、とりあえず気を付けるべき点は

- 1つの関数が長すぎないか
- 1つのファイル(クラス)が大きすぎないか
- 関数に2つ以上の役割を持たせてないか
- 変数、関数の名前は適切か?(スペルミスないかチェック)
- 変数、関数の名前に統一性はあるか(CamelCase, snake_case の区別はついてるか)
- ネストが深すぎないか
- 同じようなコードの塊が偏在していないか?(関数化しろよ)
- 変数のスコープが明確になっているか?
- ヘッダファイルのパブリック関数宣言に使い方が書かれているか
- switch 文がないか(笑)
- 他人に見せられないコードになってないか?
- 自分が書いたコードの意図を他人に説明できるか?

それ以外のルールはあまり気にしません。あまりやると宗教戦争じみたことになります。コーディング規約はプログラマを縛るものではありません。

何度も言うようですが、リファクタリングする時は動作確認しながらちまちまやってください。

ポージングしようゼエ…(いいズエ…)



何気ないポージングが…↑ ポーズ(A ポーズ)先生を傷つけた…。

ついにきましたポージング。まあ今までの話も十分ややこしかったけど、ここからはアルゴリズム&数学的にややこしい。

概要

ボーンとはいったい…

ボーンと言うのは「骨」です。Blender で言うとアーマチュアです。ボーンと言う名前は本当に良くつけたなと思います。割とイメージ通り。ただ、太さの無い骨…いや『実体のない骨』『計算上の骨』とでも思っておいてください。MMD でいうと



上の図における② の集合体の事です。言うたら関節の座標を起点としたベクトルの集合体という事です。

実際に MMD のボーンを回転させれば分かりますが、回転操作をすると関節を起点としてそこから先のパートが回転します。

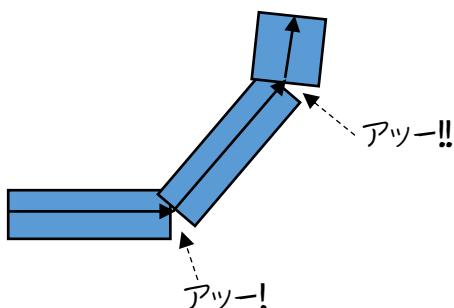
ただ、ボーンのしくみだけでは肉と骨が分離してしまいますので、ここでもう一つの仕組みが必要なのです。

要はボーンに肉を運動させるそういう仕組みです。

スキニング(スキンメッシュアニメーション)

肉を骨に運動させることをスキニングと言います。スニーキングではないので間違えないようにお願ひします。

まあ、実は昔のゲームでは肉は運動してたけど「皮膚が伸びない」という状況だったんですね

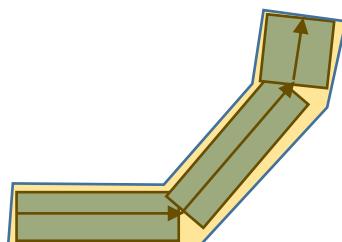


こういう状況になっていました。バーチャファイター2くらいまではこれだったんですが、職人さんが切れ目を見せないよう工夫してたので気になりませんでしたが…今は本当にびっくりするくらいに人間のように皮膚がくっついてきていますよね？



今では当然のように見えますけど、「スキニング」というのがない時代はロボットみたいになつたんですね。

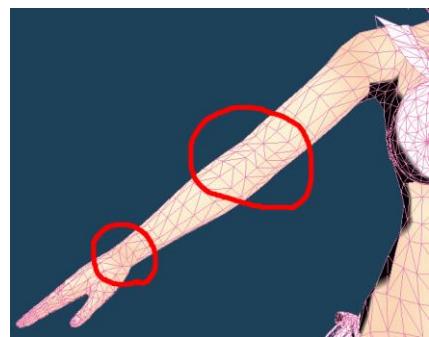
で、今ではさつきの切れ目がある図の重なっている部分および分離している部分をイイ感じに補正(重みづけ乗算)して



こんな感じにして切れ目をなくしています。当然ながらカクカクしてしまうので実際にはモーテリングの時点で関節部分のポリゴン分割数を多めにして、破綻が出にくくないようにしています。蛇腹ストロー(曲がるストロー)と同じ原理ですね。



蛇腹(分割数が多い)になってるからスムーズに曲がる



実際にモデルを見ても関節近辺で分割数増やしてるのがわかります
んで、この関節曲げをスムーズに見せるために、「ウェイト」というのを各頂点に設定しどのボーンからどのくらいの影響を受けるのかを全頂点に対して、設定しておきます。

その関節に近い部分は2つ以上のボーンの影響を受けることになるわけです。

ちなみにそのデータが、頂点データにおけるボーンウェイトに当たります。

vertex[36].pos[0]	3FA6978E 4073E5C8 3EC85879
vertex[36].normal_vec[0]	3E9F0401 3E65D180 BF6C75D7
vertex[36].uv[0]	00000000 3F800000
vertex[36].bone_num[0]	0010 000F
vertex[36].bone_weight	46
vertex[36].edge_flag	00
vertex[37].pos[0]	3FB872A 4093999A 3F19B3D1
vertex[37].normal_vec[0]	3EB8A54 3E0FC2D7 BF6C12B7
vertex[37].uv[0]	00000000 3F800000
vertex[37].bone_num[0]	0010 000F
vertex[37].bone_weight	28
vertex[37].edge_flag	00
vertex[38].pos[0]	3FB06F6A 409449BA 3F281062
vertex[38].normal_vec[0]	BFF02E3A 3E992F2E BF4FF0D9
vertex[38].uv[0]	00000000 3F800000
vertex[38].bone_num[0]	0010 000F
vertex[38].bone_weight	28

例えば37番頂点は0x10番ボーンと0x0f番ボーンから影響を受けるわけです。で、その割合がbone_weightで定義されており、100のウェイトをどう分けるかと言う計算になっています。

37 番頂点なら

16 番ボーン*40/100 + 15 番ボーン*60/100 と言った具合になっています。

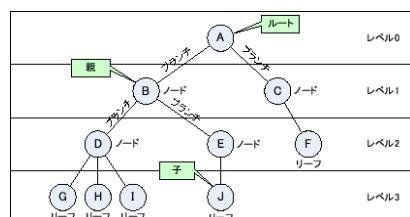
またここもけつたいため、float で設定して、+ と - にすりゃレル | のに変にけちりやがつて 1 バイトにして、100 分率でやっています。

…その反動か PMX では異様なくらいややこしいんだけどね…まあともかくそういうの頂点を動かすことによっていろいろな形にポージングしてくれるわけだ。

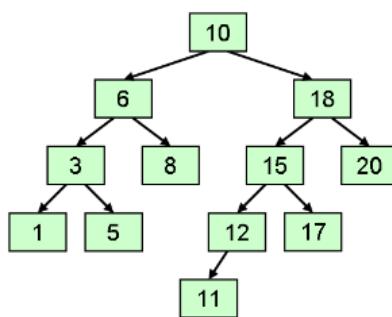
さて、これを実装していく前にちょっとしたアルゴリズムとデータ構造を知っておいてほしい。ツリー構造と再帰実行だ。

ツリー構造と再帰

普通に「アルゴリズムとデータ構造」だから基本情報を通ってる人は知っていて当たり前なんですかねえ…?



図う~くらいは見たことあるでしょ? 二分木なら見たことあるかな? バイナリソートで見たことあるよなあ?



まあいざれにせよ木構造(ツリー構造)ってのはな?

- 親子構成になっていること
 - 親 1 人に対して子供複数(兄弟がいる)
 - もちろん親 → 子 → 孫 → ひ孫 → と言う具合に何階層にもなっている
 - 親子はなんかしらのリンクで繋がっている(繋がり方は問わない)
 - 親は子を知る方法がある。子が親を知ってるかどうかは任意(場合による)
- こういう構造の事です。親と子のつながりが「1 対 1 以上」になってりやそりやツリー構造。もし「1 対 1」ならそりやリンクリストって話よ。

次にツリー構造をなめていく事を「トラバースする」って言うんですが、この時にただの登録順にやっていくんじゃアリストとか配列と変わらない。ツリー構造のアドバンテージを活かすのに適しているのが再帰である。

再帰ってのは非常に簡単な話で関数 Function があったとする。

そしてその関数は関数内の処理において自分自身を呼び出す。

```
void Function(){
    Function();
}
```

当たり前の話ですが、↑の状況だと「無限ループ」と同じになって帰ってきません。なお、while や for の無限ループと違ってそのうち「スタックオーバーフロー」を起こします。



であるため再帰処理を行う際には「継続条件(or 終了条件)」が必ずどこかで成立するように気を遣わないといけません。例えばこうします。

```
void Function(int a, int b) {
    std::cout << a << std::endl;
    if(a+b<100)//継続条件
        Function(b,a+b);
}

終了条件ならば
void Function(int a, int b) {
    if (b > 100) return;//終了条件
    std::cout << a << std::endl;
    Function(b,a+b);
}
```

と記述します。どっちでもいいです。必ず終了するようになってればね。

ちなみに↑の例ですと1方向にのみ進むのでツリーとは関係ないようですが、例えば

```
void Traverse(オブジェクト){
    for(auto& child : オブジェクト->Children()){
        Traverse(child);
    }
}
```

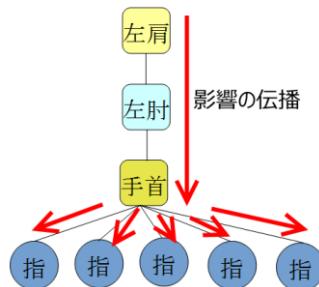
とやれば親子構造をきれいになめ回していくようになりますね?

ちなみにツリー構造と再帰処理は字句解析などにも使用されます。時間がある人は小手調べに

$$3+2*(3+6)*(4-2)+16$$

と言う文字列が渡されたら計算結果として 45 を出せるようなプログラムを書いてみてもらうとまあ色々と力がつくんじゃないかなあと思います。ただそれやり始めると終わらないので、土日にでもやつといてください。

まあそれはともかく何故ここでツリー構造と再帰の話をしたのかと言うと、ボーンの構造と言うのはツリー構造になっているからです。例えば左肩からですが…



子が一つでなく複数になっています。ちなみにツリーの実装ですが本当に色々なやり方があって、リスト的に作るなら

```
struct Node {
    (内容)
    Node* child;//子ノードへのリンク
    Node* sibling;//弟へのリンク
}
```

と言う風に作ります。

普通のリンクリストに「弟」が追加されただけです。ちなみに brother とか sister でもいいんですが、たいていの場合は sibling って単語を使います。どうでもいい事ですが「しぶりん」と発音します。



ほんとどうでもいいですねすみません

もしくは親が全子供を知っているパターン

```
struct Node {  
    (内容)  
    std::vector<Node*> children;//子供たちノードへのリンク  
}
```

子供が親を知っているパターン

```
struct Node {  
    (内容)  
    Node* parent;//親へのリンク  
}
```

PMDのボーンデータ構造がこれに当てはまります。ただ、プログラムで全部再帰的に動かそうとするとちょっと良くない構造に思えます。何故ならこれを効率的に行うためには全リーフ(ツリーの末端)がどれか知っておく必要があるからです。

だからやっぱり親→子への流れがいいかなーって思っています。

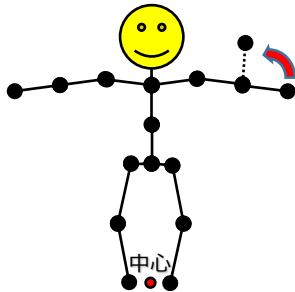
具体的にどういうやり方でポージングしていくの?

ここまで話でもピンと来てない人もいるかもしれないのでもう少し具体的な話をしよう。人体でもロボットでもそうなんですが、とにかく「骨」にあたる部分と言うのは伸び縮みしません。「俺の骨は伸び縮みするぞおーじょじょー!」とかいう人は言ってください。大学病院に売り飛ばします。ていうかそれもう骨ちゃうやろ…

ともかく「骨」と言っても結局は(伸び縮みしない)データにすぎません。どういうデータかというと骨にくつづいてる頂点を「回転」させるためのデータです。基本的にボーンと言うのは関節を中心とした「回転」しかしません。

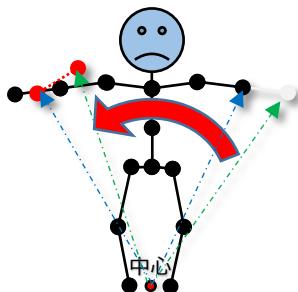
「拡大縮小」も「平行移動」もしません。さっきも言ったように骨は伸び縮みしないし、平行移動したらそりやお前…関節外れてますよね。

というわけで任意軸周りの回転情報が入っています。じゃあ 3×3 行列でいいのかと言うとそうでもなくて、

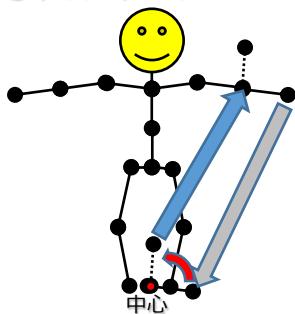


こいつの肘を曲げて前腕を動かしたいとする

そしてモデルの中心はたいていの場合股間の下の足元である。すると回転だけだと全ての回転がここを中心に行われることになり…



まあ割とえげつない事になります。棒人間だからいいけどこれモデルでやるとショック受けるで?なのでさっきみたいにことをやりたければ



ボーン起点を中心に平行移動→回転→ボーン起点を元の座標に移動

という操作が必要になります。このため結局 4×4 行列が必要になります。また、ボーン起点とか言うてますけれども、この起点も親関節が曲がっている場合はそれを考慮してあげないといけなくなります。

つまり…例えば肩→肘→手首という構造になってるなら

(※平行移動⇒回転⇒戻し移動をとりあえず「回転」と呼ぶと)

肩：肩回転

肘：肩回転*肘回転

手首：肩回転*肘回転*手首回転

と言う風に末端に行けば行くほど親の影響を受けまくります。当然ですね?

まあ、ともかく面倒くさいので、この面倒な回転行列によって、頂点の座標を変換していくわけですが、スキーリングで説明したように、ウェイトで行列の乗算具合を調整します。つまり例えば肘辺の頂点が行列 A と行列 B に影響を受けていて、その影響度が t と $1-t$ だとすると

$$P' = (tA + (1 - t)B)P$$

てな感じで行列がブレンドされます。面倒ですねえ。

理屈はここまで、さっさと実装しましょう。

ボーン情報をロード

とにかく手始めにボーン情報をロードしてみます(まだロード確認だけでナニモシマセンよ?)データ構造はこうなっています。

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/b38463f52d0adbca1c46fd315a9b17d0391 バイトです。

bone[17].bone_name[0]	8D B6 8C A8 00 FD 左肩
bone[17].bone_name[16]	FD FD FD FD ...
bone[17].parent_bone_index	0001
bone[17].tail_pos_bone_index	0012
bone[17].bone_type	00
bone[17].ik_parent_bone_index	0000
bone[17].bone_head_pos[0]	3E0BA27B 41810A36 3E879F45

全部で 6 種類のデータ。頂点に比べりや少ないですね。

まずボーンの数を予め取得してきますが気を付けてください。

bone_count	007A
------------	------

2バイトだこれ!!!

これを忘れるトドウンドウンズしていきます。どちらにせよ読み込まない事には始まらないので読み込んでいきましょう。

とりあえずもうヒントコード書かないから自分で読み込んでください。今まで何度も同じような事やってんだから分かるでしょ?

中身を見て、こんな感じでボーン名が壊れてないりやたぶん大丈夫です。ちなみに↑のボーン



名に「捩」という文字がありますが、ボーンの名前に「捩」だの「捩」だのいう名前がついてる奴には気付けてください。ちょっとばかし(いや非常に)ややこしいです。まずはブレーンなミクさんで練習しましょう。

まあうまくいってりゃロードはOKです。ここからツリー構造を構築していきましょう。なお、さっきのツリーの説明だけ聞くと全てのボーンが一つにつながってそうなイメージがあるかもしれません、PMD のボーンデータはそうでもないのでお気を付けください。

ツリーを構築

ここ、毎年悩みどころなんですよね…。ツリーの話ですが、その前にまず言っておきますが、ボーン数に応じた行列配列を投げることになります。ちなみに投げられる行列配列の数は固定なので 256 個投げます。

で、その行列を頂点に乗算するため、行列は投げなきゃいけない。配列順序通り。つまり投げる配列は予め決めておいて、ツリー自体の「内容」はインデックスになるわけだ。

あと、曲げたいボーンは「ボーン名」で指定できる必要があるためそこは map を使うのがいいだろう…。

ボーン名で探した先のやつのインデックスからその下のツリーが分かる状態にしなければならない…。

というわけで実装に必要な情報、条件は

- 連続した行列(配列)
- ボーン名でインデックスを検索できるように

- 親が子を知っているリンク(複数)

これを組み合わせるわけです。当然3つがバラバラになっているわけではないのでそれぞれの特性を考慮しなければなりません。

な? 現実のプログラミングって奴ア検定の覚えゲーみたいにはいけねえだろう? ここを自前でできるようになればそりやあお前、ショボレ! 検定ぜへんぶ獲ったの以上に実力ついとるで?

もう基本的なデータ構造勢ぞろいだね!!! これで基本情報技術者試験もバツチリダネ!!! ヤッタネ!!!

さて、まず当然ながらボーンの配列が絶対に必要なのでこうなる。

```
vector<XMMATRIX> boneMats;
```

これは簡単。他の奴はインデックスを知っておけばいい事になるが…
それではこうかな?

```
map<string,int> boneMap;
```

ところがこれではここからツリーを下ることができない…。ということで次のツリー構造を考えるがこれは『子が複数』いるわけだ。

となると

```
struct BoneNode{
    int boneIdx;//ボーン行列配列と対応
    XMFFLOAT3 startPos;//ボーン始点(関節初期座標)
    XMFFLOAT3 endPos;//ボーン終点(次の関節座標)
    vector<BoneNode*> children;//子供たちへのリンク
};
```

というツリーの元が考えられる。つまり、こいつをマップで探せるようにすればいいかなと思います。

```
map<string,BoneNode> _boneMap;
```

当然のように読み込んだ PMD 側のデータはこうなっています。

```
struct PMDBone {
    char boneName[20]; // ボーン名
```

```

unsigned short parentBoneIndex; // 親ボーン番号(ない場合は0xFFFF)
unsigned short tailBoneIndex; // tail位置のボーン番号(チェーン末端の場合は
0xFFFF 0 →補足2) // 親:子は1:多なので、主に位置決め用
unsigned char boneType; // ボーンの種類
//パディングが入りますぞ
unsigned short ikParentBoneIndex; // IKボーン番号(影響IKボーン。ない場合は0)
//パディングが入りますね
DirectX::XMFLOAT3 bonePos; // x, y, z // ボーンのヘッドの位置
};

(中略)

std::vector<PMDBone> _bones;

```

で、今度は使用者側は

```

std::vector<XMMATRIX> _boneMatrices;//ボーン行列転送用
std::map<std::string,BoneNode> _boneMap;//ボーンマップ

```

というのを用意しておく。まあ、行列配列自体はこのボーン数分確保すればいいので

```

//ボーン配列初期化
_boneMatrices.resize(_model->Bones().size());
std::fill(_boneMatrices.begin(), _boneMatrices.end(), XMMatrixIdentity());

```

このコードの説明…もう皆さんにはできますよね?できますよね?

次にツリーを考慮せずマップ情報を構築しようとすると…

```

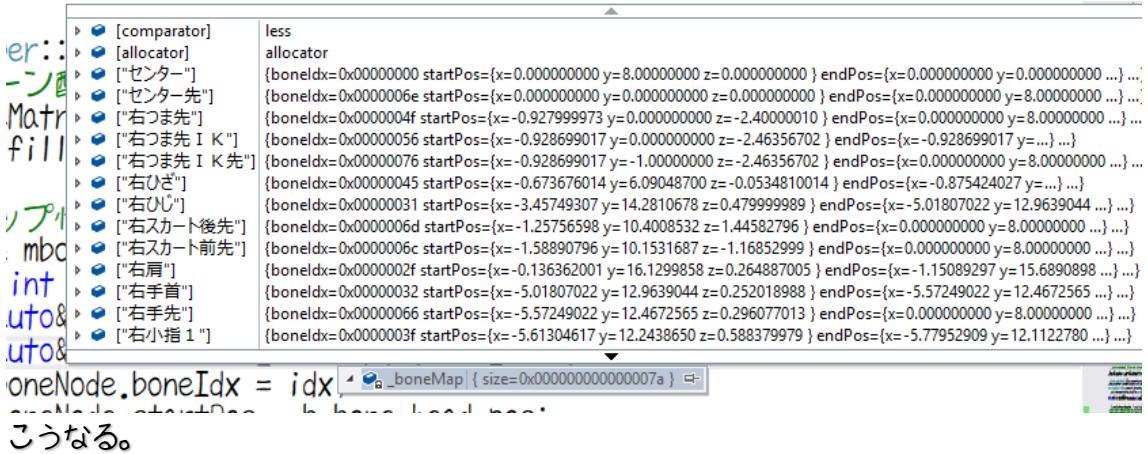
//マップ情報を構築
auto& mbones = _model->Bones();
for (int idx = 0; idx < mbones.size(); ++idx) {
    auto& b = _model->Bones()(idx);
    auto& boneNode = _boneMap(b.boneName);
    boneNode.boneIdx = idx;
    boneNode.startPos = b.bonePos;
    boneNode.endPos = mbones[b.tailBoneIndex].bonePos;
}

```

こうなる。

一旦これで実行してみよう。

うまいことやれてれば



つまりマップにきっちり必要な情報が入っている状態である。こうなっていれば次の段階へ行ける。ツリー構築だ。

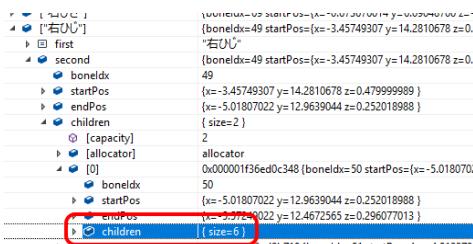
ループで回しながら親のベクタにドウンドゥン追加していく。

```

for (auto& b : _boneMap) {
    if (mbones(b.second.boneIdx).parentBoneIndex >= mbones.size()) continue;
    auto parentName = mbones(mbones(b.second.boneIdx).parentBoneIndex).boneName;//ikのボーンと間違えないように
    _boneMap(parentName).children.push_back(&b.second);
}

```

うまい事ツリーが構築できていれば



右ひじの2つ下のノードが6本になっています

感がいい人は肘の先のボーンが2本で、手首から先のボーンが6本であることに違和感を覚えると思います。

が、これは何故か肘から「手首」と「袖」の二つのボーンが飛び出しているからです。

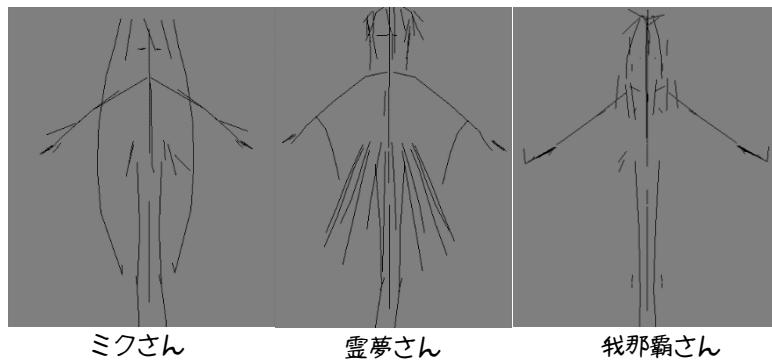
また、指が6本に見えるのは指5本に加えて「手先」という「非表示ボーン」があるからです。

今は無視していいです。(非表示ボーンは基本的に作業用なので再生時には意味がありません)

ここまでやれば「ボーンツリー」が構築できることになります。

ここでちょっと迷ってるのは「ボーンの表示」をやるかどうか…かなあ。さっさとスキニング実装してゲームを作ることを最優先に考えると…別にボーンの表示はしなくてもいいかなあって思っています。

例年だとデバッグ用にこのボーンの理解用に



こういう針金みたいなの作って、こいつを曲げたりしてたんですけどね…まあ時間がない中でやるようなものじゃないよね。という事で今年はこれやりません(要望があればやりますが…)

特定ボーンの回転

ポージングへの第一歩です。ミクさんの腕を曲げてみようと思います。

準備

その前に、頂点情報をボーン設定に必要な分をすべて投げてあげましょう。今一度思い出して
…

```
float pos(3); // x,y,z // 座標
float normal_vec(3); // nx, ny, nz // 法線ベクトル
float uv(2); // u,v // UV 座標 // MMD は頂点 UV
WORD bone_num(2); // ボーン番号 1, 番号 2 // モデル変形(頂点移動)時に影響
BYTE bone_weight; // ボーン 1 に与える影響度 // min:0 max:100 // ボーン 2 への影響度は、
(100 - bone_weight)
BYTE edge_flag; // 0:通常、1:エッジ無効 // エッジ(輪郭)が有効の場合
```

とりあえず2つのボーン番号を入れましょう。ちょうどいい事に R16G16_UINT 的なフォーマット

トがあります。

```
{ "BONENO", 0, DXGI_FORMAT_R16G16_UINT, 0, D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT, D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA, 0}
```

ちなみにセマンティクスを BONENO としていますが、これは『ユーザー定義セマンティクス』に当たります。ともかく 2 つの 16 バイトを投げましょう。

ちなみに min16uint という型があります

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/desktop/direct3dhlsl/dx-graphics-hlsl-scalar>

日本語情報がないのでちょっと不安がありますが、きちんと使えますので、安心してください。

```
min16uint2 boneno : BONENO)
```

2 個受け取るんで型名の後ろに 2 を付ければ 2 個セットになります。試しにこのインデックスを使って

```
return float4((float2)(input.boneno%2),0,1);
```

てな感じで出力すると



このようになります

なんとなく『何故か』は分かりますかね？ 影響ボーン番号を %2 したものを色に使っているため交互に色が変わるように形になります。ちなみに

```
return float4((float2)(input.boneno/128.0f),0,1);
```

と言う式にすると(128 で割ってるのはボーン数が 122 だからです)



こうなります

影響ボーンの番号が変化していっているのが分かりますね。

次に影響度を受けとります。

影響度はデータとしては1バイトなので、レイアウト的には

```
{ "WEIGHT", 0, DXGI_FORMAT_R8_UINT, 0, D3D12_APPEND_ALIGNED_ELEMENT,  
D3D12_INPUT_CLASSIFICATION_PER_VERTEX_DATA, 0 },
```

とします。

シェーダ側ですが

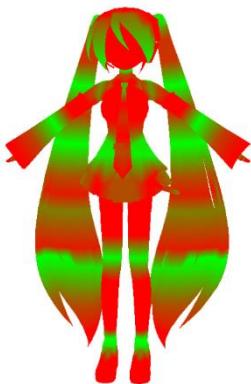
```
min16uint weight:WEIGHT
```

とします。min8uint的なのがあったら使ったんですが、それがないっぽいので。一応データは取ってこれてるんでOKとします。

試しに頂点シェーダ側でこうして

```
float w = weight / 100. f;  
output.color = float3(w, 1 - w, 0);  
ピクセルシェーダ側でこうしたら  
return float4(input.color, 1);
```

こうなりました。影響度がせめぎあっているのが分かると思います。



影響度の戦い!!

まあ片方がWでもう片方が1-Wなら当然せめぎあうわなあ…。それはともかくこれでボーンIDと影響度がシェーダ側に渡されているのが分かったと思います。

あとはボーンによる回転情報を投げてあげるわけですが、全投げします。シェーダ側としてはいくつ来るかわからないので 512MATRIX を受け取る準備だけしておきます。b0,b1 は使っているので、b2 を割り当てようかと思います。

///ボーン行列

```
cbuffer bones : register(b2) {
    matrix boneMats(512);
}
```

そして

ルート/パラメータは新しく作りましょう。

ヒープもビュー1つだけですが新しく作りましょう

となるとこんな感じですかね。

```
std::vector<DirectX::XMATRIX> _boneMatrices;//ボーン行列転送用
std::map<std::string,BoneNode> _boneMap;//ボーンマップ
ID3D12Resource* _boneBuffer;//ボーンバッファ
ID3D12DescriptorHeap* _boneHeap;//ボーン用ヒープ
```

あとは「いつもの」ようにバッファ作ってどうぞ。あとはボーン用ヒープ作って定数バッファビューも作ります。

///バッファの作成

```
_boneBuffer.Attach(_buffMgr->CreateConstantBufferResource(size));
```

```
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC descHeapDesc = {};
descHeapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_SHADER_VISIBLE;
descHeapDesc.NodeMask = 0;
descHeapDesc.NumDescriptors = 1;
descHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV;
auto result = _dev->CreateDescriptorHeap(&descHeapDesc,
IID_PPV_ARGS(_boneHeap.GetAddressOf()));
```

```
D3D12_CONSTANT_BUFFER_VIEW_DESC desc = {};
desc.BufferLocation = _boneBuffer->GetGPUVirtualAddress();
```

```
desc.SizeInBytes = size;
auto handle = _boneHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart();
_dev->CreateConstantBufferView(&desc, handle);

_boneBuffer->Map(0, nullptr, (void**)&_mappedBones);
```

マテリアルより楽なのはマテリアルごとに切り替えが必要ない事です。久しぶりの新しいルートパラメータとヒープなので間違えないようにね?

```
// "b2" をつくるぞ
descTb1Range[3].NumDescriptors = 1;
descTb1Range[3].RangeType = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_TYPE_CBV;
descTb1Range[3].BaseShaderRegister = 2;
descTb1Range[3].OffsetInDescriptorsFromTableStart = D3D12_DESCRIPTOR_RANGE_OFFSET_APPEND;

rootparams[2].ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_DESCRIPTOR_TABLE;
rootparams[2].DescriptorTable.NumDescriptorRanges = 1;
rootparams[2].DescriptorTable.pDescriptorRanges = &descTb1Range[3];
rootparams[2].ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_VERTEX;
```

ノーファ全部ぶんぬげるので、コマンドリスト発行も必要なし。ちなみにボーン情報はピクセルに一切関係しないので、可視範囲を頂点シェーダのみにしています。

マテリアルより…楽でしょ?

で、それができたらひとまず全てのマトリックスを XMMatrixIdentity で埋めます。モチロン Map したものを埋めなきやだめですよ?

```
std::copy(_boneMatrices.begin(), _boneMatrices.end(), _mappedBones);
```

その上でシェーダ上ですべての頂点に対して、ボーン行列を乗算して元通りに表示される(単位行列の乗算だから変化しないはず…!)のご確認ください。

```
float w = weight / 100.f;
matrix m = boneMats(boneno.x)*w + boneMats(boneno.y)*(1-w);
pos = mul(m, pos);
```

とくに変化が出てなければ、ひとまずここまで準備が終わりです。

実験(だいたい結果が予想できるやつ)

ひとまず肘にあたる部分を回転させてみましょう。マップを「左ひじ」で検索して、そいつにZ軸中心回転行列を書き込んでください。

//実験

```
_boneMatrices[_boneMap("左ひじ").boneIdx] = XMMatrixRotationZ(XM_PIDIV4);
```

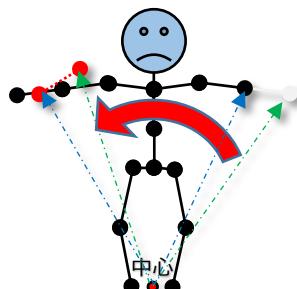
うまくいけば…



ああああああああああああああああ

うまくいくのか!?これ!?ホンマか!?嘘ちゃうんか!?ミクさんの腕どうなれ!なつとんねーん!!!

原因をいくつか言つてしまえば



これが起きてるんですわ。ひとまずこれから修正しまひよか?

ボーン中心回転(原点中心回転ではない!)

前にも言いましたが肘中心に回転するためには、一旦原点に戻してから回転して元の座標に戻さねばならない…ところで原点に戻すというが、どうやつたら原点に戻るのだろうか?

ここでボーン情報を思い出してほしい。

「ボーンの座標」的なデータがあったと思ひます。アレを使用します。

あれこそ関節の座標です。つまりあの座標分マイナスしたものを現在の座標に足せば原点に平行移動します。そこから回転して、元の関節の座標を足してあげます。

また、以前にも言いましたが、行列は乗算することで↑のような操作を合成することができます。

// 実験

```
auto elbow = _boneMap["左ひじ"];
auto vec = XMLoadFloat3(&elbow.startPos);
_boneMatrices[elbow.boneIdx] = XMMatrixTranslationFromVector(XMVectorScale(vec, -1)) * XMMatrixRotationZ(XM_PIDIV2) * XMMatrixTranslationFromVector(vec);
```

ちなみに座標に-1を Scale してるのは原点に戻すための平行移動ベクタを作るためです。
さて、このようにしてあげれば…



ううんん??

さて、何故だと思うね?

いや、肘から前腕までが回転して、それ以降がついてきてないからだろ…つまり自分の回転を自分の子々孫々に伝播しなければならないのだ!!!



子々孫々末代まで回転を伝播する

ツリー構造において、自分の子供にあたる奴ら…リーフに到達するまでドウンドウン回転情報を乗算してやる必要があるのだ。

そういう時に使えるのが以前にも説明した「再帰」です。再帰的ってのは英語で Recursive といいます。

RecursiveMatrixMultiplyとかそういう名前の関数を再帰的に使います。

まず、普通に再帰する事だけを考えて関数を作ると、こう。

```
Dx12Wrapper::RecursiveMatrixMultiply(BoneNode& node) {
```

```

for (auto& cnode : node.children) {
    RecursiveMatrixMultiply(cnode);
}
}

```

ツリーがまとまにできていれば、スタックオーバーフローになることなく子々孫々をトラバースできます。

でもこれだけじゃ意味がないねえ。親の行列が子に乗算されるようにしないと。ただ、この時順番には気を付けてほしいのだが…まあいいや。とりあえず乗算してみてそれが再帰的に乗算されるようにしてください。

色々と考えて自分で実装してみましょう。僕を頼らないでください。

例えば

```

void
Dx12Wrapper::RecursiveMatrixMultiply(BoneNode& node, XMATRIX& inMat) {
    _boneMatrices[node.boneIdx] *= inMat;
    for (auto& cnode : node.children) {
        RecursiveMatrixMultiply(*cnode, _boneMatrices(node.boneIdx));
    }
}

```

みたいに書いて、肘曲げた後にでもルートからこれをやってやれば…

```

XMATRIX rootmat = XMMatrixIdentity();
RecursiveMatrixMultiply(_boneMap["センター"], rootmat);

```



やったぜ

ついでに右の肘もやってあげましょう。



やりまくったぜ

肩も曲げてみましょう



コロンビアだぜ

一応他のキャラもやってみますが



霊夢さんOK



我那覇さんOK



あれ?失敗すると思ったのに…雲雀さんOK

大体捻りボーンが入ってるとここらへんで失敗するんですが…。



こんな風になるはずなんんですけどねえ…

まあ問題ないならいいでしょ? 進みましょうか

VMD ファイルを読み込む

VMD ファイルってのは MMD のモーション用のデータです。モーションはちょっと難しいのですが、まずはポージングすることだけ考えましょう。

サーバーに pose.vmd というのを置いてますので、それを利用してページングします。

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/bc9f1c4d597341b394bd02b64597499d

見てフォーマットを確認しましょう。

一応サーバーに vmd.sym も置いてあるので必要な人は活用してください。入れとけば

```
header.VmdHeader[0]      56 6F 63 61 6C 6F 69 64 20 4D 6F 74 69 6F 6E 20 Vocaloid Motion
header.VmdHeader[16]     44 61 74 61 20 30 30 30 32 00 00 00 00 00 Data 0002
header.VmdModelName[0]   8F 89 89 B9 83 7E 83 4E 00 FD FD FD FD FD FD 初音ミク .....
header.VmdModelName[16]   FD FD FD FD .....
2motion_count           0000007A
3motion[0].BoneName[0]   88 5A 83 93 83 5E 81 5B 00 FD FD FD FD FD センター .....
3motion[0].FrameNo      00000000
3motion[0].Location[0]  00000000 00000000 00000000
3motion[0].Rotation[0]  00000000 00000000 00000000 3F800000
3motion[0].Interpolation[0] 14 14 00 00 14 14 14 14 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B ... .....kkkkkkkk
3motion[0].Interpolation[16] 14 14 14 14 14 14 14 14 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 00 .....kkkkkkkk
3motion[0].Interpolation[32] 14 14 14 14 14 14 14 14 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 00 .....kkkkkkkk
3motion[0].Interpolation[48] 14 14 14 14 14 14 14 14 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 6B 00 00 .....kkkkkkkk
3motion[1].BoneName[0]   8F E3 94 BC 90 67 00 FD FD FD FD FD FD FD 上半身 .....
3motion[1].FrameNo      00000000
```

ではぱっと見何のデータだこれ…って感じですよね。まあ一気に解説するのはちょっと困難なので、ひとまずは「名前」と「回転」のデータだけを取得します。

で、回転のデータは当然 Rotation の部分なのですが、これ4要素あります。が普通に皆さんのが考えてる回転だと3つでいいはずですよね？

あのケチケチ MMD のフォーマットがこれって…？製作元貴が多重人格である可能性が微粒子レベルで…!!

その疑問を解消するために上記サイトでフォーマットを見ましょう。

```
char BoneName(15); // ボーン名
DWORD FrameNo; // フレーム番号(読み込み時は現在のフレーム位置を 0 とした相対位置)
float Location(3); // 位置
float Rotatation(4); // Quaternion // 回転
BYTE Interpolation(64); // (4)(4)(4) // 補完
```

ん？今…クオータニオンって書いてたよね？(英語で)

MMD 回転クオータニオン説

つまり僕らが最初に思い描く X 回転 Y 回転 Z 回転ではないのだ。クオータニオンは日本語で四元数。四元数は4つの数値。4つの数値だから float4 つぶん必要。つまりこれはクオータニオンで間違いない！Q.E.D。

クオータニオンって何ですかねえ…

クオータニオンって当然のように言ってますけど、クオータニオンってのは

<https://qiita.com/kenjihiranabe/items/945232fbde58fab45b81>

<http://www.mss.co.jp/technology/report/pdf/18-07.pdf>

<https://www.f-sp.com/entry/2017/06/30/221124>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9B%9B%E5%85%83%E6%95%B0>

http://marupeke296.com/DXG_No10_Quaternion.html

https://qiita.com/edo_m18/items/5db35b60112e281f840e

なるほど!!! わからん!!!

でもご安心を!!! ゲイツ兄貴もそこまで鬼ではございません

XMMatrixRotationQuaternion

っていう関数があります。これはこの「クオータニオン」から任意軸回りの回転行列を生成するものです。

https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationquaternion.aspx

X 軸回転 + Y 軸回転 + Z 軸回転だと色々と不都合もありますしね…

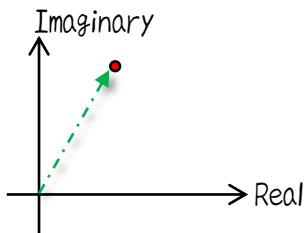
ちなみに「クオータニオン」とは何かとかやってたら 1 年終わっちゃいますので、やめましょう。軽く説明しておくと複素数($z=a+bi$)の概念を三次元に拡張したものだと思って良いと思います。

虚数は知っていますね? 二乗して -1 になる奴です。そいつと実数を組み合わせたものを複素数と呼びます。

ちなみに複素数で 2 次元の回転(角度)を表す事もできます。例えば

$$\frac{1 + \sqrt{3}i}{2}$$

という複素数は 60° を表します。どういう事が分かりますか? 二次元の座標系を書いて横軸を実部(R)とし、縦軸を虚部(I)とします。つまり虚数値が出てきたらそれを Y 軸の値として、それ以外を X の値とします。そうすると上の複素数は

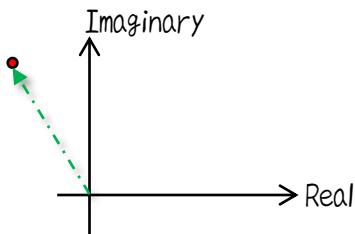


と言う感じになり 60° を表しているという事にします。

例えば角度を 120° にしたいとすると 60° の複素数を乗算します。つまり

$$R_{120} = R_{60}R_{60} = \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} \cdot \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} = \frac{(1 + \sqrt{3}i)^2}{4} = \frac{-2 + 2\sqrt{3}i}{4} = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2}$$

となり、新たにグラフに書き込んでみますよ



さらに 60° 回転します ($\frac{1+\sqrt{3}i}{2}$ を乗算します) そしたらどうなる? 180° だよねえ。

$$R_{180} = \frac{-1 + \sqrt{3}i}{2} \times \frac{1 + \sqrt{3}i}{2} = -\frac{4}{4} = -1$$

これもうグラフに書くまでもなく、回転と運動しているよね。この虚数部分を 3 次元に拡張したのが「クオータニオン」なんだ。それぞれの軸に当たるクオータニオンは通常の虚数と同じように二乗すれば -1 になります。3 つあるのでそれぞれ i, j, k とあり、概念上 4 次元になっています。複素数と同じように

$$Q = aR + bi + cj + dk$$

実部と i, j, k はそれぞれ全て直交しています。そして妙な法則があります。

$$\begin{aligned} i^2 &= j^2 = k^2 = ijk = -1 \\ ij &= k, ji = -k \\ jk &= i, kj = -i \\ ki &= j, ik = -j \end{aligned}$$

まあ、ざつとこういう数であることを知っておけばいいと思います。で、こいつが空間内の回転に非常に役に立つのだが、それを何故かとやり始めるとテンソルだのユニタリ行列だの共軛だの出てくるので、この際ブラックボックスでいいと思います。

とにかくクオータニオンは

- 複素数を 3D に拡張したもの
 - とにかく回転に使える(オイラー回転と違ってジンバルロックなどの不具合を起こさない)
 - 中身については気にしない方がいい
- のでございまーす。

データを読み込む

VMDMotion というクラスを作りましょう。その中でデータを読み込んで必要な情報を返すようなクラスにしましょう。(やるこた PMDModel クラスと同じです)

ひとまず読み込むだけをやってみましょう。もうソースコードとかいらないよね?

https://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/bc9f1c4d597341b394bd02b64597499d

見れば分かるよね。アライメントに気を付ければ大丈夫だよ。

まあ、最初の 50 バイトは無駄データだわな…

```
fseek(fp, 50, SEEK_SET);
fread(&keyframeNum, sizeof(keyframeNum), 1, fp);
```

次にキーフレームデータ。モーションデータってのは特定のボーンの特定のフレームにおける回転角度(とかその他状態)を示します。エディタで言うと

◆のことです!

とにかくにも、ファイルの中でこれが「登録された順」に並んでいます。この順序が後々ばくらを苦しめる…。

ひとまず最初の 0 フレームしかないデータを作ったので(pose.vmd)そのポーズ通りになるようにしていくのが目的です。ともかくすべて読み込みましょう。

```
for (auto& keyframe: keyframes) {
    fread(keyframe.boneName, sizeof(keyframe.boneName), 1, fp); // ボーン名
    fread(&keyframe.frameNo, sizeof(keyframe.frameNo) + // フレーム番号
          sizeof(keyframe.location) + // 位置 (IK のときに使用予定)
          sizeof(keyframe.quaternion) + // クオータニオン
          sizeof(keyframe.interpolation), 1, fp); // 補間ベジエデータ
}
```

読み込んだら中身が壊れてないかご確認ください。全てのボーン名がまともなら大丈夫でしょう。

さて…データは読み始めたのでこれをさっさと使えるデータへと加工しましょう。

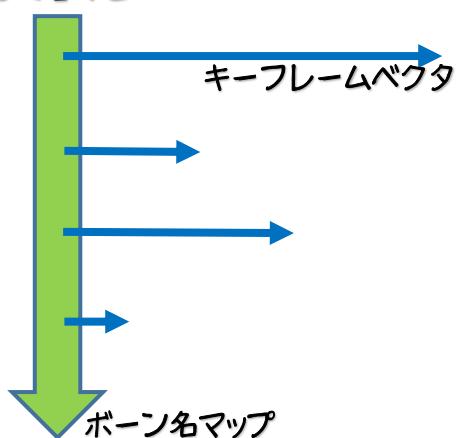
データの加工

/今一度 MMD のエディタを見てみましょう。

縦軸に「対応するボーン名」が書かれていて、横にキーフレームが登録されているような状況です。もちろんこの「キーフレーム」に

- フレームNo(数値)
- 回転情報
- IK 移動情報
- 補間曲線データ

が含まれているわけですがまずはフレームNoと回転情報だけでいいでしょう。また、エディタのデータ配置を簡略化して書くと



このような形になっているわけです。何となく分かりますかね?つまり例えばキーフレーム情報を

```
struct Keyframez{
    int frameno;
    XMFLOAT4 quaternion;
};
```

とかやっっちゃいます。これが横に複数並ぶので(ポーズデータの場合は並んでないが)

`vector<Keyframe> _keyframes;`

となります。さらにこれがボーン数ぶんあるし、ボーンの名前で検索できるようになつといた方が便利っぽいのでマップにしておきます。

```
map<string,vector<Keyframe>> _animation;
みたいなのを作つておけば
```

```
for (auto& f : keyframes) {
    _animationdata[f.boneName].emplace_back(Keyframe(f.frameNo,f.quaternion));
```

```
}
```

こうするだけだ…あとはわかるな?

あとはクライアント側から見れるように適当な関数を作つて…

```
const std::map<std::string, std::vector<Keyframe>>&
VMDMotion::AnimationData()const {
    return _animationdata;
}
```

これをクライアント側から参照できるようにすればいい。

クライアント側

もうここまで来たら全然難しくない。既に

```
void
```

```
Dx12Wrapper::RecursiveMatrixMultiply(BoneNode& node, XMATRIX& inMat) {
    _boneMatrices[node.boneIdx] *= inMat;
    for (auto& cnode : node.children) {
        assert(node.boneIdx >= 0);
        RecursiveMatrixMultiply(*cnode, _boneMatrices[node.boneIdx]);
    }
}
```

```
void Dx12Wrapper::RotateBone(const char* bonename, const DirectX::XMFLOAT4& q) {
    auto& bonenode = _boneMap(bonename);
    auto vec = XMLoadFloat3(&bonenode.startPos);
    auto quaternion = XMLoadFloat4(&q);
    _boneMatrices(bonenode.boneIdx) =
        XMMatrixTranslationFromVector(XMVectorScale(vec, -1)) *
        XMMatrixRotationQuaternion(quaternion) *
        XMMatrixTranslationFromVector(vec);
}
```

こういう関数を作っているから後はモーションに入っているボーン全てに対してモーション内のクオータニオンを適用してやればいいわけ

//ポージング適用

```
for (auto& boneanim : _motion->AnimationData()) {
    auto& keyframe=boneanim.second.back();
    RotateBone(boneanim.first.c_str(),keyframe.quaternion);
```

}

```
//ソリーモードをトラバース  
XMMATRIX rootmat=XMMatrixIdentity();  
RecursiveMatrixMultiply(_boneMap["センター"],rootmat);
```

とでもしてやればデータ通りのポーズをとるはずです。

ちなみにサーバーに上げてるのは



こういうデータなので



こうなってねばOK

ということでひと段落。

ちょっとお疲れさん。

閑話

ひと段落したので面白ツイートを貼っておきます

工数計算は常に1.5倍にすること!スピードの遅い人を基準に算出すること!振り返りとブラッシュアップとバッファは別で取ること!有給使うこと前提で日数計算すること!最後に管理者自身に実装工数を付けないこと!いいー?



と言うのがありました。GFFに向けて制作する人はこれを頭に入れておきましょう。前から言ってる事ですが、予定通りに作業が進むと思わない方がいい。

工数計算は1.5倍ってのはどういうことがと言うと、人間というのは計画を立てる時必ず楽観的になるものなのである(未来の時間に対して楽観的と言われている…先延ばしもこれに起因するのだ)。だから実際には1.5倍くらいかかる事を前提にスケジュールを立てるべきである。

あと平日にもかかわらずいろいろ吹っ飛ぶ可能性があるので、タイム表とかイベントとか確認しながらそこは空けておく事。

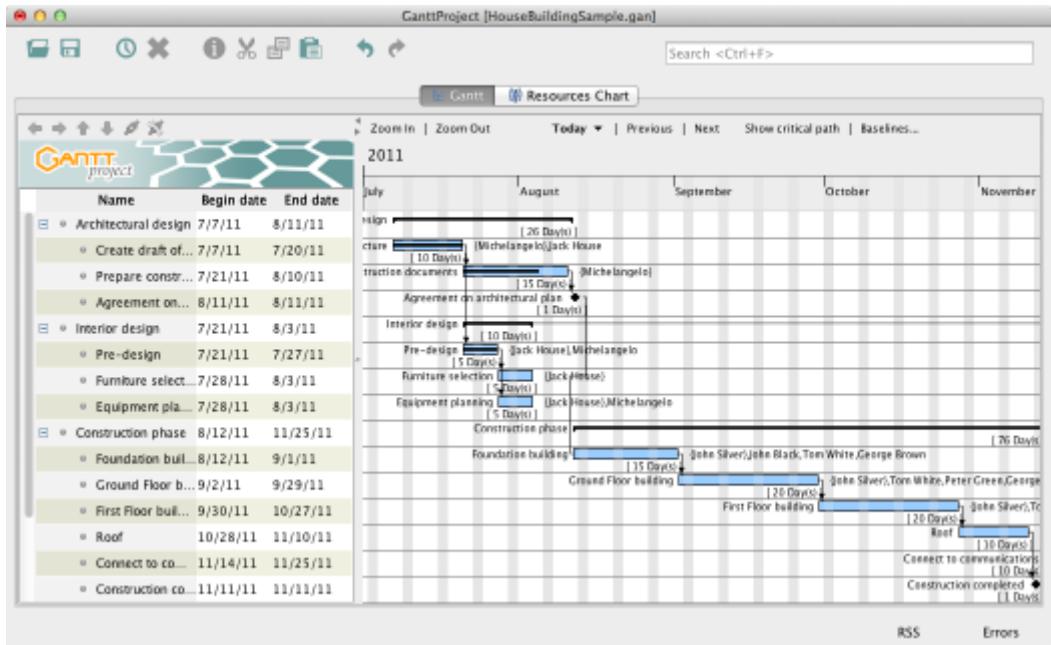
また、台風が来たりおなか痛くなったりしてその日の作業ができない時もある。キツキツにスケジュールを立ててるとそこで狂う。狂ったら「もういつか…」ってなってスケジュール守らなくなる→締め切りは無情である→デスマーチ

ということでバッファ時間をとておくことと『ブラッシュアップ』。これはゲームプログラマなら分かりやすいと思うが、製品をよりよくするひと手間の部分だったり、リファクタリングの時間だったりする。

ということでGFF Awardまであと3ヶ月ありません(1/24〆)。計画を立てないのは論外です。必ず計画を立てて作っていきましょう。また、一部の人はケーツー(K2)さんに作品を見ても

らう(12/4)のでそこまで見せれる状態にしておきましょう。そこで見せれない奴はたぶんもう…ともかく完成品じゃなくていいので見せましょう。この際クソコードでもいいです。やれるだけのことは…やろう。

しつこいようですが、チャレンジしないせがたれた考えの人は「論外」です。



あと、こういうスケジュールのチャート(↑のはガントチャートの一部)を使えよ!!面倒かもしれないけど、やってないともっと面倒な事になるぞホンマ。

アニメーションしてまう

「ポージングできてんじゃーん!!」

「お、そうだな。アニメーションなんてすぐだよ」

「そうだよ」

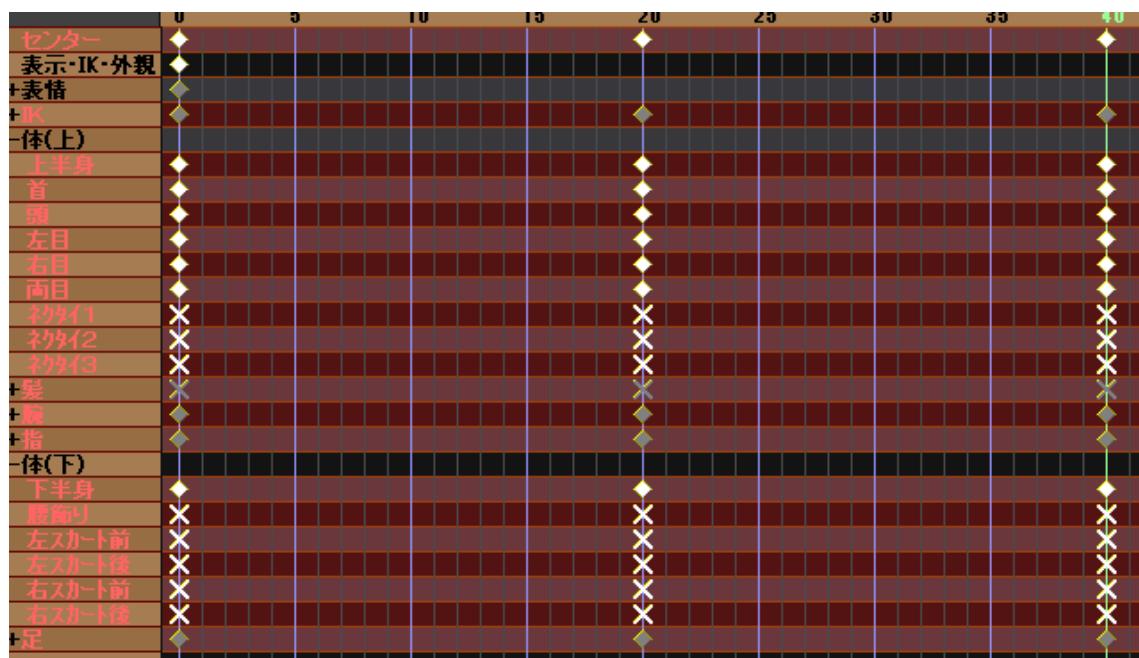
「俺もやったんだからさ!!」

とか思ってるとたぶん痛い目を見るので、痛い目に遭いたくない人は今のうちにリバースイテレータとか見直しておきましょう。

ん? ポージング出来たらあとはそれを補間するだけちゃいますのん?

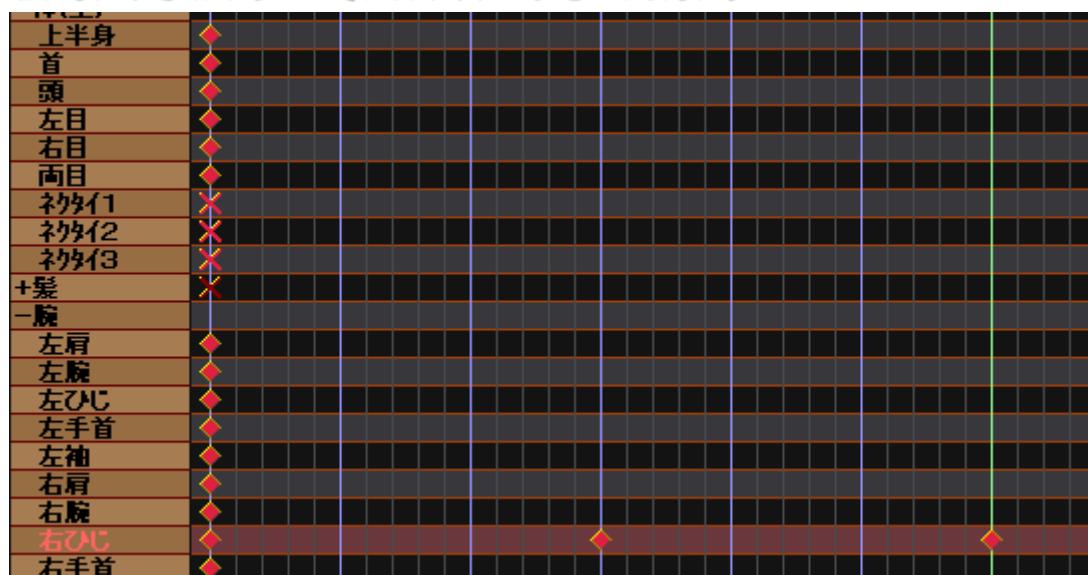
そう甘くないんだコレが。

例えば



こういう風にきれいに並んでいればいいんですが、そんなのは稀です。実際のモーションは本当にバラバラです。

まあいいや。ひとまず1つのボーンだけを動かすデータを作りましょうか。以前のポーズから右ひじだけを15フレーム毎に動かすデータを作りました。



first.vmdという名前で保存しています。

さて、これをどう実装していくかって話ですよ。

既にモーションデータは名前で検索できるようにしています。更に言うと
`std::map < std::string, std::vector<Keyframe> > _animationdata;`

という作りにしているため特定のボーンの中に複数キーフレームがあり、それも
`vector<Keyframe> keyframes = _animationdata("右ひじ");`
 などで取得できる状態である。

たとえば時間ごとにフレームが進むとして、そのフレームに対応したボーン情報を取ってこれればいい。ちなみにMMDは30フレームなので2回ループで1フレーム動くくらいでちょうどいいでしよう。

という事で、前にやったポーズの

```
//データからポージング適用
for (auto& boneanim : _motion->AnimationData()) {
    auto& keyframe=boneanim.second.back();
    RotateBone(boneanim.first.c_str(), keyframe.quaternion);
}

//ツリーをトラバース
XMMATRIX rootmat = XMMatrixIdentity();
RecursiveMatrixMultiply(_boneMap["センター"], rootmat);
```

を毎フレームやることになります。まあ、それはそれとして…フレームに対応させるならどうしましようかねえ…。↑のやつは関数化しておきましょうか。

ひとまず現在のフレームと一致するデータを探して見つかったら適用。見つからなかったら放置(現在の状況を維持する)としましょうかね。

```
void
Dx12Wrapper::MotionUpdate(int frameno) {
    //データからポージング適用
    for (auto& boneanim : _motion->AnimationData()) {
        auto& keyframes = boneanim.second;
        auto frameIt = std::find_if(keyframes.begin(), keyframes.end(),
            (frameno)(const Keyframe& k) {return k.frameNo == frameno; });
        if (frameIt == keyframes.end()) continue;
        RotateBone(boneanim.first.c_str(), frameIt->quaternion);
    }

    //ツリーをトラバース
```

```
XMMATRIX rootmat = XMMatrixIdentity();
RecursiveMatrixMultiply(_boneMap["センター"], rootmat);
}
```

ということで Update の中で

```
MotionUpdate(frameno / 2);
std::copy(_boneMatrices.begin(), _boneMatrices.end(), _mappedBones);
を毎フレーム呼んでやる。
```

結果…



となる。

なんかというと

再帰関数の中で

```
_boneMatrices[node.boneIdx] *= inMat;
```

と言う箇所がある。これが乗算であるが故に毎フレームどんどんずれていく。毎フレームと言うのは 1/60 である。あつという間に異形の生物になってしまうわけだ。

なので無駄なようであるが毎フレーム初期化をしてやる。ClearDrawScreen みたいなもんだと思ってもらえばいいかな。

```
std::fill(_boneMatrices.begin(), _boneMatrices.end(), XMMatrixIdentity()); // 初期化
MotionUpdate(frameno / 2);
std::copy(_boneMatrices.begin(), _boneMatrices.end(), _mappedBones);
```

と言う具合になる。

ただ、これだと現在の実装だと



あれ? そんなばかな…

よくよく見ると一瞬だけポーズをとっていることがわかる。そう…今の実装ではダメなのだ。

何処がダメかと言うとここだ。

```
find_if(keyframes.begin(), keyframes.end(), [frameno](const Keyframe& k) {return  
k.frameNo == frameno; });
```

あ、しつと知ってる体(ついで)で説明しちゃったけど、このプログラム…何してるか分かります? 「分かる」ってのは「他人に説明できる」ってことだよ? できます?

まず `find_if`

https://cppref.jp.github.io/reference/algorithm/find_if.html

そしてラムダ式

```
(frameno)(const Keyframe& k )->bool{ // 「->bool」は省略可能  
    return k.frameNo == frameno;  
}
```

ご説明可能かな?

`find_if` は簡単に言うと第三引数に書いてある関数オブジェクトが `true` の要素を返します。入れるべきは「関数オブジェクト」が「ラムダ式」です。

さて、今回のラムダ式は↑のようになります。なお、`frameno` がクロージャとして入れられていますが、これは引数でもないんですが、今回のようなパターンの時に役に立ちます。

なお、`find_if` 等が要求する関数は、要素一つ一つの参照を引数として、ブール型を返す関数です。

クロージャは関数定義時に決まるものなので、今回ここで使用している frameno は find_if ループ中に変化することはありません。ということで、こいつと比較しているわけです。

知識量と言うか情報量が多いですけど、大丈夫でしょうか? お判りでしょうか? 説明できますでしょうか?

で、今の問題は現在のフレーム NO と合致したものを返して、そのクオータニオンを適用するのですが、イコールで結ぶと、そのフレームでしか合致しないため一瞬で元に戻ってしまって、いたわけです。こいつに継続的なポーズを取らせるにはどうしたらよいのでしょうか?

今のフレームよりも前に当たるキーフレームを対象にすればいい! そう思いますよね? つまり

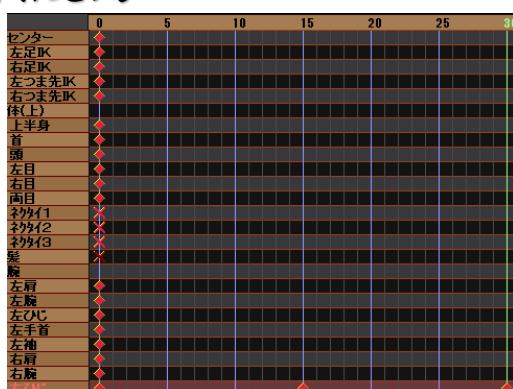
```
return k.frameno <= frameno;
```

こうすればいいとお思いでしょうか? そう思うならこれで実行してみましょう。



たしかにポーズはとるけど…動かねえな

もう一度よく考えてみてください。



あつ…

例えばこの状況で 30 フレーム以下のキーフレームを検索すると…
アツーーー!

もう…お分かりですね? 30 フレーム以下ってどういうことですか? そう… 30 フレームも 15 フレームも 0 フレームもみんなまとめて「30 フレーム以下」なわけです。

というわけで「N フレーム以下のキーフレームで、その中で最大フレームの「キーフレーム」」が必要なわけです。

どうすればいい?

反対から検索すればいいんじゃないの?

どうやつたら反対側から検索できるの?

リバースイテレータだよ馬鹿野郎!!! 伏線張ってたじゃねえか!!! という事で, `find_if` に突っ込むイテレータをリバースにしてしまえば反対側から検索できます。え? リバースイテレータが分からん? `rbegin` と `rend` だよ。

さて、コードは書きませんので、検索をリバースイテレータにしてください。そうすればミクさんがぎこちなく、なんでやねんしてくれるとおもいます。



しかしまだまだぎこちない…もっとぬるりと動いてほしい。

フレーム補間しよう

なぜぬるりと動かないかと言うと、フレームからフレームに一気に動いているからです。というわけでフレーム補間を行います。

情報はキーフレームにしか入っていないため、キーフレームとキーフレームの間を線形線形します。

線形補間の式は分かりますかね?

例えば A の状態(行列)から B の状態(行列)まで 30 フレームかかるとして、A から 21 フレームの時の状態を表すとするとどうすればいいでしょうか?

$$M = A \frac{30 - 21}{30} + B \frac{21}{30}$$

A のフレームを F_A とし、B のフレームを F_B とし、現在のフレームを F とすると

$$M = A \frac{(F_B - F_A) - (F - F_A)}{F_B - F_A} + B \frac{F - F_A}{F_B - F_A}$$

これをプログラムで表現すればいいのです。まあ元々

$$M = (1 - t)A + tB$$

が「線形補間の式」という事が頭に入っていれば

$$t = \frac{F - F_A}{F_B - F_A}$$

とすれば OK であることが分かりますね。あとは自分で考えて…

やつておしまい!!



アラエラサッサー!!

できましたか? 行列も掛け算や足し算ができるので、試してみてください。

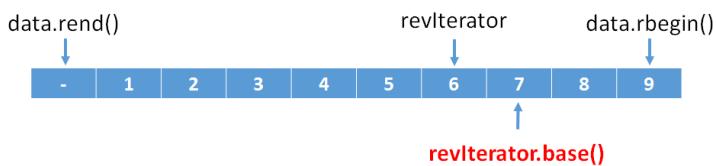
ちょっと早くて分かりづらいかも知れないで、分かりづらかったらフレームの更新をゆっくりにしてみてください。

リバースイテレータと base()

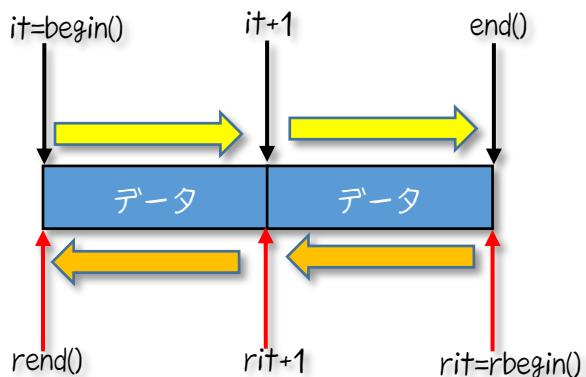
ところでリバースイテレータを使えと言いましたが reverse_iterator には base()って関数があります。

http://en.cppreference.com/w/cpp/iterator/reverse_iterator/base

こいつでイテレータにすることができるんですが、実はこの base()結果の イテレータ が指し示すものは



うん、つまりリバースイテレータの一つ後になるんですよね。前に話したと思いますが、イテレータは実際のデータの手前を指している。リバースイテレータは実際のデータのお尻を指している。2つしか要素がないコンテナのイテレータを考えると



で、イテレータからデータを見るときに↑の矢印の方向にデータを見るので、 $it+1$ と $rit+1$ はイテレータの位置自体は同じなのですが、指し示すデータが違います。

このため $rit+1$ から $base()$ を使用して(リバースでない)イテレータにしたとき、指し示すデータは同じではなく、「次の」データを指し示します。

ともかく $base$ を使えばいいんですが、 $rit.base()$ が $end()$ でないとも限らないのでチェックはしておきましょう。

ともかくそれで補間してアニメーションするようにしてください。

できましたか？

あれ?

でも何かおかしな感じしませんか?



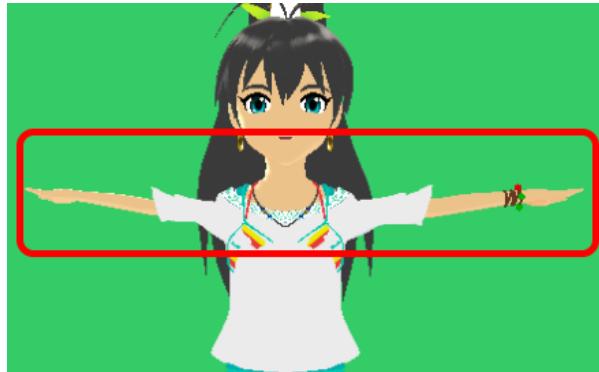
腕…短くね?

ミクさんは手が隠れてるので分かりづらいですね。



やはり短い

ということでもっとあからさまなモーション swing.vmd を用意してみたので見てみましょう。



これはひどい

ちなみにぼくはこういう実装にしてるんですけど。

```
void RotateBone(const char* bonename, const DirectX::XMFLOAT4& q, const DirectX::XMFLOAT4&
q2=DirectX::XMFLOAT4(), float t = 0.0f);
(中略)
void
Dx12Wrapper::RotateBone(const char* bonename,const DirectX::XMFLOAT4& q, const DirectX::XMFLOAT4&
q2 ,float t ) {
    auto& bonenode = _boneMap(bonename);
    auto vec = XMLoadFloat3(&bonenode.startPos);
    auto quaternion = XMLoadFloat4(&q);
```

```

auto quaternion2 = XMLoadFloat4(&q2);
_boneMatrices[bonenode.boneIdx] = XMMatrixTranslationFromVector(XMVectorScale(vec, -1))*
(XMMatrixRotationQuaternion(quaternion)*(1.0f-t) +
XMMatrixRotationQuaternion(quaternion2)*t) *
XMMatrixTranslationFromVector(vec);
}

```

こういう関数を作っておいて…

```

auto frameIt = std::find_if(keyframes.rbegin(), keyframes.rend(), [frameno](const
Keyframe& k) {return k.frameNo <= frameno; });
if (frameIt == keyframes.rend()) continue;
auto nextIt=frameIt.base(); //通常のイテレータに戻している(リバースを通常にすると自動的に
次の内容を示すことになる)
if (nextIt == keyframes.end()) {
    RotateBone(boneanim.first.c_str(), frameIt->quaternion);
}
else {
    float a = frameIt->frameNo;
    float b = nextIt->frameNo;
    float t = (static_cast<float>(frameno) - a)/(b-a);
    RotateBone(boneanim.first.c_str(), frameIt->quaternion, nextIt->quaternion,t);
}

```

どこがいけないんでしょうかねえ…?

うん、まあこれ、知ってないと気づきづらいんで別に気づかなくても責めません。ただこういう「あからさまに短い」ようなときに「おかしいな」と思えるようにしてください。そういう「感覚」がないとゲームデザイナーさんとかアーティストさんとうまくやっていけません。

球面線形補間

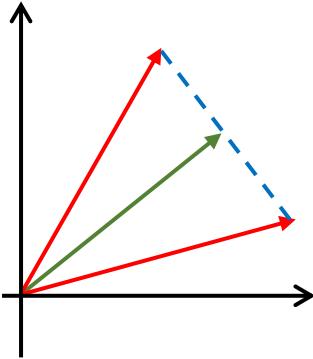
で、

$$M = (1 - t)A + tB$$

といふのは「線形補間」なんですが、これはマジ線形(1次関数)なんです。つまり直線的にしか動かない。直線的にしか動かないという事はつまり…

2つの点の間を直線で結んでその間に+として補間しているだけ…

図のように2つのベクトルの間のベクトルは長さが短くなっているのが…分かるだろう？腕もまた…短くなるのだ。



これはちょっと特殊な補間をしてあげないといけないのだ。簡単に言うと極座標における「角度θ」を補間するイメージです。だから線形補間ってのはベクトルに対して行うと

$$A(x_A, y_A) \rightarrow B(x_B, y_B)$$

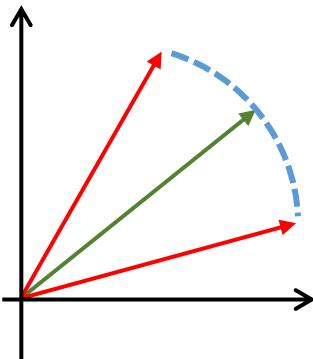
$$M = A(1-t) + Bt = (x_A(1-t) + x_Bt, y_A(1-t) + y_Bt)$$

これ↑が通常の線形補間で、球面線形補間ってのは

$$A(r_A, \theta_A) \rightarrow B(r_B, \theta_B)$$

$$M = A(1-t) + Bt = (r_A(1-t) + r_Bt, \theta_A(1-t) + \theta_Bt)$$

というわけです。極座標系で補間するのが球面線形補間です。腕などは長さが一定であることを考えると、角度の部分に対して(1-t)と+を乗算して足すというイメージね。図で言うと



こんな感じになって自然な感じになることが分かります。じゃあどうすればいいんでしょうか？

http://marupeke296.com/DXG_No57_SheareLinearInterWithoutQu.html

と、自分でやってもいいのですが、クオータニオンは球面線形補間が得意なのです。何しろ角度の塊ですから。

まあそうは言ってもマイクロソフトさんが球面線形補間関数を作ってくれておりますので、
そいつを使いましょう。

XMQuaternionSlerp という関数です。

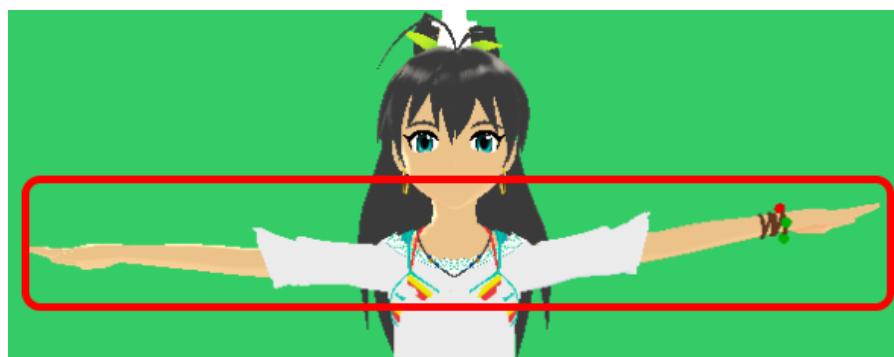
https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk quaternion.xmquaternionslerp.aspx

XMQuaternionSlerp(クオータニオン1, クオータニオン2, 補間係数†);
のように使用します。

つまり

XMMatrixRotationQuaternion(XMQuaternionSlerp(quaternion, quaternion2, †))

と、やってやれば…



まともな長さのが分かるかと思います
おめでとう。ここまでであらかじめ再生は大丈夫だと思う。

VMD モーションデータの罠

VMD モーションデータは実は出力の際にソートなどは一切行われていないうえです。つまり、ただただ「データを登録した順」にデータが並んでいます。

それを検証するためにわざと妙なデータを作りました。サーバの charge.vmd を開いてください。そしてアニメーション繰り返しとかしないようにしてみてください。

そうすると、特に対処を入れてないと



こういう中途半端なポーズで止まります(本当はチャージング GO ポーズなので片腕を上げているはず)

この原因は前回ちょっとだけお話しした「データは登録された順に並んでいるだけでソートされてない」というのが原因になっています。

例えば

0→30→60

と並んでいるところに後から 50 フレームを追加するとデータの並び的には

0→30→60→50

となり、50 フレーム時点での拳動が無視されてしまうわけだ。

ところが本来は

0→30→50→60

にならないとうまくいかないわけだ。

じゃあどうすればいいのかというと、…どうすればいい?

まあ順当に考えて「ソート」ですね。これも algorithm に頼ります。

<http://cppref.jp.github.io/reference/algorithms/sort.html>

というわけなんだが、この例のやり方ではうまくいかない。何故なら、どの数値を基準に並べ替えるのかが明記されていないからだ。

つまり…

```
template <class RandomAccessIterator, class Compare>

void sort(RandomAccessIterator first, RandomAccessIterator last,
          Compare comp);
```

こちら側…ソート関数まで明記されているソートを使う必要がある。でも既に `find_if` とかを使ったみんなには分かっていると思うがラムダ式を使えばカンタンなのである。

```
std::sort(begin(), end(), [](Keyframe& a, Keyframe& b){return a.frameNo < b.frameNo; });
```

というわけだな。分かるかな？

左側が小さければ `true`。そうでなければ `false`…つまり小さい順に並ぶということだ。

別に `vector` を `set` にしても構いません。その際にはちょっとだけまた面倒っちゃ面倒ではある…。軽く `set` について解説しておく `map` の `key+value` が `value` だけになった形である。`map` というのは `key` を基準として「赤黒木」というのを構築してソートしているのだが、`set` は `value` 自身を基準とするのだ。

ただ、`value` 側はたいていの場合ユーザー定義構造体になっている事が多く大小つけられないので普通に

```
struct Test{
    Test() {}
    Test(int f, float t) :frameno(f), test(t) {}
    int frameno;
    float test;
};
```

(中略)

```
std::set<Test> s;
```

なんて書くとコンパイラに怒られてしまいます。大小つけられへんやん!!!と。

じゃあどうすんねん…実は `Set` は比較関数をセットしないと、このように怒ります。怒りますが組み込み型の `int` や `float` では特に怒ることもなくデフォルトでソートしてくれます。これは予め `Lesser` という比較式が入っていて “<” で比較しているためです。

じゃあどうすればいいのかと言うと、いくつやり方があります

- <演算子をオーバーロードする
- 比較式をラムダ式とかで突っ込む
- もう set は使わない！

まず、<演算子をオーバーロードする>って話ですが、これは簡単です。

```
bool operator<(const Test& a, const Test& b) {
    return a.frameno < b.frameno;
}
```

例えば frameno の大小でのみソートする場合は↑のように書けばいいのです。

ただ、これではそもそも Test 構造体の扱いに影響を及ぼしかねない…演算子をオーバーロードしちゃってるからね。ではオペレータオーバーロードではなく、もっと別の方法はないものだろうか…

実は set の第二引数は関数オブジェクトの『型』を指定できるようになっている。また、関数オブジェクトの実体は初期化時に引数として与えてやることができる。つまり宣言時に

```
set < Test, function<bool (const Test&, const Test&)>> s([](const Test& a, const Test&b)
{ return a.frameno < b.frameno; });

こういう事をやってやる。これもOKだ。
```

最後にだが、set を使わないという選択肢だ。実はソートで『並び替えられ』てさえいれば、アルゴリズムは問わない。スタイルも問わない。
このため『そもそも使わない』という選択肢がでてくる。ちなみにスピードはどうかというとおそらくソート済み vector の方が早い。

毎フレームキーが更新されるならともかく、キーフレーム自体は更新されないので、読み込んで最初の一発目にソート関数をかけておけば良いだろう。

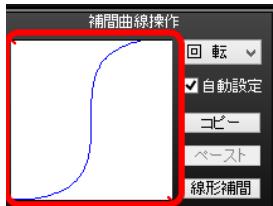
恐らく、ここまでやれば、思った通りに動くことだろう…。長かった。本当に長かった。

もうちょっとだけ��くんで待ってください。ゲームは自主的に作っておいてください。

さてあとはオマケみたいになもんだけ『補間曲線』についてやっていこうと思います。

補間曲線

MMD の左下のこの部分…



これはベジエ曲線や。そこまではええで。そしてこの情報は VMD の中に入っとるやで。
ええねん…それはええねん。

ちなみに『通りすがりの記憶』の VMD の説明では

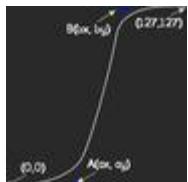
//// 補間の補足 ////

BYTE Interpolation(64); // (4)(4)(4) // 補完

// 補間用の曲線

// (0,0), A(ax,ay), B(bx,by), (127,127) の 3 次(4 点)ベジエ

// A:左下の+, B:右上の+



// モーションの補間パラメータの並び順(MMD 板の情報)

// 回転は 4 軸(ウォータニオン)だが、1 個にまとめられているので注意

// X 軸 Y 軸 Z 軸 回転

// A(Xax,Xay)(Yax,Yay)(Zax,Zay)(Rax,Ray)

// B(Xbx,Xby)(Ybx,Yby)(Zbx,Zby)(Rbx,Rby)

// とすると、

// Xax,Yax,Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby,

// Yax,Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,

// Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,00,

// Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,00,00

こんな書いてます。正直面倒くさいやで。

何故このような記録のされ方をしているのか分からぬ。結局データは重複している(Xax やら Xbx やらね)し、何をしたいのかさっぱりわからぬ。unsigned char* 64 個のデータなんだが、どう見ても Xax や Xbx などが 4 つもかぶっているのがわかると思う。こんな感じで 64 バイト使うのならば一つ一つの数値を float(4 バイト)にして、それを 16 個使ったほうがよっぽど良

いんじやないでしようか…。

まあいいや。ともかく↑の 64 個のデータにおいてボーン回転に使われているのは実は Rax,Ray,Rbx,Rby だけである。2 次元 3 次ベジエのために必要な最小限のデータです。

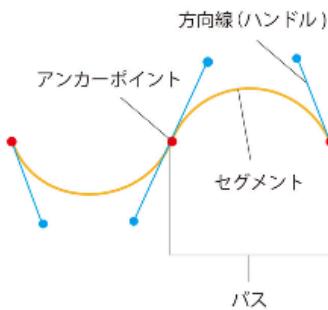
ちなみに一つ一つの取りうる値が 0~255 までなので、別にキャラ型でも構ないっちゃ構わないですね。

ところでここで困ったことがある。…その前にベジエ曲線というのは CG 的にはご存じだろうか？まあ、要は何に使われているものかっていう話だけど…一応フォトショップや GIMP で使われているし、フォントデータというのはベジエデータである。

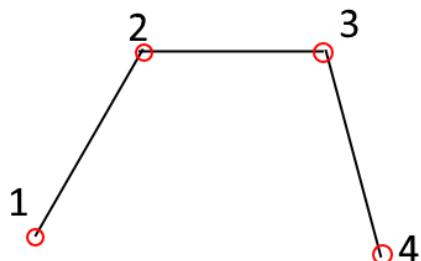
ベジエ曲線…とは？

何かというと平面上(空間上)4 点から曲線を構成するというものだ。ツールなどでは「曲線をきれいに描くためのツール」として知られている。

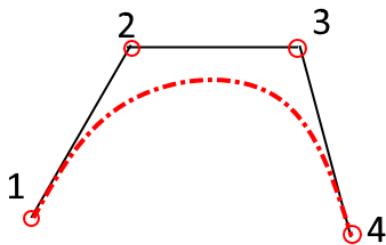
通常であれば 4 点しかなければできるものは 3 つの直線でしかない。閉じた系なら 4 つの直線だが、別にそこは大差ない。



図のようにアンカーポイントとハンドルで構成されており、生成される曲線はアンカーポイントを通るが、ハンドルは通らない。これ CG 検定でも出るぞ？ 基本的には 4 点であれば直線なら 4 点をきっちり通るよね？

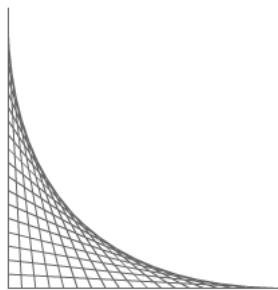


ところがベジエ曲線(3 次)の場合、通るのは 1 番と 4 番のみで、間の 2~3 は通らない。通るための点ではなく「計算のための点」として扱われる。結果として…



こうなります。

ちなみに自分で書くこともできますが…



これは2次ベジェですが定規1本で書けます
ぶっちゃけ3次ベジェも定規1本あれば書けます

分かりやすい解説だと

<http://blog.sigbus.info/2011/10/bezier.html>

があるが、この三次ベジェになっているのがMMDの補間曲線だ。数式で書けるのだが、意外と難しくはない。

理屈的には線形補間とほぼ同じである。 $M = (1 - t)A + tB$ が理解できていれば問題ない。

さつきの4点を $P_1 \sim P_4$ とすると

$$M = (1 - t)^3 P_1 + 3(1 - t)^2 t P_2 + 3(1 - t)t^2 P_3 + t^3 P_4$$

と言う式になります。ちなみに2次ベジェだと

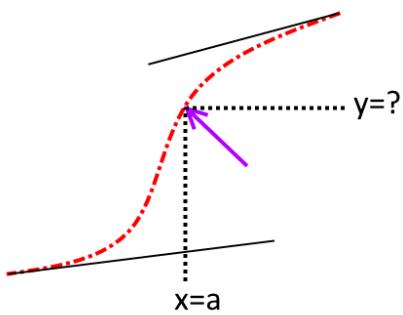
$$M = (1 - t)^2 P_1 + 2(1 - t)t P_2 + t^2 P_3$$

になります。なんとなく法則性はわかりますよね？

さて、今回は三次ベジェだから

$$M = (1 - t)^3 P_1 + 3(1 - t)^2 t P_2 + 3(1 - t)t^2 P_3 + t^3 P_4$$

で座標は分かるんですが、肝心の媒介変数 t がわからない! t がわかれれば x も y もわかるのだが、知りたいのはそれではないのだ。



例えばこういう曲線において $x=a$ だった時の y 座標を知りたいときはどうだろう
式で表せているのだから $y=f(x)$ の式にできそうなものであるが…。たとえば $x=0.5$ の時を想像してもらえば分かるが、簡単な定数の時ですら $y=f(x)$ を求めるのは困難である。
もちろん 0 の時と 1 の時は固定であるから $x=0, 1$ のとき $y=x$ である。だがそれ以外の時は求めようがないのだ。

ここで重要なのが『近似値』の考え方である。今までの皆さんには方程式と言えば答えが…
はっきりした答えが出るものばかりを扱ってきたんだろう? 例えれば

$$ax^2 + bx + c = 0$$

を満たす x は

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

と言う風にはっきりとイコールで結ばれる値だ。これをはじき出すのが困難である場合に『近似値』は非常に役に立つのだ。

ニュートン法(ニュートン・ラフソン法)

x から y (今回は t だけど)を高速に計算したい…そんなお客様のご要望にお応えするのがニュートン法(もしくは二分法)という近似計算です。

ニュートン法は微分を応用した近似計算法です。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%8B%E3%83%A5%E3%83%BC%E3%83%88%E3%83%B3%E6%B3%95>

x から最終的には y を求めたいので、一旦 x と y を分離して考えます。

目的は

$$x = (1-t)^3 x_1 + 3(1-t)^2 t x_2 + 3(1-t)t^2 x_3 + t^3 x_4$$

を満たす t を求めることです。何故かと言うと変数は x ですが、それを満たす t が分からな

いと γ が求まらないからです。

γ が求まればあとは

$$y = (1-t)^3 y_1 + 3(1-t)^2 t y_2 + 3(1-t)t^2 y_3 + t^3 y_4$$

の y は↑の式にその γ の値を入れてやれば求まるわけです。

なお、3次方程式の一般解は

$$\begin{aligned} x &= \frac{\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3}{3\sqrt[3]{2}a} - \\ &\quad \frac{\sqrt[3]{2}(3ac - b^2)}{3a} - \frac{b}{3a} \\ x &= -\frac{1}{6\sqrt[3]{2}a}(1 - i\sqrt{3}) \\ &\quad \frac{\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3 +}{3 \times 2^{2/3}a\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3}} - \\ &\quad \frac{(1 + i\sqrt{3})(3ac - b^2)}{3 \times 2^{2/3}a\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3}} - \\ x &= -\frac{1}{6\sqrt[3]{2}a}(1 + i\sqrt{3}) \\ &\quad \frac{\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3 +}{3 \times 2^{2/3}a\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3}} - \\ &\quad \frac{(1 - i\sqrt{3})(3ac - b^2)}{3 \times 2^{2/3}a\sqrt[3]{(-27a^2d + 9abc - 2b^3)^2 + 4(3ac - b^2)^3} - 27a^2d + 9abc - 2b^3}} - \end{aligned}$$

となつており、死ぬほど複雑なことがお分かりいただけだと思います。

ちなみに、 4×4 行列の逆関数も死ぬほどややこしく実用的には「ガウスの消去法」というテクを用いて求めるのですがこういふ「死ぬほどややこしい」時はそういう素いテクニックや近似を用いることになります。

ニュートン法の説明を見ると、こういう風にして近似値を求めるらしいです。

$$t_{n+1} = t_n - \frac{f(t_n)}{f'(t_n)}$$

これは漸化式と言いますが、漸化式って知っていますかね…数列とかで出てくるんですが…まあ、大した話じゃないです。例えば

$$a_{n+1} = a_n + 1$$

だとすると数列が $1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$ となる。これは分かるかな? ゲームプログラミングにおいては漸化式的な計算によって難しい数式を簡単に表現する事をよくやっています。

例えばジャンプするという場合、高校の物理では

$$y = \int_{t_s}^{t_e} v - gt dt = \left[vt_e - \frac{gt_e^2}{2} - \left(vt_s - \frac{gt_s^2}{2} \right) \right]$$

みたいに説明されてて、特に $t_s = 0$ としてかかった時間を t として公式

$$y = vt - \frac{gt^2}{2}$$

としていますが、これって結局ものごとつ小さい+に対して

$$v_0 = \text{初速度}$$

として

$$v_{n+1} = v_n - g$$

$$y_{n+1} = y_n + v_n$$

としてるようなもんなんのね。これ自体は皆さんのがゲームループでやってる事と一緒にだと思いませんか？

ちなみに今回使う「微分」は超初心的な話なので皆さんにも分かっていただけたと思います
…たぶん。

微分ってのはひとことで言うと「2次曲線とかN次曲線の『接線の傾き』を求めるためのもの

です」

その計算も非常に簡単で

$$f(x) = ax^n + bx^{n-1} + cx^{n-2} \dots wn + q$$

$$(x^a)' \rightarrow ax^{a-1}$$

元の数のマイナス1

ってな式の場合、乗数を係数として掛け算してやって、さらに乗数を1引きます。つまり
こんな感じの計算を全ての要素について計算してあげます。そうするとさっきの例だと

$$f'(x) = nax^{n-1} + (n-1)bx^{n-2} + (n-2)cx^{n-3} + \dots w$$

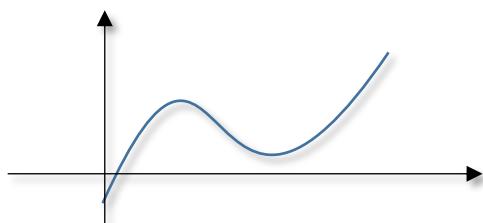
となります。なお、 x_0 の時の傾きを求めたければ

$$\text{傾き}_0 = na(x_0)^{n-1} + (n-1)b(x_0)^{n-2} + (n-2)c(x_0)^{n-3} + \dots w$$

となります。なお、

x_0 は定数ですので、傾きも定数で算出されるというわけです。

基本的な微分の話が終わったところで、ニュートンラフソン法というのは、これを用いて、方程式の解を近似するものなのですが、



例えばこういう3次曲線とX軸との交点を求めたいとします。で、三次曲線以上って解を求めるのが結構大変なんですよね。という事で、コンピュータを使うときは近似を用います。

そのための近似法のひとつとして、先ほど紹介したニュートンラフソン法ってのがあるわけです。こいつの目的はひとまずはn次関数の関数のグラフとX軸との交点を求めることです

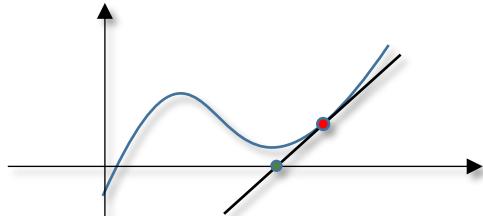
①曲線上の適当な点を打ちます。

②その点の傾きから直線の式を求めます

③直線の式からX座標との交点を求めます

④③の点のY座標が0でないなら①に戻ります

というわけです。図で示すと



適当な点を打ち、接線を求めます。そうすると図のようにY軸との交点がわかりますね？ちなみに交点は、上図のY座標が0になるところなので

$$0 - f(x_0) = f'(x_0)(x - x_0)$$

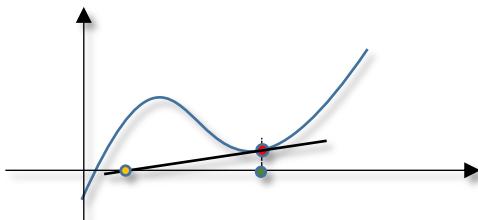
という式が成り立ちます。これをxの式にします。

$$-\frac{f(x_0)}{f'(x_0)} = x - x_0$$

移項すると

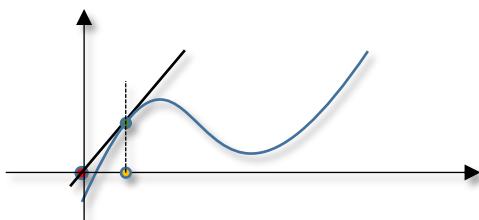
となりX座標が求まります。

そこからさらにそのX座標を求めます。



で、そのX座標における接線を求めます。

とまあ、これを繰り返していくうちに解に近づいていくというわけです。



ただ、近似なのである程度収束したら(何回制限かけとかして)計算を打ち切ります。

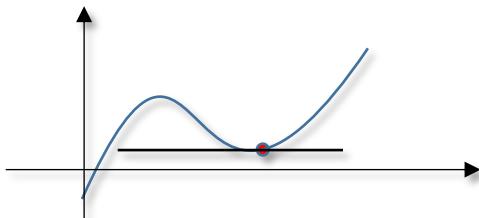
ともかく、これをさっさと数式にしたいところだが、その前にまずやることがある。それは式を簡単にできるという事だ。



を見れば分かる通り「端点」は固定(はじめは0で最後は1)である。つまり先ほどの式は

$$x = t^3 + 3t^2(1-t)x_3 + 3t(1-t)^2x_2$$

と書くことができる。もう一つある特徴は、MMDの傾きがマイナスになることはないのです。これもし傾きがマイナスになると…というか、プラスとマイナスが混在しているとかなり面倒なんですよね。要は



接線の傾きがこんな感じになる箇所がある場合、答えに全然近づかないですよね？

ただ、プラスとマイナスが混在しなくても〇になる箇所はあります。↑の例の中間地点です

ね?この時は0になった部分で計算を打ち切ってOKです。なぜって+によってXが変わらないから問題ないのです。

ともかくこの方式によって求めたい+の近似値を得ることができます。もちろん何回も繰り返さなければならぬので、そこはループを用います。

ところで

$$x = t^3 + 3t^2(1-t)x_3 + 3t(1-t)^2x_2$$

を移行すると

$$0 = t^3 + 3t^2(1-t)x_3 + 3t(1-t)^2x_2 - x$$

であり、この式が0に近づくような+を求めればいいわけです。あと、初期値は $t_0=x$ でいいと思います。

つまり

$$t_0 = x$$

であり

$$f(t) = t^3(1 + 3x_2 - 3x_3) + t^2(3x_3 - 6x_2) + t(3x_2) - x$$

であるから

$$f'(t) = 3t^2(1 + 3x_2 - 3x_3) + 2t(3x_3 - 6x_2) + 3x_2$$

である。

もちろん、xやら x_3 やら x_2 は定数なので、プログラムが求めてくれる。

また、

$$f(t_n) = 0$$

になった場合は計算を打ち切っていい。解が求まっているからだ。

さらに

$$f'(t_n) = 0$$

になった場合も計算を打ち切ろう。何故なら0除算になるからだ。

あとはこの式から

$$t_{n+1} = t_n - \frac{f(t_n)}{f'(t_n)}$$

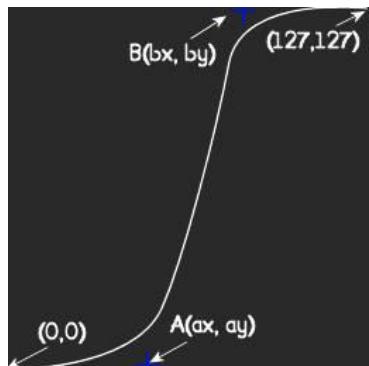
でループしてあげればいい。うん、何言ってるか分からぬと思うので、さっさと実装行ってみよう。

ニュートン法実装

まずはこの方法をとる前に、ベジェのデータがどうなっているのが見てみよう…。

http://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/bc9f1c4d597341b394bd02bb4597499d

なんかこんな図が書いてある…



```
// X 軸      Y 軸      Z 軸      回転
// A (Xax,Xay) (Yax,Yay) (Zax,Zay) (Rax,Ray)
// B (Xbx,Xby) (Ybx,Yby) (Zbx,Zby) (Rbx,Rby)
// とすると、
// Xax,Yax,Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby,
// Yax,Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,
// Zax,Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,00,
// Rax, Xay,Yay,Zay,Ray, Xbx,Ybx,Zbx,Rbx, Xby,Yby,Zby,Rby, 01,00,00
で、FK(フォワードキネマティクス)のときに使用するのは↑の赤い部分だけです…無駄ですか…まあ、後々IKをやる時に役に立つかもなんで我慢しちまし。
```

さて、番号的には 3,7,11,15 ので…

```
ax = interpolation(3)
ay = interpolation(7)
bx = interpolation(11)
by = interpolation(15)
```

これは…あまりにもマジックナンバーすぎるでしょう…('ω; `)

まあ、4ずつ進んではいるんだけど、なんか良い考え方か思いつかなかった…仕方あるまいよ。というわけでそれぞれコメントは書いておこう…な!!

というわけで、0~127 整数値で入ってくるので 0.0f~1.0f に変換

```
ax/=127.0f
```

```
ay/=127.0f;
```

```
bx/=127.0f;
```

```
by/=127.0f;
```

とします。これによりそれぞれの範囲が 0~1 となります。

さて、ここから何とかかんとか近似解を求める関数を作りましょう。とりあえず先ほどの式の通りに関数を作った結果こうなりました。

```
// X値からベジェのY値を(ニュートン法を用いて)返す
///@param x 入力値
///@param a コントロールポイント座標a
///@param b コントロールポイント座標b
///@param n 試行回数(デフォルト16)
///@return Y値

float GetBezierYValueFromXWithNewton(float x, const XMFLOAT2& a, const XMFLOAT2& b,const unsigned int n=16) {
    if (a.x == a.y&&b.x == b.y) return x;//直線になってるのでx=yである⇒計算不要
    //ニュートン法の準備
    float t = x;//今は最終的に求めたい媒介変数。初期値はxと同じでいい
    float k0 = 1 + 3 * a.x - 3 * b.x;//t^3の係数
    float k1 = 3 * b.x - 6 * a.x;//t^2の係数
    float k2 = 3 * a.x;//tの係数

    const float epsilon = 0.0005f;
    //ニュートン法ループ
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        float r = (1 - t);//プログラムが長くなるので反転の意味でrとしている
        float ft = (t*t*t)*k0 + t * t*k1 + t * k2 - x;//f(t)です
        if (ft <= epsilon && ft >= -epsilon) break;//適当なところで計算打ち切り
        float fdt = (3 * t*t*k0 + 2 * t*k1 + k2);//f'(t)つまりf(t)の微分結果式
        if (fdt == 0) break;//0除算防止
        t = t - ft / fdt;//ニュートン法で答に近づく
    }
    //ループが終わった時点で、求めたいにある程度近づいている(はず)
}
```

```

float r = (1 - t);
//tが求まつたのでyを求める。
return 3 * r*r*t*a.y + 3 * r*t*t*b.y + t*t*t;
}

```

まずこの関数を作つた。あとは補間パラメータを適用していくわけだが読み込んだものを持っておく必要があります。

KeyFrame 構造体を書き換えます。

```

struct Keyframe {
    Keyframe() {}

    Keyframe(int fno, DirectX::XMFLOAT4& q, const unsigned char ax, const unsigned char ay, const
unsigned char bx, const unsigned char by) :frameNo(fno), quaternion(q) {
        bz1 = XMFLOAT2(static_cast<float>(ax) / 127.f, static_cast<float>(ay) / 127.f);
        bz2 = XMFLOAT2(static_cast<float>(bx) / 127.f, static_cast<float>(by) / 127.f);
    }

    int frameNo;//フレーム番号
    DirectX::XMFLOAT4 quaternion;//クォータニオン
    XMFLOAT2 bz1;//ベジエ係数①
    XMFLOAT2 bz2;//ベジエ係数②
};

};


```

こうしておいて…

あとはこうするだけです。

```
t=GetBezierYValueFromXWithNewton(t, nextIt->bz1, nextIt->bz2);
```

サーバーに Swing2.vmd ってあるので、この処理があるときとない時で比べてみてください。

二分法

ちなみに二分法と言うのもあるらしい。DxLibとかはこっちみたい。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%8C%E5%88%86%E6%B3%95>

<http://www.math.kobe-u.ac.jp/~taka/asir-book-html/main/node35.html>

<https://qiita.com/Ren112358/items/f2c0bbc90810c040a2e5>

理屈自体はこっちの方が簡単かも。

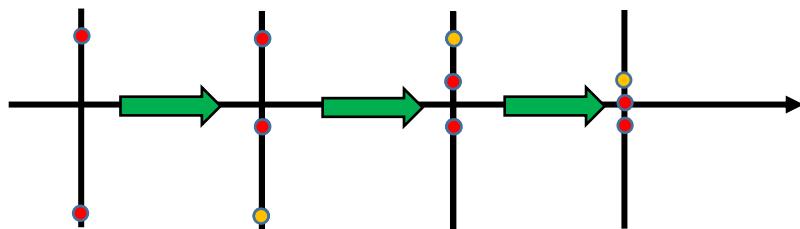
ニュートン法の時と同様、 $f(x)=0$ となる点を探すというのを最終目的とする。

で、とにかく $f(x) = 0$ をはさんでしまうような $f(a)$ および $f(b)$ を考える。

$f(a)f(b) < 0$ とする(符号が違う → $f(x) = 0$ をはさんでいる)

ここをスタートとしてあとは $f\left(\frac{a+b}{2}\right)$ を考える。この符号を確認し、 $f(a)$ か $f(b)$ のうち、符号が同じものに入れ替える。

これにより挟み撃ち的に段階的にプラスとマイナスから段々 $f(x)=0$ に近づくはずである。



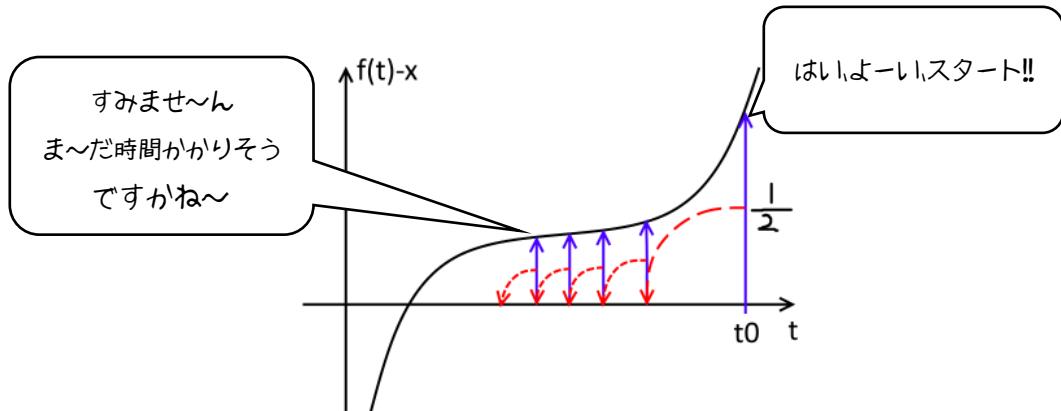
つまり、ニュートン法と同じく繰り返し前提である。ちなみにニュートン法よりも収束速度は遅い(つまりループ回数を多く要求される)

ある程度 0 に近づくか、ループ回数上限を越えたら打ち切りとする。

とはいって、実際にはそもそも「符号の違う **2つ**」を選び出すのが困難というかやりようがない。適当に取った点が両方プラスだったら終わりだ。

DxLib 実装(二分法ならぬ DxLib 法)

んにやび実装ヨグワガソナイネ。ということで DxLib おじさんのソースコードをのぞいてみます。とりあえず図にするとこんな感じ



確実かもしれないけど…遅くなれつか?

$$f(t) = r^2t + rt^2 + t^3 - x$$

として、

$$t_{n+1} = t_n - \frac{f(t_n)}{2}$$

で収束させていく。のことと DxLib のを参考にして…

// 2分法を用いてXからYを計算する

```
float GetBezierYValueFromXWithBisection(float x, const XMFLOAT2& a, const XMFLOAT2 b,
const unsigned int limit=32) {
    if (a.x == a.y && b.x == b.y) return x;
    float t=x;
    float r = 1 - t;
    const float epsilon = 0.0005f;
    for(int i=0;i<limit;++i){
        r = 1 - t;
        float ft=3*r*r*t*a.x+3*r*t*t*b.x+t*t*t-x;
        if(ft<=epsilon && ft>-epsilon)break;
        t-=ft/2.0f;
    }
    r = 1 - t;
    return 3 * r*r*t*a.y + 3 * r*t*t*b.y + t*t*t;
}
```

とできます。

どちらでもいいですが、僕はニュートン法がお勧めです。収束速いし、計算量自体は同じくらいだし。MMD のモーションデータベジエならそうそう発散はおこらないと思いますし…。

http://www.yamamo10.jp/yamamoto/lecture/2006/5E/nonlinear_equation/nonlinear_eq.html/node5.html

リファクタリング③

あー、どうしようかなー。ここまで終わったら正直あとはマルチパスレンダリングなんだけど、あまり連續してやるとたぶん、脳みそパンクするかなーって思うんだけど…。一応リファ

クタリングの時間は上げるので、もしついてこれでない人がいたら質問するなりなんなりしてついてきてください。

マルチパスレンダリングすつかなー。マルチスレッドすつかなー。バンドルすつかなー。

http://www.project-asura.com/program/d3d12/d3d12_004.html

とりあえず、全然間をとらずに、軽く検証から始めようか…。

いろいろ検証

気になってる人も多いかもしれません。

そういえばルートシグネチャの指定。アレ全部デスクリプタヒープでやってたけど、実は必要ないんじゃない? とか思う。つまり、中身にいわゆる「レンジ」が1種類だけの場合など、CBVとかSRVの指定でいいんじゃない? か?

検証①:DescriptorTable以外を使ってみる。

とか思いました。

(ただ、そこで「使い分け」的な事をやると全体設計がややこしくなるし、別にそうしたからと言つて特に速度的なメリットも感じられない)ので、あくまでも検証です。

Constants

正直よくわからないのが、

D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_32BIT_CONSTANTS

なんですが、さっと Web ページ見てもなんかきっちりした説明がないんですよね。公式リファレンスでも「RootParam」としか書いてないし…

もんじょ氏のサイトでは

<https://sites.google.com/site/monshonosuana/directxno-hanashi-1/directx-145>

そのまま抜粋させていただきますが

「32BIT_CONSTANTS は定数バッファレジスタに対して直接定数を設定するためのパラメータです。

D3D12_ROOT_PARAMETER::Constants.Num32BitValues で 32 ビット(4 バイト)の定数をいくつ割り当てるかを指定します。

例えば float4 1 本を割り当てたいのであれば 4 を指定することになります。

「Table 以外の指定方法がある理由は、Table にするほどではないような小さなデータを扱いやすい」とか、そもそも更新頻度が少ないので「直接指定してもコピー回数が多くならない」とかの理由があるかと思います。」

と書かれており、また

Table の主な使い方は DrawCallごとに切り替えが多く発生するレジスタに対して有效です。マテリアル/パラメータやテクスチャはその典型です。
逆に、1シーンで1回しか切り替わらないものは Descriptor を直接使用した方が Heap を余分に作成しない分、管理が簡単になります。
また、float4 程度の小さな定数であればわざわざ定数バッファを作成して面倒な管理をしなくとも、32ビット定数を使用した方が簡単でしょう。
 と、書かれてもいます。

更にこれをセットするには

SetGraphicsRoot32BitConstants

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/api/d3d12/nf-d3d12-id3d12graphicscommandlist-setgraphicsroot32bitconstants>

を使用すると思うのですが、説明が簡素過ぎてよくわからない…!!

正直なところ資料も少なすぎて、バッファはどう扱うべきか、デスクリプタヒープはいらないんだろうか?

一応説明してそうなサイトは見つかりましたが…

http://miltynl/grad_guide/basic_implementation/d3d12/rendering.html

日本語訳

「32ビット定数」定数バッファはルートシグネチャで定義され、シェーダへの定数バッファとして公開されます。「32ビット定数」システムを使用する利点は、頻繁に更新されるデータに対して複数の定数バッファをタップルバッファする必要がないことです。ただし、あまりデータを更新しないように注意する必要があります(なんで?)。ここで呼び出しあは、頂点シェーダのビュー投影行列を示す32ビット定数の最初の範囲を更新します。

ああ~。

マジで?…つまり…まさか…そんな…ばかなっ…!!

直接書き換えるのおおおおおおおおおお!!!!

例えばWVP+視点座標とかなら $16 \times 3 + 4 = 52$ なので…

```
rootparam[0].ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_32BIT_CONSTANTS;//
rootparam[0].Constants.RegisterSpace = 0;
rootparam[0].Constants.ShaderRegister = 0;
```

```
rootparam[0].Constants.Num32BitValues = 52;
rootparam[0].ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_ALL;
```

ってやつといて…

```
_cmdList->SetGraphicsRoot32BitConstants(0, 52, &_tm, 0);
```

で普通に値が渡ります。やってみてくださいとは言いませんが、まあ、楽ではありますわな。速度検証やってないのでわかりませんが、恐らくコピー内容がでかいと遅くなるんじゃないかなって事と、そもそも一度に設定できる限界があるんじゃないかなって思ってます。
もしかしたら DirectX11 時代はこれで送っていた可能性が…?

ともかく、上限について書いてるサイトもないみたいなので、64 以上送れるかどうかだけ検証してみましょう。

```
struct TransformMatrices { // 16が3本=12と4が1本…52…たぶん64が限界
    DirectX::XMATRIX world;
    DirectX::XMATRIX camera;
    DirectX::XMATRIX wvp;
    DirectX::XMFLOAT4 eye;
    // (検証用ダミー人形)
    DirectX::XMATRIX dummy; // プラス16で、68
};
```

こうしといて

```
rootparam[0].Constants.RegisterSpace = 0;
rootparam[0].Constants.ShaderRegister = 0;
rootparam[0].Constants.Num32BitValues = sizeof(TransformMatrices)/4;
rootparam[0].ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_ALL;
```

こうして…

```
_cmdList->SetGraphicsRoot32BitConstants(0, sizeof(_tm)/4, &_tm, 0);
```

こうして…どうよ!!

クラッシュしたよ!!シェーダ側にきちんと対応かかないダメかな?
じゃあ hsl 側で…

```
//定数レジスター
cbuffer Mat :register(b0) {
    matrix world;//ワールド
    matrix view;//ビュー
    matrix wvp;//合成済み
    float4 peye;//視点
    matrix dummy;//ダミー人形
};
```

どうかな??やっぱりクラッシュ。

原因を見てみると、やっぱり「ルートシグチャ」生成で失敗しているっぽいです。どつかに 64
以上はダメよって明記してないのかな…一応検索したら

[\[PDF\] Introduction To 3D Game Programming With Direct X 12](#)

ceng2.ktu.edu.tr/~cakir/files/DX12Book.pdf

are trying to push the graphical limit, we want to avoid this situation, as we are not taking

Num32BitValues: The number of 32-bit constants this root parameter expects. For performance, there is a limit of sixty-four DWORDs that can be.

こう出てたんで、まあ 64 が限界で間違いないと思うんですが公式のドキュメントないとな~
俺もな~。

公式ではないんだけど、件の PDF にはこう書いてありました

"Root constants are used to bind constant values directly in the root signature. For performance, there is a limit of sixty-four DWORDs that can be put in a root signature."

んにゃぴ…やっぱり 64*4=112 イト以上はダメなんやなって。ていうかこの PDF どつかの書籍の
違法アップロードじゃないの? こわいなー ブラウザとすとこ。

↓どつかの書籍と思われる Amazon ページ

<https://www.amazon.co.jp/Introduction-Programming-DirectX-Computer-Science/dp/1942270062>

これあがんやつや…。チラ見でもネット警察に逮捕されるかもしだれへん許してください何でもしますから…。

Descriptor(重要…最初に知っておくべきだよ)

DescriptorTableではなく、Descriptor。名前からしてテーブルでないDescriptorだろうなあと思います。

結論から言いますと拍子抜けするくらい簡単でした…これでええの?っていう感じで。

いや、フツーにここまでやれてる人なら「ウソだろお前…」っていう気持ちになると思います。いやホンマに。

今回はボーン/ドッファを Descriptor にしてみたのですが、変更点としては…ルートシグネチャから

```
//ボーン用ルートパラメータ設定
rootparam[2].ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_CBV;
rootparam[2].Descriptor.RegisterSpace = 0;
rootparam[2].Descriptor.ShaderRegister = 2;//レジスタ番号
rootparam[2].ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_VERTEX;
```

次に定数/ドッファのセットコードを Update 関数内に書きます。

```
//ボーン/ドッファのセット
_cmdList->SetGraphicsRootConstantBufferView(2, _boneBuffer->GetGPUVirtualAddress());//
```

以上!!!

フツー!?

ウソだろお前…。今までの苦労がこわれちゃ~う!!

まあDescriptorTableはメリットがあって存在してるので、やった意味はあったんですが最初は(少なくともDirectX11からの移行の初回はさ)これを使ってたら良かつたんじゃないですかねえ…。まつ!!!結果オーライっす!!!

ということでここから言えるのはルートパラメータにおいて64*4バイト以内で頻繁に更新が発生しないWVPなどはConstsで定義し、ボーン行列1本をただ送る場合はDescriptorのCBVでバッファ設定し、1回切り替わるマテリアルやテクスチャはデスクリプターテーブルで送るというように使い分けるのがいいんじゃないかなと思います。

ここまで拍子抜けするくらいの検証結果だったけど、資料的なのがなくて手探りだから結構時間がかったんやで~泣けますよホンマに。

一応そういう風にすれば「デスクリプターヒープ」ぶんは節約できるからなあ…。

検証②:Bundleについて

DirectX12にはBundleという新機能がある。昨年はこれも検証できていなかったが、せつかくだからやっていきたい。

↓紹介記事

<https://www.4gamer.net/games/033/G003329/20140321013/>

<https://game.watch.impress.co.jp/docs/news/691758.html>



Bundles

Nice way to submit work early in the frame

Nothing inherently faster about bundles on the GPU

- Use them wisely!

Inherits state from calling Command List – use to your advantage

- But reconciling inherited state may have CPU or GPU cost

Can give you a nice CPU boost

- NVIDIA: repeat the same 5+ draw/dispatches? Use a bundle
- AMD: only use bundles if you are struggling CPU-side.

10

まあそういう素晴らしいBundleというものを皆さんにも活用していただきたいと思いまして、検証をやっていきます。ただ…「速度が向上した」ということを知るためにパフォーマンス計測が必要なのは言うまでもないのでパフォーマンス計測する必要がある。

画面上に FPS 表示をしてもいいんだけど作業的に面倒だし、紹介しておきたいツールもあるのでご紹介しておきます。

Pix for Windows とは

Pix for Windows ってのがあります。

<https://blogs.msdn.microsoft.com/pix/download/>

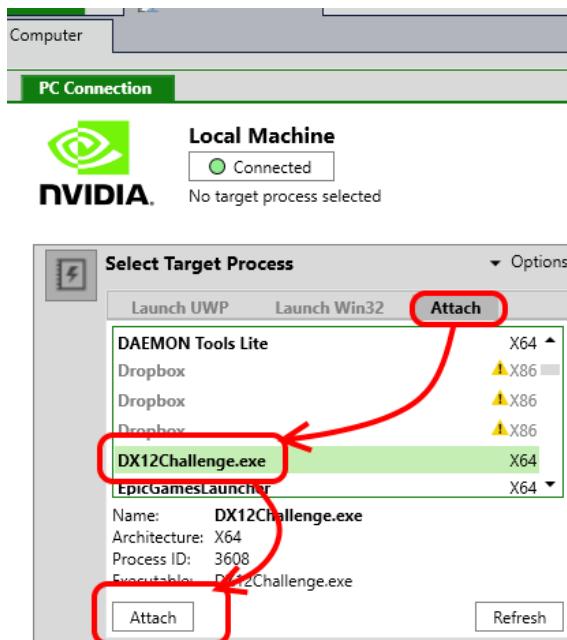
とにかく落としてきまし。Visual Studio のデバッガでもいいんですけどねえ。たぶんこっちの方が高性能だと思うんでせつかくだから俺は Pix for Windows を使うぜ!!

あ…もしかしてインストール必要? もしそうだったら呼んでください。例によって教員用パスワードでインストールします。

簡単なパフォーマンス測定

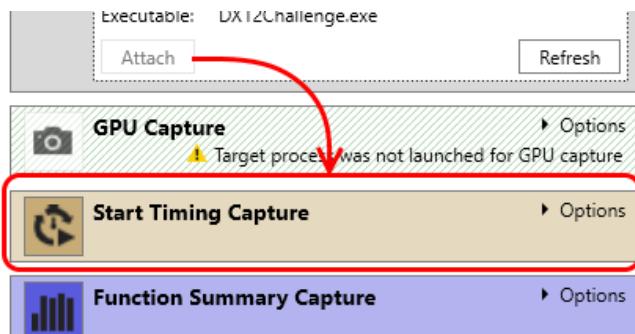
インストールしたら立ち上げてください。

いつもの感じで自分のプログラムも実行してください。



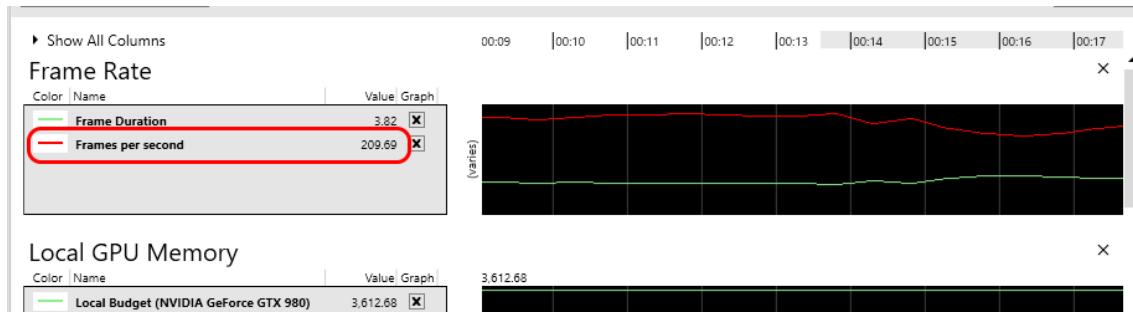
こんな感じのが立ち上がってると思います

もし自分のアプリを立ち上げていれば一覧に自分のアプリの名前があると思います。なければ Refresh ボタンを押してもう一度探してみてください。見つかったら Attach をクリックします。



Start Timing Capture をクリック

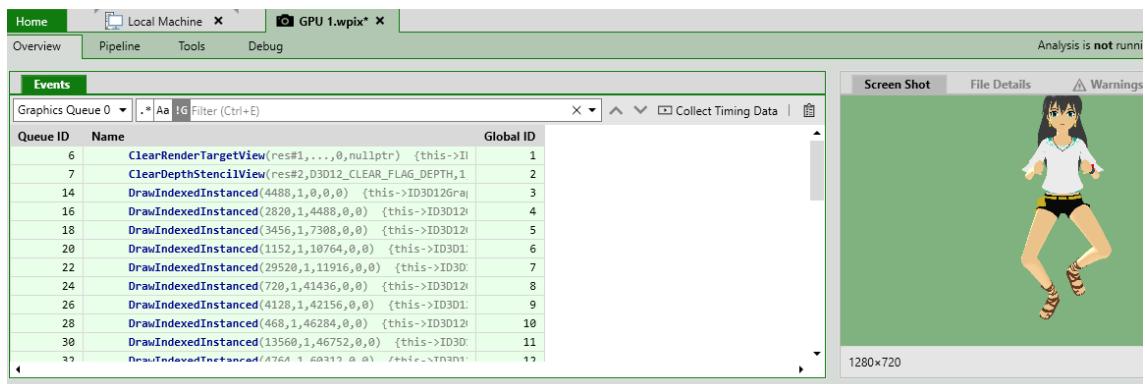
そうすると右上にこういうのが出でてきます。



FPS 速すぎイ!!

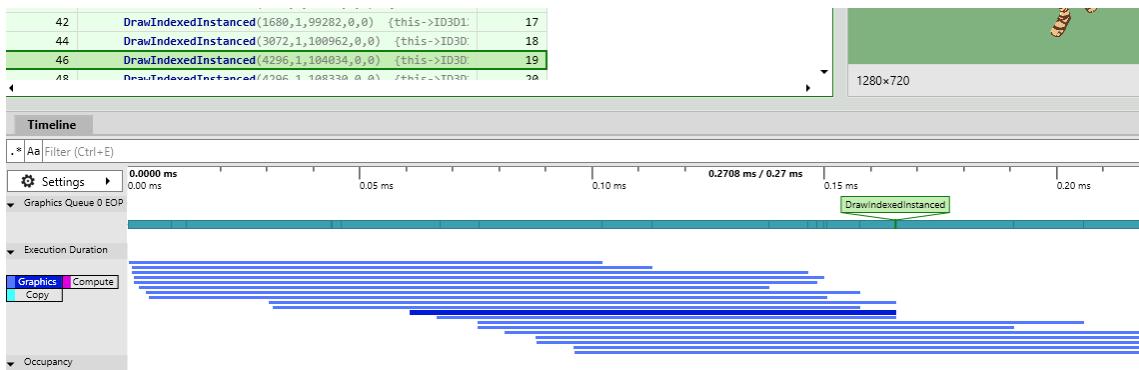
…とか思いました? 1体しか出してないのにこれはヤバいですよ。まあデバッグなんですね。(リリースでも 600fps 近辺です)

じゃけん、これから少しでも早くしてイキましょうね~。ちなみに「GPU Capture」を撮ると



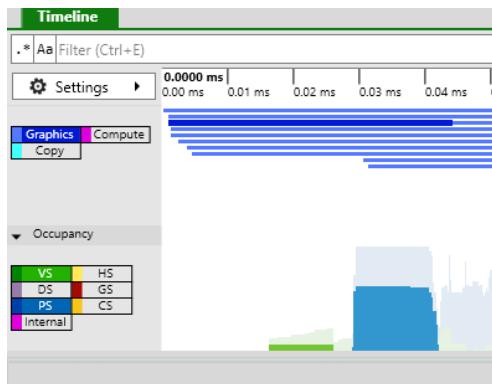
こういう画面が出て来て、ドローコール数などを確認できます。

ちなみに下の画面に出てくるなんか Click なんとか Analyse ってのをクリックすると



こういう風に一つ一つのドローコールが使用している時間が表示されます。
こういうのを見て、何処がボトルネックになっているのか特定していくわけです。

さらに Occupancy の Enable をクリックするとシェーダの GPU 占有時間を見ることができま
す!!



まあここまで説明したけど、とりあえず今検証してみたいことはバンドルで速度が向上する
かどうかなので、ちゃっちゃとそっちをやっていきましょう。

バンドルに関しては

<https://bang-dream.com/>

あつ間違えた。

http://www.project-asura.com/program/d3d12/d3d12_004.html

<https://www.isus.jp/games/direct3d-12-overview-part-5-bundles/>

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/recording-command-lists-and-bundles>

<https://software.intel.com/en-us/blogs/2014/08/14/direct3d-12-overview-part-5-bundles>

が参考になるんじゃないかなと思ひます。

たぶん細かい命令セットを記憶させておいて再利用することで速度の向上を図るとかそういうのじゃないかなとは思ひます。

うん、とりあえず共通して書かれている事としては

「バンドルは、一度記録され複数回再利用される小さなコマンドリストです。それらは、フレームにまたがって、もしくは単独のフレームで再利用でき、再利用に制限はありません。」
バンドルは、任意のスレッドで生成し、回数無制限で利用することができます。しかし、バンドルは PSO 状態に拘束されません。バンドルが異なるバインドで再実行され、ゲームの結果が異なる場合、PSO が記述子テーブルを更新できることを意味します。Excel の表計算内の数式のように、数学的には常に同じですが、結果はソースデータによって異なります。

「速度が向上するわ~」とはどこにも書いてないので自分で検証するしかありませんよ。

恐らくは「DirectX12 はおまとめ得意よ~」的な思想から発生しているものだろう。

やること自体はそう難しくなさそうなので、ちゃちゃっとやってみましょう。

バンドルを利用してみる

モチロン一番頼りになったのは MS の公式ページです。

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/recording-command-lists-and-bundles#bundle-restrictions>

ともかくバンドルもコマンドリストのお仲間のようです。というわけでコマンドアロケータとコマンドリストを「バンドル用」に作ってあげる必要があります。

やり方はコマンドリスト生成時と同じ。パラメータがちょっと違うだけです。

速度の向上よりコードの可読性や CPU 時間が節約できる事が期待できそうですね。ひとまず事前にバンドルを作成するという事で、関数を作って、そこでバンドル用アロケータもバンドル用コマンドリストも作っていきましょう。

関数の名前は CreateModelDrawCommandBundle としました。そしてバンドル用のアロケータとコマンドリストを作ります。この時、コマンドリストタイプを BUNDLE にするところがポイントです。

```
auto result = _dev->CreateCommandAllocator(D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_BUNDLE,  
IID_PPV_ARGS(_bundleAllocator.GetAddressOf()));
```

```
result = _dev->CreateCommandList(0, D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_BUNDLE,  
_bundleAllocator.Get(), _pipeline.Get(),  
IID_PPV_ARGS(_modelDrawBundle.GetAddressOf()));
```

さて、次にバンドルに命令を積んでいきます。この時に何でも積めるわけではなく、
<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/recording-command-lists-and-bundles#bundle-restrictions>

に書いてあるように

The following command list API calls are not allowed on command lists created with type: D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_BUNDLE:

- Any Clear method クリア系のメソッド全部ダメ
- Any Copy method コピー系のメソッド全部ダメ
- DiscardResource
- ExecuteBundle
- ResourceBarrier
- ResolveSubresource
- SetPredication
- BeginQuery
- EndQuery
- S0SetTargets
- OMSetRenderTargets
- RSSetViewports
- RSSetScissorRects

これらの関数は積むことができません。ご注意ください。僕もこれを忘れて1~2時間を悪戯に浪費してしまいました。皆様も気をつけましょう。

まずはバンドルする前にこいつらと、そうじゃない奴を別々にまとめておくと移行が楽ですよ。

普通に値のセットやヒープのセット…頂点情報のセットなどなど↑の関数以外の命令は全部積んでみます。

あつ、この時に何故かハイライトがあるんですけど

『[SetDescriptorHeaps](#) は、バンドル上で呼び出すことができますが、バンドル記述子のヒープは呼び出し元のコマンドリスト記述子ヒープと一緒にしなければなりません。』

これ、Google 大先生翻訳しても正直良く分からないので、原文を読んでみた。

"[SetDescriptorHeaps](#) can be called on a bundle, but the bundle descriptor heaps must match the **calling command list descriptor heap**."

つまりアレか? バンドで使用するデスクリプタヒープはコマンドリスト側でも同じものを設定しておかないとまともに動かないってか!?

はい、ウェイトに捕まってしまいます。エラーの発生も分かりづらいんじゃ!!!

とにかく現在の描画に関するコマンドを全部移行してみました。

```
Dx12Wrapper::CreateModelDrawCommandBundle() {
    auto result = _dev->CreateCommandAllocator(D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_BUNDLE,
        IID_PPV_ARGS(_bundleAllocator.GetAddressOf()));

    result = _dev->CreateCommandList(0, D3D12_COMMAND_LIST_TYPE_BUNDLE,
        _bundleAllocator.Get(), _pipeline.Get(), IID_PPV_ARGS(_modelDrawBundle.GetAddressOf()));

    _modelDrawBundle->SetGraphicsRootSignature(_rootSignature.Get());

    //

    _modelDrawBundle->IASetPrimitiveTopology(D3D_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TRIANGLELIST);
    _modelDrawBundle->IASetVertexBuffers(0, 1, &_vbView);
    _modelDrawBundle->IASetIndexBuffer(&_ibView);

    //

    _modelDrawBundle->SetGraphicsRoot32BitConstants(0, sizeof(_tm) / sizeof(float),
        &_tm, 0);

    /////
    // 定数バッファのセット
    _modelDrawBundle->SetGraphicsRootConstantBufferView(2, _boneBuffer-
        >GetGPUVirtualAddress());
}
```

```

size_t idxoffset = 0;
_modelDrawBundle->SetDescriptorHeaps(1, &_materialHeap);
auto matHandle = _materialHeap->GetGPUDescriptorHandleForHeapStart();
const auto increment_size = _dev-
>GetDescriptorHandleIncrementSize(D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV);
for (auto& mat : _model->Materials()) {
    auto idxcount = mat.face_vert_count;
    //マテリアル変更←マップの書き換え
    _modelDrawBundle->SetGraphicsRootDescriptorTable(1, matHandle);
    //描画命令
    _modelDrawBundle->DrawIndexedInstanced(idxcount, 1, idxoffset, 0, 0);
    idxoffset += idxcount;
    matHandle.ptr += increment_size * 5;
}
_modelDrawBundle->Close();
}

```

この関数を初期化時に呼んでおくと…Update 関数内の画面クリアやレンダーターゲットセット系以外のコマンドは

```
_cmdList->ExecuteBundle(_modelDrawBundle.Get());
```

で事足りる。

検証結果

結局総コマンド数は変わってないし、GPUへの命令数、データ量はそのままなので、特に高速化されたわけではなかった。ただ、毎フレームのコマンド発行コストそのものは節約されているので、CPU 時間が多少は節約されてはいるようだ(現段階だと雀の涙程度)。もっとオブジェクトが増えた時に検証しながらしてみると面白いかも知れない。

あとはアップデート関数内がすっきりしたので、可読性のためには良かったのかもしれない。

Bundle を完走した感想

さて、Bundle 兄貴を完走した感想ですが、イメージとしては、マクドナルドの注文を「チーズバーガー」「コカ・コーラ」「ポテト M」と注文するのと、「パリューセットで!」っていう違いかなって感じでした。

つまり総カロリーは変わらないので消化器官(GPU)に対する負担は変わりません。
しかし注文時に「チーズバーガー」「コカ・コーラ」「ポテト M」と注文するより、「パリューセットで!」って言う方が手取り早い。つまり CPU 側の負担はちょっとだけ減る。そういう感じです。

ただ、このバンドルの書き方を知っておくといいのは Microsoft や様々な人のサンプルでは Bundle が多用されてて、バンドルの仕組み自体を知らない』と『????』という状態になってしましますので、これを知っておく意味はあると思います。

その他今のうちにやっておきたい事

可変フレームレート状態で拳動を合わせる

DxLib では画面更新の際にフレーム待ちしてくれるんで、よほどの処理落ちをしない限りは PC によって拳動が変わることがありません。しかし現在の実装では待ちを入れていなければ、各 PC でものごつ高速になったりします。

少なくとも MMD の速度(30fps)に合わせて動かしたい

30fps ということはつまり…

1 秒間(1000 ミリ秒)あたりに 30 フレーム動くので $1000/30=33.33333333\dots$ である。

ということは経過ミリ秒 / 33.3333 = 経過フレーム数となる。このため

```
static auto lastTime = GetTickCount();
MotionUpdate(static_cast<float>(GetTickCount() - lastTime) / 33.3333f);
```

とすれば、フレームレート可変のまま動きは一定になる。なお、↑のやり方だとループにならないので、ループにするにはモーションの長さに 33.3333f をかけたところで lastTime を更新すればいい。

```
if (GetTickCount() - lastTime > _motion->Duration()*33.3333f) {  
    lastTime = GetTickCount();  
}
```

なお、GetTickCount()は「精度が低い」と言われる事が多いため、気になる人は timeGetTime()を使えばいいと思います(winmm.lib のリンクが必要)。さらに精度を求めたかつたら QueryPerformanceCounter を使用すればいいと思います。

これ以上説明するのが面倒なのでぼくは使わないです。各自調べてやつといてください。

マルチパスレンダリング

ああ~ついにここまでやってきてしもたんじゃああ~びっくりするねえ…。ここでいう「マルチパスレンダリング」は一度普通にバッファにレンダリングしておいてその内容をテクスチャとして利用するというものです。

実際の話、今レンダリングしているそのキャンバスが既にテクスチャなので、怖がることはあります。

ただ、レンダリング結果をテクスチャにするという事は、そのテクスチャを表示するためのペラポリゴンも必要なのでメンドクサイっちゃめんどくさいです。ただ、これ覚えとくと、テクスチャに対して色々と加工する⇒レンダリング結果に加工するのと同じ。

というわけで、画面の色合いを変えたり、画面割ったり、画面ぼかしたり、レンダリング結果をさらにゲーム内オブジェクト(テレビ画面など)にハメコミ合成したり。

そういう事ができるようになるので、一気に表現の幅が広がります。

ちなみに後述する、影をオブジェクトに落とす「シャドウマップ」も、このマルチパスレンダリングがあるからこそ実装可能なのです。

余談ですが、朝の弱い僕がなぜか4時に起きてこの原稿を書いています。

まあ無駄話はこれくらいにして、実際にやっていきましょう。行きすぎィ。

大雑把な解説

マルチパスのキモは何度もレンダリングを行う所にあります、レンダリング結果をテクスチャとして使用するという事で、一つのリソースに対して RTV と SRV の二つの見方をするという所です。



結構これがややこしくハマる人がいるので油断しないようにしてください。

最初の実践

まず、画面の大きさの RGBA テクスチャを作ってください。今のみんななら大したことないと思います。そしてレンダーターゲットビューおよびシェーダリソースビューを作ります。

↑の RGBA テクスチャを RTV くんと SRV くんで使用しあう事になります。

次に現在の SetRenderTarget の書き込み先をその作ったレンダーターゲットビューに変更します。

で、レンダリング。当然何も映らない。何故かと言うとさっき書き込んだのは画面(バッファ)ではなく、テクスチャとして使用する画像だからだ。ここまでが 1 パス目。

ここから以降は、↑で 1 パス目レンダリングした後の話になります。ポリゴンレンダリング先がテクスチャなので、そのテクスチャを何かに張り付けて、それをまたレンダリングすればいい事がわかります。一番最初にテクスチャ貼ってペラボリ表示したこと思い出してください。

なので、そのテクスチャを貼り付ける先(ペラボリ)を 4 頂点で作つとります。

次にそのペラペラポリゴン(最初に作ったやつ)を用意します。

ペラペラポリゴンを画面上に表示するプログラムを作ります。レイアウトやパイプラインステートが変わるので、それも必要分用意します。

いつものレンダーターゲットにペラポリゴンをレンダリング

ペラペラポリゴンに先ほどのテクスチャを貼り付ける。

終わり。

…え？ 雑スギル？

モーしょーがないなーのびたくんはー

ビュー用ヒープ作る

さっきも言ったように、2つのビューが必要なので作っておきます。

```
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC descHeapDesc = {};
descHeapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_NONE;
descHeapDesc.NodeMask = 0;
descHeapDesc.NumDescriptors = 1;//どうせ1個ずつしか使わないの...
descHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_RTV;//あつ、そつかあここで指定するから...
auto result = _dev->CreateDescriptorHeap(
    &descHeapDesc,
    IID_PPV_ARGS(_heapFor1stPathRTV.GetAddressOf())
);

descHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV;//これを忘れるなよ

result = _dev->CreateDescriptorHeap(
    &descHeapDesc,
    IID_PPV_ARGS(_heapFor1stPathSRV.GetAddressOf())
);
```

真ん中のタイプ切り替えを忘れるといきなり落ちますのでよく見とけよ見とけよ~。
また、一つのヒープに RTV と SRV を混在することはできないので、RTV 用と SRV 用二つ用意します。

リソース作る

これはバッファと同じサイズでいいのでその大きさで作っておいてくださいなお、その際には RESOURCE_DESC を D3D12_RESOURCE_FLAG_ALLOW_RENDER_TARGET にしないとビュー作成時に失敗するので注意しておいてください。

ビュー作る

あとはその1つのバッファに対して二つの見方(ビュー)を作るだけです。
割とそのままいいです。

レンダーターゲットビュー

```
_dev->CreateRenderTargetView(_11FFA, nullptr, _heapFor1stPathRTV->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());
```

シェーダリソースビュー

```
//シェーダリソースビューを生成
D3D12_SHADER_RESOURCE_VIEW_DESC srvDesc = {};
srvDesc.Format = desc.Format;
srvDesc.Shader4ComponentMapping = D3D12_DEFAULT_SHADER_4_COMPONENT_MAPPING;
srvDesc.ViewDimension = D3D12_SRV_DIMENSION_TEXTURE2D;
srvDesc.Texture2D.MipLevels = 1;
_dev->CreateShaderResourceView(_11FFA, &srvDesc, _heapFor1stPathSRV-
>GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());
```

こんな感じで特にクラッシュしなければ大丈夫でしょう。

レンダーターゲット切り替え

レンダーターゲットをさっきのビューに切り替えてください。あ、もちろん深度/ピッファは使うので、それは前の奴を設定してください。

//11パス目

```
_cmdList->OMSetRenderTargets(1, &_heapFor1stPathRTV->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart(), false, dsvs);
```

当然のように画面からモデルさんが消えます。描画先が違うんですから当然ですね。ここまでが11パス目です。

ペラボリ作る

1枚長方形ポリゴンを作ります。横-1~1。縦-1~1。Z値0あたりでつくります。座標情報とUV情報だけで十分だよなあ?

昔作ったやつが残ってたらそれでええんちゃいますやろか。なくなったら流石にそこは自分で考えてどうぞ。

```
Vertex vertices[]={
    XMFLOAT3(-1,-1,0),XMFLOAT2(0,1),//正面
    XMFLOAT3(-1,1,0),XMFLOAT2(0,0),//正面
    XMFLOAT3(1,-1,0),XMFLOAT2(1,1),//正面
```

```

XMFLOAT3(1,1,0),XMFLOAT2(1,0),//正面
};

//ペラバッファ生成
auto result = _dev->CreateCommittedResource(
    &CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),
    D3D12_HEAP_FLAG_NONE,
    &CD3DX12_RESOURCE_DESC::Buffer(sizeof(vertices)),
    D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ,
    nullptr,
    IID_PPV_ARGS(&_peraVB)
);

_peraVB.BufferLocation = _peraVB->GetGPUVirtualAddress();
_peraVB.SizeInBytes = sizeof(vertices);
_peraVB.StrideInBytes = sizeof(Vertex);

```

頂点情報はこれで大丈夫かなと思います。

ペラポリ表示用ルートシグネチャを作る

えーと、また1から作ると思ってください。ですからシェーダもペラ用シェーダを作るとお考え下さい。

なので、レジスタ番号もまた0番から。

今回はテクスチャ1枚を使いたいだけなので、

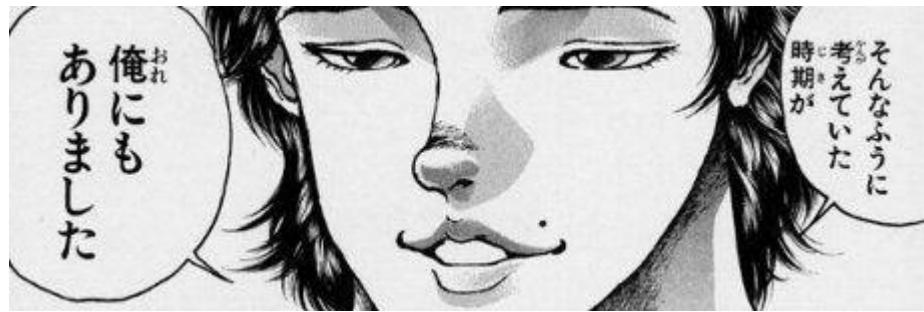
```

D3D12_ROOT_PARAMETER peraparam = {};
peraparam.ParameterType = D3D12_ROOT_PARAMETER_TYPE_SRV;
peraparam.Descriptor.RegisterSpace = 0;
peraparam.Descriptor.ShaderRegister = 0;
peraparam.ShaderVisibility = D3D12_SHADER_VISIBILITY_PIXEL;

```

~~というルートパラメータを作り新しくperaRS(ペラルートシグネチャ)を作ります。~~

これでOKだ…そんな風に思っていた時期もありました。



いや、ルートシグネチャ自体は通るんですが、パイプラインステートでミスマッチとか云々言われるんですわ。

この原因というか、もうルール的にダメなのは決定的なので、その根拠を確かめるべく

<https://docs.microsoft.com/en-us/windows/desktop/direct3d12/using-descriptors-directly-in-the-root-signature>

見てみました。やっぱり公式を…確実やな!!

一応該当すると思われる部分は(Google 日本語翻訳だと)

「ルートシグネチャでサポートされている唯一のタイプのディスクリプタはSRV / UAV フォーマットに **32ビットの FLOAT / UINT / SINT コンポーネント**しか含まれていけない」
「リソースの CBV および SRV / UAV です。」
フォーマット変換はありません。ルートの UAV には、それらに関連付けられたカウンタはありません。ルート署名の記述子は、個別に個別の記述子として表示されます。これらの記述子は、動的に索引付けすることはできません。

一応原文も

The only types of descriptors supported in the root signature are CBVs and SRV/UAVs of buffer resources, where the SRV/UAV format contains **only 32 bit FLOAT/UINT/SINT components**. There is no format conversion. UAVs in the root cannot have counters associated with them. Descriptors in the root signature appear each as individual separate descriptors - they cannot be dynamically indexed.

などとあり、恐らく Texture2D はこの対象外ではないかと思われます(だから mismatch などと言われていた可能性が…?)

また、ちょっと気になったのがちょっと上に書いてあった部分…

(日本語訳)

「アプリケーションは、ディスクリプタヒープを通過することを避けるために、ディスクリプタを直接ルートシグネチャに入れることができます。これらのディスクリプタは **ルートシグネ**

チャの領域(ルートシグネチャの制限のセクションを参照)に多くのスペースを必要とするため、アプリケーションはそれを控えめに使用する必要があります。

ん?

これって…

Applications can put descriptors directly in the root signature to avoid having to go through a descriptor heap. These descriptors take a lot of space in the root signature (see the root signature limits section), so applications have to use them sparingly.

ああそうですか。まあ基本はやっぱり DescriptorTable 使ってことですねえ。やっぱり初心者
ハイハイじやねえか!! ふざけるな!!! (追真)

しゃあない。

いつものようにデスクリプタヒープとデスクリプタテーブルを作って、どうぞ。

というかよく考えたらテクスチャのフォーマットとか幅とか高さとかそういうのってビューとして伝える必要があるわけだし ビューを使うってことは、デスクリプタヒープが必要ってことだし、そう考えるとやっぱりデスクリプタテーブルじゃないとダメみたいですね。
また君かあ。壊れるなあ…。

俺ここで4時間以上ハマったぞクソッタレ!!! (パイプライン通すまで発覚しないため…)

Descriptor は甘え。はつきりわがんだね。

ペラポリシェーダを作る

新しくペラポリシェーダを作ります。ファイル名は pera.hlsl とでもしておきます。

```
//ペラポリシェーダ
//テクスチャとサンプラー
Texture2D<float4> tex:register(t0); //通常テクスチャ
SamplerState smp:register(s0)
struct Output {
    float4 svpos : SV_POSITION;
```

```

float2 uv : TEXCOORD;
}

//頂点シェーダ
Output vs(float4 pos : POSITION, float2 uv:TEXCOORD)
{
    Output output;
    output.svpos = pos;
    output.uv = uv;
    return output;
}

//ピクセルシェーダ
float4 ps(Output input) : SV_Target{
    return tex.Sample(smp,input.uv);
}

```

ペラポリ用レイアウトを作る

ご自分の定義に合わせてください。

```

D3D12_INPUT_ELEMENT_DESC peraLayoutDescs() = {
    { "POSITION",0,DXGI_FORMAT_R32G32B32_FLOAT,0  …(中略)…
}

```

ペラポリ用パイプラインステートを作る

ここでルートシグネチャの仕様により何度も失敗…ふざけるな!!!

まあ、変更点はレイアウトとシェーダだけなので、特に記載する必要はないでしょう。

ペラポリ表示部分を作る

通常のレンダリングができているとして話を進めます。

本番のバッファに書き込むわけですから、レンダーターゲットは本番の奴に書き込んでください。

プリミティブポロジは TRIANGLESTRIP だと長方形の場合は都合がいいですねえ。

あとは頂点バッファをセット。今回は4頂点だけなので、インデックスは不要でしょう。

`DrawInstanced(4,1,0,0)`

でいいと思います。なお、頂点バッファビューを指定し忘れのないように。うまくいけば元通りモデルが踊っている姿が見れると思います。なお、↑の頂点数を3とかにすると「レンダリング結果を貼られたテクスチャ」が表示されているのが分かると思います。

ここまで間違いやすいポイント

ここまで実装するうえで…ぼくがやらかしちゃった部分を書いておきます。

- バッファ(Resource)の作成時

パラメータに注意しましょう。今回のようにレンダーターゲットとして使用する場合には

リソース DESC を

```
resDesc.Flags = rtvFlag? D3D12_RESOURCE_FLAG_ALLOW_RENDER_TARGET: D3D12_RESOURCE_FLAG_NONE;
```

としています。RTVとして使えるようにするために

また、元々

```
D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ
```

としていると思いますが、この部分も

```
rtvFlag? D3D12_RESOURCE_STATE_RENDER_TARGET: D3D12_RESOURCE_STATE_GENERIC_READ
```

としています。

これにより、RTVにも使用できるリソースとなります。

- シェーダリソースビューのフラグ

次にシェーダリソースビューを作るときに僕がやらかしてた部分ですが

```
descHeapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV;
```

```
descHeapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_SHADER_VISIBLE;
```

- 描画時にビューポート、シザーリセットの指定

ああ～、これは忘れるんじゃあ～!!!

ていうかこれ忘れやすいわ。

```
_cmdList->RSSetViewports(1, &_viewport);
_cmdList->RSSetScissorRects(1, &_scissorRect);
```

- コマンドアロケータのリセット忘れ

```
//ペラポリ描画  
_cmdAlloc->Reset();  
_cmdList->Reset(_cmdAlloc.Get(), _peraPipeline.Get());  
これは忘れちゃいけん(戒め)
```

- レンダーターゲットテクスチャに対してのルートパラメータのセットし忘れ

```
_cmdList->SetDescriptorHeaps(1, _heapFor1stPathSRV.GetAddressOf());  
_cmdList->SetGraphicsRootDescriptorTable(1, _heapFor1stPathSRV->GetGPUDescriptorHandleForHeapStart());
```

とりあえず、以上のことには気をつけましょう。おれもやらかしたんだからさ!!!

加工してみよう

CG 検定試験前ですしちょうどいいのでちょっと色々と加工してみましょう。

モノクロ化

```
float b = dot(float3(0.298912f, 0.586611f, 0.114478f),rgb);
```

で輝度を計算します。計算式自体は様々な式がありますが、細かい事を考えなければだいたいどれも似たようなもんです。それはいいんですが

何故内積を取っているか分かりますか? ねえ。単なる色情報であって法線ベクトルとかでもないのに、何故定数との内積を取っているんでしょう…。自分で考えてください。
ちなみにモノクロからちょっといじると…



古いゲームボーイみたいな表示になります

ああ、これ、そういう後述する『ポスタリゼーション』的な加工も組み合わせてるので、ほんのちょっと難易度は高いです。

反転

クソ簡単ですね。自分で考えてほしいですが、こっちも面倒なんでもうコードで説明します。

```
float4 col = tex.Sample(smp, input.uv);
return float4(1 - col.rgb,col.a);
```

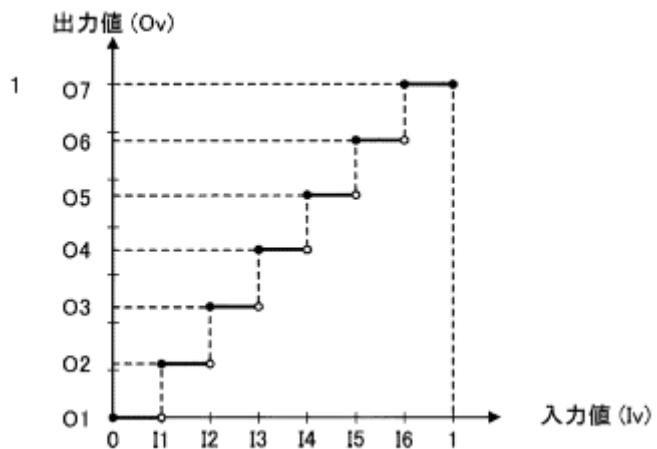
説明の必要ないですよね。自分でコード読んで考えてください。ここまできて分からぬ人は…はあ～あほくさ…



なんか敵キャラみたいでええな

ポスタリゼーション?

`return float4(tex.Sample(smp, input.uv).rgb - fmod(tex.Sample(smp, input.uv).rgb, 0.25f), 1);`
 そもそもポスタリゼーションの意味わかりますか? CG 検定で出、出ますよ? 階調変更 の事です。



基本的にはグラフが階段状になってると思っていいと思います。結果的に階調が落ちます。今はフルカラーで表示してますので、そのまま落とすと



こんな感じになります

落とし具合は色の各要素で調整した方がいいかもです。またポスタリゼーションで画像検索すると



こういう画像が出てくる

単純に色調を落としているというより、ディザ処理が入っているように見えます。ディザ実装はまた後に回しますが、まあ、色々と表現手法があると思ってください。

軽い単純ぼかし(平均化)

```

float w,h,level;
tex.GetDimensions(0,w,h,level);
float dx = 1.0f / w;
float dy = 1.0f / h;
float4 ret = float4(0, 0, 0, 0);

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2*dx, 2*dy)) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2*dx, 2*dy)) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, 2*dy)) / 9.0f;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2*dx, 0)) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2*dx, 0)) / 9.0f;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2*dx, -2*dy)) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2*dx, -2*dy)) / 9.0f;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, -2*dy)) / 9.0f;

```

9近傍をゼーんぶ足して9で割ってます。簡単に言うと自分と周囲8ピクセルの平均をとってそのピクセルの画素値としています。

dx,dy の係数をどんどん上げていけばボケ具合は強くなっていますが、ある程度以上になると不自然になります。

画像処理ソフトみたいなきれいなボケってどうやって作るんでしょうか? 実はフォトショップなどはガウスぼかしというぼかしテクを使っているんですが非常に面倒だし重いのでちょっと後に回します。今回みたいなのを「平均化フィルタ」と言います。

エンボス

フォトショップに「エンボス」って加工があるんですが、これは「浮彫」「レリーフ」みたいな感じで、表面に絵の模様通りに凹凸がついているようにする加工です。左上を浮き上がらせ、右下をへこませます。そのため

2	1	0
1	1	-1
0	-1	-2

とします。



わかりますかね?

//エンボス

```
ret += tex.Sample(smp, input.uv+float2(-dx,-dy))*2;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, -dy)) * 1;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-dx, 0)) * 1;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(dx, 0)) * -1;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, dy)) * -1;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(dx, dy)) * -2;
```

シャープネス(エッジ強調)

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

全てを足して1になるようにして、中心に5をかけて強調し、周囲を-1乗算します。それだけで



こんな感じになります

簡単な画像処理的輪郭線抽出

```

float4 ret = tex.Sample(smp, input.uv);
ret = ret * 4 -
    tex.Sample(smp, input.uv + float2(-dx, 0)) -
    tex.Sample(smp, input.uv + float2(dx, 0)) -
    tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, dy)) -
    tex.Sample(smp, input.uv + float2(0, -dy));
float b = dot(float3(0.298912f, 0.586611f, 0.114478f), 1 - ret.rgb);
b = pow(b, 4);
return float4(b,b,b,1);

```

これは完全に「ぼくがとっさにかんがえた手っ取り早い輪郭線抽出コード」なので、適切かどうかわかりませんが、少なくとも輪郭線を表示できます。



半分から下を輪郭表示しています

これは画像処理の知識があれば、思い付きで作れます。なんかの本を見る必要もありません。要はお勉強しろって事さ。

一応、やってる事は、まず輪郭抽出のため

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

こういうフィルタをかけます。実はこのフィルタ。GIMPやフォトショップでもあるため、ちょっと試してみるといいと思います。これは瞬の色との色差を強調するものです。どういう事がと言うと、例えば瞬のピクセルが同じ色だったとします。

そうした場合、計算結果は0となり、真っ黒になります。しかし色に差がある場合はどうなるでしょ

うか? 例えば(64,0,64) (0,64,0)(64,0,64)という並びだったとします。そうすると、(-255,255,-255)になり、その部分は黒くなりません。

saturateをつかっても使わなくてもいいんですが、ひとまず↑のフィルタをかけると



こうなります。これはこれで近未来な感じでいいですね

もしこれを線画っぽくしたいと思うのであれば、もう一工夫必要です。ひとまず白黒化して反転しましょう。やり方は説明いたしません。



薄いですねえ

powしましょ(何でかは言わない…考える)

```
b = pow(b, b);
```



まあ…マシかな

ちなみにpow値上げれば上げるほど線が濃くなります。理由は…考えろ！

ガウシアンぼかし(簡易版)

ガウスぼかし、もしくはガウシアンぼかしといいぼかしがあります。一応さっきの平均化フィルタの応用で作れるんです…まあ作りましょうか。

<http://htsuda.net/archives/2064>

の記述に

1/256	4/256	6/256	4/256	1/256
4/256	16/256	24/256	16/256	4/256
6/256	24/256	36/256	24/256	6/256
4/256	16/256	24/256	16/256	4/256
1/256	4/256	6/256	4/256	1/256

5×5画素

こんなのがあるんでそのまま適用してみましょう。

```
ret=ret*36/256;
dx *= 2;
dy *= 2;
//今のピクセルに8近傍のピクセル値を加算
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, 2 * dy)) * 1 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, 2 * dy)) * 4 / 256;
```

```
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 0 * dx, 2 * dy)) * 6 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 1 * dx, 2 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 2 * dx, 2 * dy)) * 1 / 256;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, 1 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, 1 * dy)) * 16 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0 * dx, 1 * dy)) * 24 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(1 * dx, 1 * dy)) * 16 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2 * dx, 1 * dy)) * 4 / 256;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, 0 * dy)) * 6 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, 0 * dy)) * 24 / 256;
//既に計算済み
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(1 * dx, 0 * dy)) * 24 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2 * dx, 0 * dy)) * 6 / 256;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, -1 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, -1 * dy)) * 16 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0 * dx, -1 * dy)) * 24 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(1 * dx, -1 * dy)) * 16 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2 * dx, -1 * dy)) * 4 / 256;

ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, -2 * dy)) * 1 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, -2 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(0 * dx, -2 * dy)) * 6 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(1 * dx, -2 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(2 * dx, -2 * dy)) * 1 / 256;
```



平均ぼかしと比べてどうですかね?

これもうわかんねえな。

ということでもうちょっときちんとやってみましょう。

ガウシアンぼかし(ちゃんとしたやつ)

そもそも何故「ガウスぼかし」などという名前がついているのでしょうか?これは確率分布関数の一つ、ガウス分布(正規分布)から来ている。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%AD%A3%E8%A6%8F%E5%88%86%E5%B8%83>

ちょっと分かりづらいのでもう少し分かりそうなサイトを見る

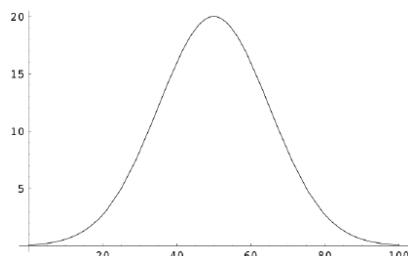
<http://zelli.j.hatenablog.com/entry/20140809/p1>

ふんふん。なるほど。わからん。

いちおう手元の本によると

$$f(x) = c \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$$

と言う関数らしい。



こういう形になる関数です。いわゆる正規分布と言うやつですね。なんでコンピュータグラフィックスの話に確率/統計の話が?って思うかもしれません、ひとまずこの「形」が重要なんです。あと、コンピュータグラフィックスには意外と確率/統計が出てくるので、勉強しておきましょう。

ちなみに \exp ってのはエクスponential と言って、ネイピア数… $e=2.718\dots$ って数なんだけど

軽く説明しておくと

$$f(x) = e^x$$

という関数はちょっと特殊で、 $f'(x) = e^x$ のだ!! つまり微分しても結果が変わらないという非常に不思議な関数なのだ。

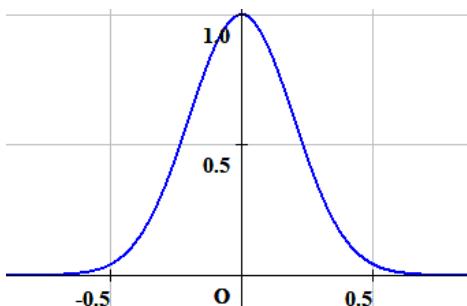
で、 \exp ってのは $\exp(x) = e^x$ という事を表している。つまり先ほどの式は

$$f(x) = c e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

という意味になるのだが、まあ酷く分かりづらい式になる。どうせ \exp 関数を使用するのだからああいった描き方になっているだけなのだ。

ちなみに FunctionView というフリーソフトで $\sigma=5$ としてグラフを描画してみると

? 陽関数 $y=f(x)$
 $y_1 \boxed{e^{-(x^2)/2(5^2)}}$



こういう感じの図になります

ものごつ難しそうに思えるかもしれませんのが単純にこういう「ガウス関数」という関数があってそれがガウスばかしの元になってるっていう事を知ってれば十分です。細かい数式はググればいいですしどうせ計算するのはコンピュータですし、標準関数に \exp ってあるので

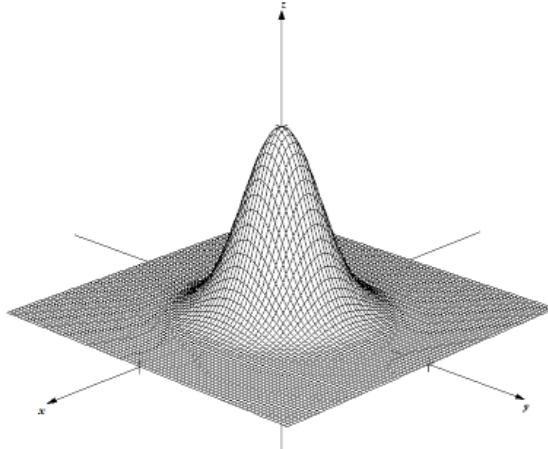
<http://www.c-tipsref.com/reference/math/exp.html>

それほど難しく考えることはありません。

また、実際には↑の図のように2次元ではなく3次元であるため

$$z = f(x, y) = c^2 \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)$$

こういう式になって



こういうグラフになります

まあまあそろビビんなくていい。

別に分からなくても「使えりゃいい」のだ。さてここまでやつてグラフはいいけどこれが何なのさ?

と思う方もおられるだろう…実はこれが「重み(ウェイト)」…「係数」となるのだ。ちょっと前のプログラムを思い出してほしい。

```
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-2 * dx, 2 * dy)) * 1 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2(-1 * dx, 2 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 0 * dx, 2 * dy)) * 6 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 1 * dx, 2 * dy)) * 4 / 256;
ret += tex.Sample(smp, input.uv + float2( 2 * dx, 2 * dy)) * 1 / 256;
```

下線で示した部分が実は重み(ウェイト)にあたります。

でもう一つだけいいかな?まず平均化ぼかしをかけた時のテーブルは

$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

としていました。また、3x3 のガウス的ぼかしテーブルは例えば

$\frac{1}{16}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{2}{16}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{2}{16}$
$\frac{1}{16}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{1}{16}$

となります。この二つのテーブルを見て、何か気が付くことは…ないかな?

気づけよオラアアアアアツ!!!! 小学生でも気づくぞ!!!



そう、全部足すと1になるんだよ。ていうかそうしないと明るさが変わっちゃうからね。じゃあどうするのかと言うと

```
std::vector<float> weights(weightNum);
float total=0.0f;
float x=0.0f;
for(auto& wgt:weights){
    wgt=expf(-x*x/(2*s*s));
    total+=wgt;
    x+=
}
//足して1にするようにする
for(auto& wgt:weights){
    wgt/=total;
}
```

とします。もしくは average 関数を使ってもいいですがまあそこはお任せします。ちなみにこの処理は CPU 側ですね。で、このウェイト値を GPU に投げます。

まあそれはいいんだけどややこしいのはここから。正直今遊んでいる頂点シェーダにちょ

とだけ頑張ってもらいます。一応手元にある本のぼかし方を行います。

現在のピクセルを真ん中と考えます。そうすると



のように左右対称です。ここからはほぼその参考にした書籍(DirectX9 シェーダプログラミングブック)通りにやってみましょう…左右のずらし方とウェイトは同じであるため、ひとまず計算は片方だけやればいいと考えます。ただ最終的にはそれも全部足されてしまうため



最後に $\text{total} \times 2$ を行います。但し真ん中分は引くので、

$$\text{total} \times 2 - 1$$

とします。なぜ最後に -1 なのかというと

$$\text{wgt} = \exp(-\text{x}^2 / (2 * \text{s}^2));$$

というのは $e^0 = 1$ であるから 1 を引いています。

```
float s = 5.0f; // ここをいじるとボケ具合が変わる
float x = 0.0f;
float total = 0.0f;
for (auto& wgt : _gaussianW.w) {
    wgt = expf(-(x*x) / (2 * s*s));
    total += wgt;
    x += 1.0f;
}
```

$\text{total} = \text{total} \times 2.0f - 1$; // 2をかけて1を引いてるのは↑のループは左側だけなので右側もあるよの意味で2倍にしています。ただ真ん中は1回でいいので1を引いています。

// 足して1になるようにする

```
for (auto& wgt : _gaussianW.w) {
    wgt /= total;
}
```

さて、シェーダの方ですが、結構ややこしいですよ。ずらした UV の計算の半分を頂点シェーダに肩代わり してもらいます。

まず前にも使用した `GetDimensions` 関数で画像の幅と高さを取得します。

```
tex.GetDimensions(0, w, h, level);
```

でずらしたもの事を事前計算しておいて、それをピクセルシェーダに投げたいんですが、UV 値として投げたいと思います。ちなみに TEXCOORD(n)として、TEXCOORD0～TEXCOORDn-1 まで使えます。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418355\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/ee418355(v=vs.85).aspx)

ちなみにには「サポートされてるリソースの数」とのことですが、いくつやねん。どうやって調べるねん。

まあ手元の本やと 8 個でやっとるから、ちょっとそれに合わせてみよか(ソースコードまで合わせてはいけない。合わせないぞ!!)

```
float2 uv : TEXCOORD0;
float2 uv1 : TEXCOORD1;
float2 uv2 : TEXCOORD2;
float2 uv3 : TEXCOORD3;
float2 uv4 : TEXCOORD4;
float2 uv5 : TEXCOORD5;
float2 uv6 : TEXCOORD6;
float2 uv7 : TEXCOORD7;
```

増えますねえ!!

で、こいつらに 2 ピクセルずつずらした UV 値を入れていきます。

```
output.uv1 = uv + float2(-1 / w, 0);
output.uv2 = uv + float2(-3 / w, 0);
output.uv3 = uv + float2(-5 / w, 0);
output.uv4 = uv + float2(-7 / w, 0);
output.uv5 = uv + float2(-9 / w, 0);
output.uv6 = uv + float2(-11 / w, 0);
output.uv7 = uv + float2(-13 / w, 0);
```

入れすぎイ!!

さらに先ほどの GetDimension で得た幅高も再利用したいのでこれもピクセルシェーダに渡します。適当なセマンティクスを勝手に定義して…

```
float2 size : SIZE;
```

を追加。モチロン代入

```
output.size = float2(w, h);
```

あと、ウェイト受け取り部分ですが、

```
cbuffer Weight:register(b0) {
    float4 wghts(2);
};
```

こんな感じで受け取っておきます。float wghts(8)にしていいのは float4 アライメントの所為か、中身がズレるからです(これも 3 時間くらいハマりました)

あとは、頂点シェーダの反対側の値を作つて足しこんでいきます。

```
float2 offsetx = float2(14 / w, 0);
ret = ret * wghts(0).x;
ret += wghts(0).y * (tex.Sample(smp, input.uv1) + tex.Sample(smp, input.uv7 + offsetx));
ret += wghts(0).z * (tex.Sample(smp, input.uv2) + tex.Sample(smp, input.uv6 + offsetx));
ret += wghts(0).w * (tex.Sample(smp, input.uv3) + tex.Sample(smp, input.uv5 + offsetx));
ret += wghts(1).x * (tex.Sample(smp, input.uv4) + tex.Sample(smp, input.uv4 + offsetx));
ret += wghts(1).y * (tex.Sample(smp, input.uv5) + tex.Sample(smp, input.uv3 + offsetx));
ret += wghts(1).z * (tex.Sample(smp, input.uv6) + tex.Sample(smp, input.uv2 + offsetx));
ret += wghts(1).w * (tex.Sample(smp, input.uv7) + tex.Sample(smp, input.uv1 + offsetx));
```

さて、そこまでやれば…!!



結構あからさまにボケましたね

これで終わり…? まさか。

とぼけちゃつてえ…縦方向があるでしょッ…!!!というわけで、このレンダリング結果をさらに一時バッファにレンダリングしておいて、今度は縦方向に同じことをやります。

1パス増えるんだよなあ……ガウスは正直コスト高いんすわあ…だから大抵は縮小テクスチャを作つて(ただ単にテクスチャの作成の際に幅と高さを半分とかにしてやります)いわけです)

縦方向にも無事入れてあげれば…



こんな感じでいい感じにボケてくれます

ちょっと僕がハマってた点としては、ペラ1パス目とペラ2パス目の共通命令をバンドル化して、パイプラインだけ変更しようとしてたんですが、これが上手くいきませんでした。何故かと言うと、バンドルを作るときにパイプライン指定を行ってしまうので、バンドル実行時にパイプラインの指定が内部に入っている事になります。

つまり共通部分をバンドル化してパイプラインだけ変更ってのはできませんでした。できるって人はネタ提供お願いします(4時間くらい色々試したり、色々調べましたが解決には至りませんでした)

というわけで、ここはこんなもんで勘弁してください。

ガラスシェーダ

ガラスに弾痕が残ってるところから見てるシェーダ的な奴を作りたい…そう思つた事はないかね?



こういうやつ

あつちようど股間に弾痕入ってますね。これはダメなやつですね。

こういう事をしたければ、画面を歪ませるためのテクスチャを使います。どうやって歪ませるのかと言うと、この場合は画像処理的な感じで歪ませます。

どうするのかと言うと、法線マップみたいな事をします。まあまだ法線マップは未実装だから『法線マップみたい』とか言われても困るかもしれない。

とはいって、法線マップみたいって以外に表現方法思いつかないんだなあ。一応歪みシェーダなんて言われているので『歪みシェーダ』とか『distortion shader』もしくは『ワーピング』などと言われているようだ。

ちなみに法線マップについて手軽に体験したければ

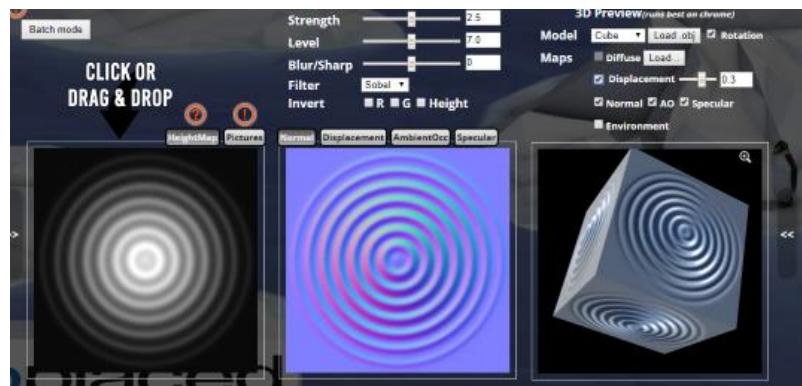
<http://cpetry.github.io/NormalMap-Online/>

見に行ってみよう。きっといい気持だぜ?

ちなみにこのサイトは恐らく WebGL を用いている。

そして DisplacementMapping まで実装してやがる。なんて恐ろしいサイトだ…(;・`Д・')

サイトに行くと

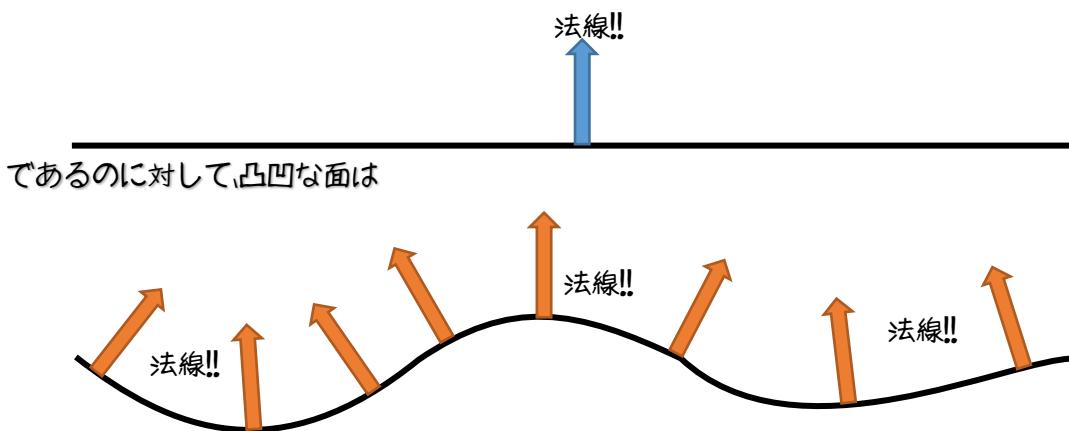


このような画面に出くわすだろう

これが全てだ。まあわかるよね?

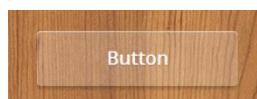
本来凸凹のない物体表面に凸凹を施す。これが法線マップである。それが歪みシェーダとどう関係しているのか?

仕組みとしては「凹に見えるシール」を凸凹のない面に貼っているのであるが、そもそもどういう理屈で凸凹がついて見えるのかと言うと平たい面の法線が



のようになっている。このため、法線があちこちに向いている状態だ。
ちなみにデュフェューズやスペキュラーの明るさは、法線ベクトルに依存している事を思い出してください。

つまりこの凸凹な面は凸凹しているために明るさもまちまちである。その明るさの変化が凸凹になって見えるのだ。例えば人間は



のような2D画像に対しても浮き上がっていると錯覚する

これに先人たちは目を付けて、上記の「法線ベクトル」をなんとかシールのように貼り付けられないかと考えた。

法線の向きは正規化されてるとして、範囲は

$$(x, y, z) = ([-1 \sim 1], [-1 \sim 1], [-1 \sim 1])$$

である。

そしてこれを「テクスチャ」として貼り付けるならば範囲は

$$(R, G, B) = ([0 \sim 1], [0 \sim 1], [0 \sim 1])$$

である。…となれば…なんか予想できますよね？そう、1を足して2で割ればいいアレですね。

でも、これはあくまでも「シール」なので、本来の法線ベクトルに「加算」する形となります。つまり

$$N' = N + (Nmap.xy + (1, -1)) * (0.5, -0.5)$$

てな形になるでしょう。

まあ、それはともかく今までの話は法線マップの話でしたが、それが歪みとどう関係するのでしょうか？

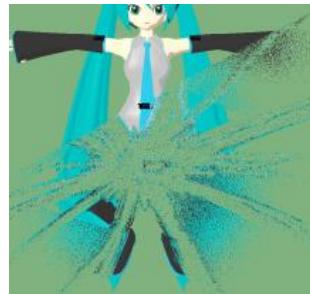
法線マップは本来の法線からの「ズレ」を貼り付けることで本来の面にはない凸凹を表現していました。

では…同様に1パスレンダリング結果テクスチャのuvをズラしてみたら？つまり2パス目のシェーダ内のSample関数の第二引数のuvに法線マップ分を加算してやつたらどうなりますかねえ？

つまりこういう事

```
float4 nm = dist.Sample(smp, input.uv);
float2 offset = nm.rg*float2(1, -1) + float2(-0.5, 0.5);
return tex.Sample(smp, input.uv + offset);
```

結果は

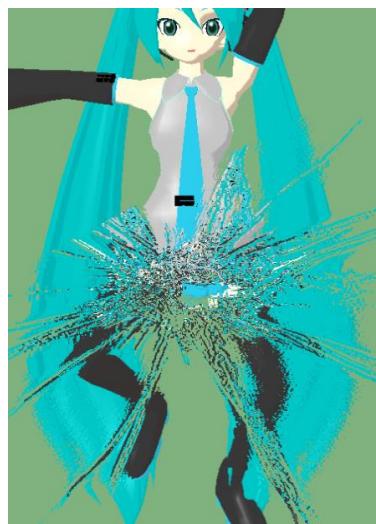


ズレすぎイ!!

ということで、ズレ具合をちょっと大人しくします。

```
return tex.Sample(smp, input.uv + offset*0.1f);
```

このくらいになると



こんな感じなんで、これが適当ではないかと

ちなみに、3D空間上にガラスを置いて、それで歪ませたりするのはこの応用です。パスが増えてしまいますけれどもね。

シャドウマップ

フヒヒ…ついに来ちゃいました。

最初に予告してたアレですよ!!!影を落とすんですよ!!!

いや~長かった。ホンマに長かったっすね。バツチエ冷えてますよ~。とはいえ影を落とすためには色々とおせん立てが必要なので、とりあえずまずは手っ取り早く『漬し影』で軽くお茶濁します…いや、数学の勉強のためと思ってちょっと聞いてくれよ。

影行列(演し影)…ウノ影

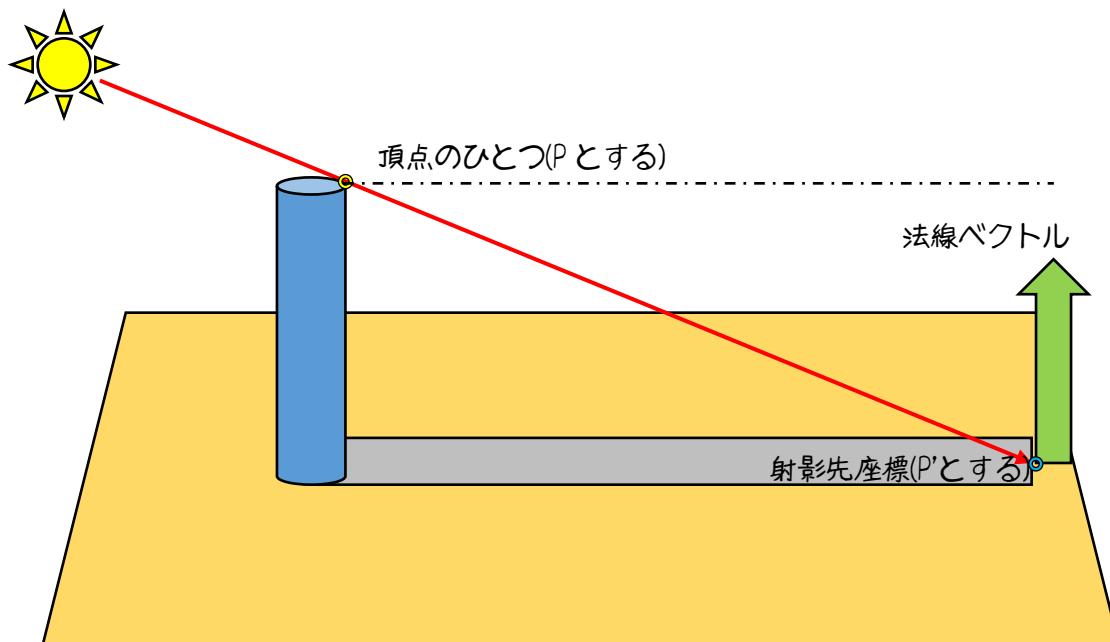
行列を用いて、光の方向と地面の法線ベクトルから、頂点をどこに落とすべきかを計算する。で、それをやる行列を作る。そしてそれを描画する際に黒で描画すればいい。

二言で言うと

「つぶす。黒く塗る。」

である。

行列は最初から用意されていて、`XMMatrixShadow` というのがあるが、一応後学のために仕組みは言っておこう。仕組みはこうだ。



影というのは、光の方向と法線ベクトルで決まると言ったが、図のような関係になっていると考える。

影が落ちる…これを元々の図形が地面に投影されると考えると、3D 空間上の点 P が「地面(平面)」に投影され点 P' になると言える。

となると、要は↑の図における「直角三角形」の形がわかれればよい事になる。

直角三角形の形ってのは、ああ、↑の図だとちょっと誤解を招きますね。光線ベクトルと法線ベクトルと地面の位置(高さ…原点からのオフセット)が分かればいいって事。

どういう事がと言うと既に「古典的レイトレーシング」をやりこみ済みの君らにはお分かりの事と思いますが…ライトベクトルは3D 空間上においては「傾き」を意味すると思って、それ

と平面との交点を求めればいい。

ここで

- 平面の法線ベクトル(正規化済)と元の図形(モデル)の頂点座標との内積
 - 平面の法線ベクトル(正規化済)と光線ベクトルとの内積
- を求めます。

最初に頂点座標と平面の法線ベクトルとの内積をとります。これは「平面と頂点との最短距離」つまり頂点から地面への「垂線の長さ」を測るためのものです。

なんでそんなものを測るのかと言うと地面までの距離によってどこまで影が伸びるかが決まるからです。

さあ高さ(切片)はわかった(実はまだ分かってないんだが)。次は傾きだ。傾きはライトベクトルそのものなんだけど、ライトベクトル 1 回分でどれくらい地面に近づくかが分かればそれをライトベクトルに乗算して得られた座標が影が落ちた先の座標である。

そしてまたライトベクトル 1 回でどれくらい地面に近づくかも内積によって分かりますね? 何でかって、ライトベクトルと法線ベクトルの内積はライト 1 回あたりどれくらい地面に近づくかの値になるからです。

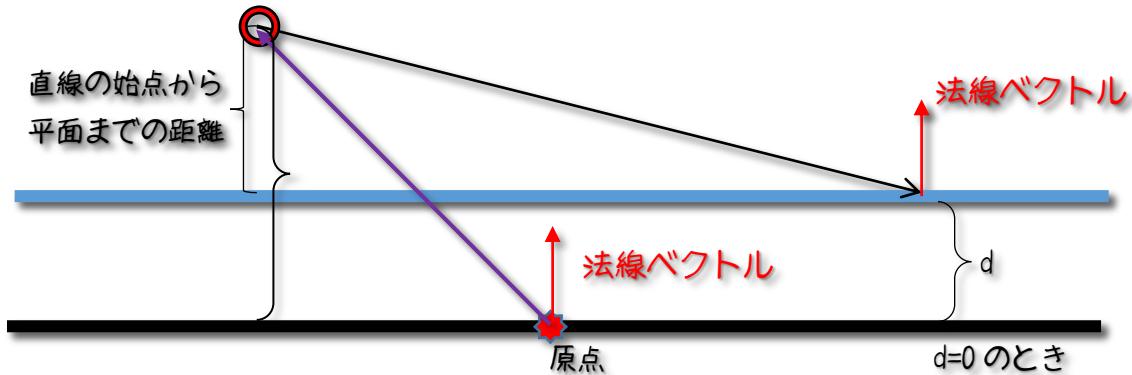
つまり

$$a = \frac{\vec{P} \cdot \vec{N}}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

こんな感じです。

が罠が仕掛けられています。実はこのままでは平面というのは原点を通る平面になってしまいます。これでは(0,0,0)を通らない平面は表現できません。

さて、どうすればいいと思ひます?



原点までの垂線の長さから地面はオフセットしていると考えます。オフセットが d だとすると、法線方向に浮き上がっているわけですから実際の距離は

$$\vec{P} \cdot \vec{N} - d$$

なわけだ。

ちなみに余談だけど、高校で習う「平面の方程式」は

$$ax + by + cz + d = 0$$

という方程式なんだ。 (a,b,c) は法線ベクトル(正規化済)らしい。けど、この式については「覚えやすい」からこうなってるんだろうけど正直納得いかない。

何故かと言うとこの式の場合、 d が法線方向にマイナスの向きにオフセットされるのだ。

例えば xz 平面に平行な平面を考えたとします。で y のプラス方向にちょっと(d だけ)浮き上がつてると考えてください。

この場合、法線ベクトルは $(0,1,0)$ ですので平面の方程式に当てはめると

$$0x + y + 0z + d = 0$$

となるのですが、よく考えて式を整理してみてください。

$$y = -d$$

ん? んんん?

浮き上がつたはずが逆に沈んだるやんけ!!!! 覚えやすさを重視した結果…意味的(図形的)に混乱しやすくなっとるやん!!!

これだから受験覚えゲー数学は…と言いたくなる。ホンマ高校のセンセーは自分の頭で教えてほしい。現場の人間からしてみたらそんなカビの生えたような教育指導要領などク

ソつ食らえなのだ。

まあ、ともかくそんなこんなで、地面までの距離が分かりましたと。あとはライトベクトルの内積で割って傾きが出ているわけだから求めたい座標は

$$P' = P + \vec{L} \frac{\vec{P} \cdot \vec{N} - d}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

というわけだ。

さらにこれを行列にするのならばどうすればいいかな?

$$(x', y', z', 1) = (x, y, z, 1) \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}$$

となる行列 S を考えましょう。

ちなみに傾き α を

$$\alpha = \frac{\vec{P} \cdot \vec{N} - d}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

とすると求めたい点 P' は $P' = P + aL$ なので

$$P' = (x + a L_x, y + a L_y, z + a L_z)$$

である。それはそうなんだけど、実は $P \cdot N$ の P もまた元の (x, y, z) 座標であるから…これもう分かんねえな? 一旦 $\alpha =$ の式を分解してみよう。

$$a = \frac{\vec{P} \cdot \vec{N}}{\vec{L} \cdot \vec{N}} - \frac{d}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

更に $\vec{L} \cdot \vec{N}$ が定数になることから

$$a = \vec{P} \cdot \frac{\vec{N}}{\vec{L} \cdot \vec{N}} - \frac{d}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

となる。もうここまで来たらついてきててもついてこなくとももう文句言わない! ワシの意地ぢや。

ちなみに全体を $\vec{L} \cdot \vec{N}$ で割る事になっている事を覚えておこう。

また、

$$\vec{P} \cdot \frac{\vec{N}}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

P との内積をとる部分があるが、 P は「行列を乗算する座標」である。それとの内積だが、ちょつとここでヒントと言うか豆知識だが、ベクトルと行列の乗算の際、ベクトルとの内積をとりたければ「横にXYZ成分を並べればいい!」という事を覚えておきましょう。

どういう事がと言うと

$$(x, y, z) \begin{pmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{pmatrix}$$

の、乗算結果を考えると

$$(ax + dy + gz, bx + ey + fz, cx + fy + iz)$$

となっていますが、結果をよく見ると、 x 成分が (xyz) と (adg) の内積である事が分かりますね？これは様々な所さんで利用しますので、このテクは覚えておきましょう。自分で行列を作る場合はこのように「元」と「欲しい結果」を先に考えてそれを満たすような行列を考えていきまます。

さて、先ほどの部分…。 $\vec{L} \cdot \vec{N}$ だが、もはや定数だし、この後面倒になるので $G = \vec{L} \cdot \vec{N}$ とおきます。そうすると

$$P' = P + \vec{L} \frac{\vec{P} \cdot \vec{N} - d}{\vec{L} \cdot \vec{N}} = P + \vec{L} \left(\frac{\vec{P} \cdot \vec{N}}{G} - \frac{d}{G} \right)$$

だから

$$(x', y', z', 1') = (x, y, z, 1) \begin{pmatrix} 1 + \frac{N_x}{G} L_x & \frac{N_x}{G} L_y & \frac{N_x}{G} L_z & 0 \\ \frac{N_y}{G} L_x & 1 + \frac{N_y}{G} L_y & \frac{N_y}{G} L_z & 0 \\ \frac{N_z}{G} L_x & \frac{N_z}{G} L_y & 1 + \frac{N_z}{G} L_z & 0 \\ -\frac{d}{G} L_x & -\frac{d}{G} L_y & -\frac{d}{G} L_z & 1 \end{pmatrix}$$

です。

計算すると

$$x' = x + \frac{x N_x L_x}{G} + \frac{y N_y L_x}{G} + \frac{z N_z L_x}{G} - \frac{d L_x}{G}$$

$$y' = y + \frac{x N_x L_y}{G} + \frac{y N_y L_y}{G} + \frac{z N_z L_y}{G} - \frac{d L_y}{G}$$

$$z' = z + \frac{x N_x L_z}{G} + \frac{y N_y L_z}{G} + \frac{z N_z L_z}{G} - \frac{d L_z}{G}$$

となります。なお $xN_x + yN_y + zN_z = \vec{P} \cdot \vec{N}$ であるから

$$x' = x + \frac{L_x}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N}) - \frac{d L_x}{G} = x + \frac{L_x}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N} - d)$$

当然のようにこれは x, y, z 同じことになるので変換後の座標は

$$\left(x + \frac{L_x}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N} - d), y + \frac{L_y}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N} - d), z + \frac{L_z}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N} - d) \right)$$

$$P' = P + \frac{L}{G} (\vec{P} \cdot \vec{N} - d) = P + \vec{L} \frac{(\vec{P} \cdot \vec{N} - d)}{\vec{L} \cdot \vec{N}}$$

ということで、求めたい $|l|$ 値になることが分かります。あー、クソめんどくさ('A')

ということで、面倒な思いをさせたところで申し訳ないのですが、これをやる関数があります!!

ただ、一応平面の方程式と法線の話とかライトの話とかしとかないとパラメータ分からないのと、まあそのなんだ…行列の練習ですよ。どっちみち何処かで「欲しい」行列が用意されてない事がある。その時に投げだしてちゃあつまらんわけよ。

ちなみに D3DX 時代は中身まで公開してたので

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/cc372900.aspx>

見てみましょう。

ちなみに $d=dot(P,L)$ とありますが、 P は plane なので、 P というのは平面の法線ベクトルだというのが分かります。

つまり、1 行 1 列目は

$$L_x N_x + \vec{L} \cdot \vec{N}$$

という事になりますが、

$$G = \vec{L} \cdot \vec{N}$$

としていたことを思い出したうえで行列を表記すると

$$\begin{pmatrix} L_x N_x + G & L_y N_x & L_z N_x & L_w N_x \\ L_x N_y & L_y N_y + G & L_z N_y & L_w N_y \\ L_x N_z & L_y N_z & L_z N_z + G & L_w N_z \\ L_x N_w & L_y N_w & L_z N_w & L_w N_w + G \end{pmatrix}$$

こんな感じらしいんですけどね…?

『ライトの w 成分が 0 の場合、原点からのディレクショナル ライトを表す』などと書いてあるため、これらを 0 にしてみましょう。

$$\begin{pmatrix} L_x N_x + G & L_y N_x & L_z N_x & 0 \\ L_x N_y & L_y N_y + G & L_z N_y & 0 \\ L_x N_z & L_y N_z & L_z N_z + G & 0 \\ L_x N_w & L_y N_w & L_z N_w & G \end{pmatrix}$$

さて、全て G で割ってみましょう

$$G \begin{pmatrix} \frac{L_x N_x}{G} + 1 & \frac{L_y N_x}{G} & \frac{L_z N_x}{G} & 0 \\ \frac{L_x N_y}{G} & \frac{L_y N_y}{G} + 1 & \frac{L_z N_y}{G} & 0 \\ \frac{L_x N_z}{G} & \frac{L_y N_z}{G} & \frac{L_z N_z}{G} + 1 & 0 \\ \frac{L_x N_w}{G} & \frac{L_y N_w}{G} & \frac{L_z N_w}{G} & 1 \end{pmatrix}$$

さて、自分が作ったのと比べてみましょう。

$$(x', y', z', 1') = (x, y, z, 1) \begin{pmatrix} 1 + \frac{N_x}{G} L_x & \frac{N_x}{G} L_y & \frac{N_x}{G} L_z & 0 \\ \frac{N_y}{G} L_x & 1 + \frac{N_y}{G} L_y & \frac{N_y}{G} L_z & 0 \\ \frac{N_z}{G} L_x & \frac{N_z}{G} L_y & 1 + \frac{N_z}{G} L_z & 0 \\ -\frac{d}{G} L_x & -\frac{d}{G} L_y & -\frac{d}{G} L_z & 1 \end{pmatrix}$$

なんかスゲー惜しい感あるなあ。G が邪魔やで、G が。

ちなみに同次座標についてちょっと考えてみましょう。同次座標と言うのは

<http://www.eli.hokkai-s-u.ac.jp/~kikuchi/ma2/chap10a.html>

<http://www.osakac.ac.jp/labs/niizeki/monkey/section-3.html>

http://wwwb.pikara.ne.jp/ogawa-giken/image_process/image_062.html

例えば float4 ベクタで (x, y, z, w) という座標が示されていれば実際の座標は

$$\left(\frac{x}{w}, \frac{y}{w}, \frac{z}{w}\right)$$

となるのだ。どういう事がと言うともし同時座標 w が 1 でなく w であれば

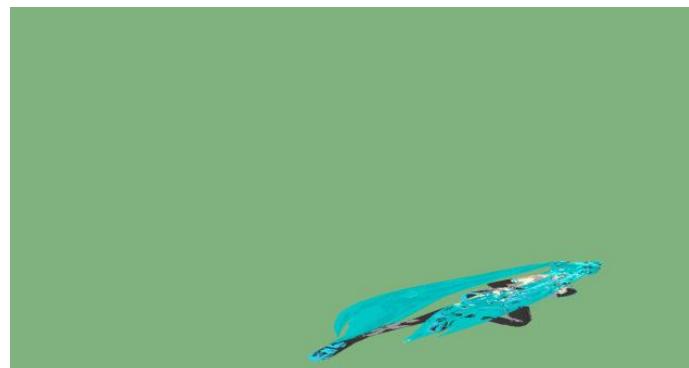
$$(x, y, w) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & 0 & 1 \end{pmatrix} = (x + w t_x, y, w)$$

となり、 t_x 移動時は同次座標 w のとき $w t_x$ となり、このことは逆に考えると、同次座標系において $w t_x$ 動いても実際には t_x しか動いていない事となる。つまり 4 行 4 列目が 1 以外($=w$)の場合は実際の座標的には全て w で割られているのと同じことになる…まあなんか正直に言うとなんか納得いかないんだが…まあいいや。

ともかくライトと法線の情報が必要という事は分かったと思う。試しに

```
auto p = XMFLOAT4(0, 1, 0, 0); // 平面の方程式
auto l = XMFLOAT4(-1, 1, -1, 0); // ライト座標
matrix *= XMMatrixShadow(XMLoadFloat4(&p), XMLoadFloat4(&l));
```

とやってみると



ご覧のようにつぶれてしまいます。ですが、これは影に利用できそうだという事がわかります。なお、こいつの場合はマテリアルの使い分けが必要ありませんので



こうなります



例年であればここから
このように影が落ちるところまでやりたいところですが、そこに時間かけるべきじゃないかな
ーって思います。プログラムも無駄に複雑になってしまいますしね。

ですので(MMDではこの方法で「セルフシャドウ以外の」影を落としています)今回はもう次の
シャドウマップに入っていこうと思います。

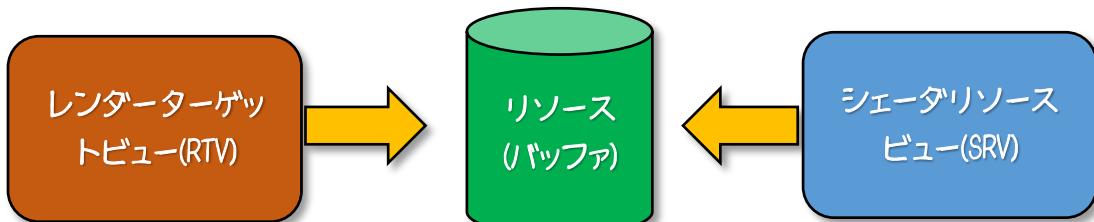
シャドウマップの導入(マルチパスの応用編)

シャドウマップに必要な概念(手順)を最初に書いておきます

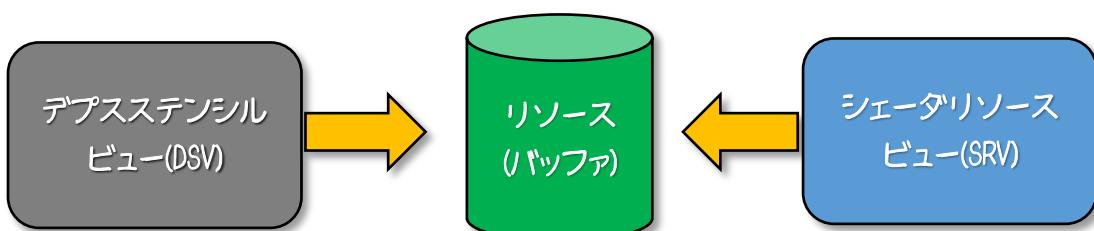
- ライトビュー(ライトの場所から見ればいいチーズ!!)
- テクスチャへの深度値の書き込み(深度値職人大忙し)
- 深度値の比較(深度値見ながら影にするかどうか決める)

大雑把に言うとこんなもんです。既にマルチパスにしているのでそれほど抵抗はないかと思いますが…。

前はリソースに対して



RTV と SRV の2つの見方でしたが

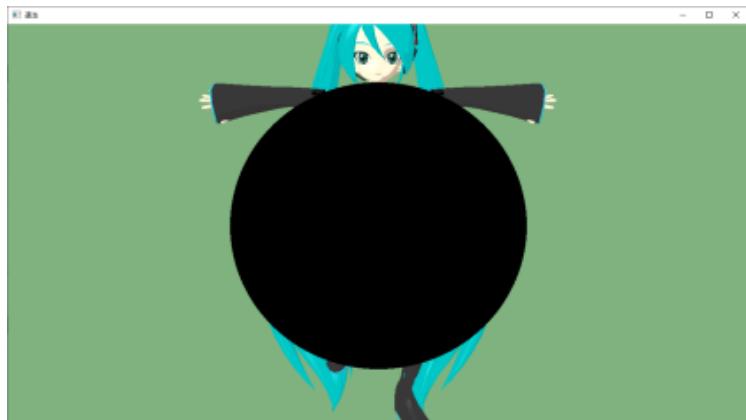


今回は DSV と SRV の二つの見方となります。もう忘れちゃってるかもしれません、デプスステンシルビューと言うのは深度バッファを書き込むための見方(ビュー)です。

どちらにせよ RTV を使った時と同様にデプス(深度値)を書き込めるようなリソース(バッファ)を作成し、2つのビューを作成することが必要になります。まずはそれを作りましょう。
とはいって、既にデプスバッファは用意しているため、特別に新しく作る必要はありません。

と、ここまで順調だったんですが、不可解なバグに見舞われまして…

深度値を明るさとして表示してみたら…



ご覧のありさまだよ!!!で、三日三晩色々調べて悩んだんですが、解決には至りませんでした。こういうときは潔く、この部分に関するコードを全部作り直します。

ちなみに深度値を書き込むとだいたい白っぽくなります。何故かと言うとまず 1.0 でクリアして、カメラから遠ければ遠いほど明るくなるためです。

しかし真っ黒…これは…と思ってバッファのパラメータとか、シェーダとか、ルートシグネチャとか、パイプラインステートとか、ビューコード調べてみました。ダメでした。

まあここで悩む過程でバリアとかもっと深く調べたりして、知識は補強できたのはプラスなんですが、結局解決しなかったので作り直します(もう深度バッファを新しく作る所からやります)。それでもダメなら土日で Wrapper を完全に作り直します。

そんなわけで、すんません今日はちょっと勘弁してください。

とりあえず皆さん、既にある深度バッファに対して、シェーダリソースビューとして見れるビューを作ってください。この時注意すべきなのは リソースの作り方のフォーマットの部分でフォーマットを D32 から R32_TYPELESS にしないでください。 R32_TYPELESS ってのはバッファとしてのビット数は決まっているけど、フォーマットはビュー側で決めてねって事です。

D32 にしちゃうとシェーダリソースビューで R32_FLOAT として使おうとすると失敗するので、気付けるべき点はそこくらいかなと思います。ちょっとすまんですが、自分でやってみてください。

次に気付けるべき点としては、ペラポリレンダリング時に、元の深度バッファのクリアを行ってはダメで、もちろんレンダーターゲット指定の際にも深度バッファの指定は nullptr にしておいて、ペラポリ用のパイプラインステートでは DepthEnable を false にしておいてください。

ここに参考コードを書きたいのですが、バグってるので、下手に見せない方がいいかと…バグが感染しますからね。

と思ってたけど、まあ一応ここまで説明をそのままコードにしたら動くみたいなので、僕のバグみたいですね。

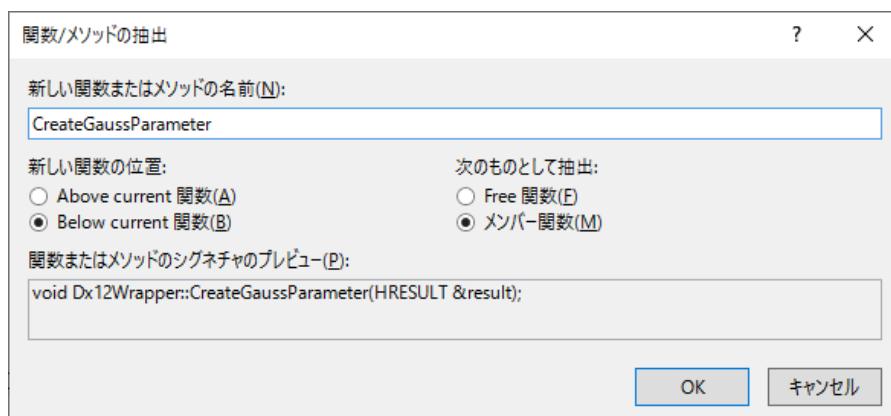
やってもやってもバグが取れないのに、リファクタリング
やってもやってもバグが取れないのに、リファクタリングしてたのですが、もう潜在バグが見つかる見つかる。ついでにデバッgereイヤーが吐くエラーにも対応しました。でも治りませ

ん。

で、リファクタリングしてると気が付いたのですが、Visual Studio にリファクタリングの機能があるのですよ。いや C# とかにあるのは知っていますが、C++ になかったのよね。しつこく追加されてて、これがあるとかなりリファクタリングが楽になるよ。

まず、まとめたいコードをガーッと選択して、その状態で右クリック。

『クイックアクションとリファクタリング』って出てくるので Extract 関数を選択。



するとこんなのが出てきますので、メソッド名(関数名)を書いて OK を押してください。
するともう自動でね、ヘッダにも cpp にも関数宣言と定義ができるのよね!!!!

これ、クッソ楽!!!! 楽だからリファクタリングが楽しい!!!! たのしー!!!

他にも変数名や関数名の変更が一気にできちゃう(置換みたいな副作用なし)ので、ホンマリ ファクタリングが捲りますわーほんま。

土日を犠牲にしてリファクタリングした結果

なんの成果も…得られませんでしたアーッ!!! マジかよ。

とりあえず徹底的にリファクタリングしてみた結果、色々と潜在バグが見つかったので、とりあえずみんなも気を付けるようにね的ポイントを書いておく

- ConstantBuffer 指定の部分はルートパラメータを Descriptor にしなければならないのに Constant32Bit としてた(よく動いてたな)
- テクスチャ/バッファ作成の際に、書き込みしないテクスチャ(ロード情報を書き込まない)って事に、書き込み用の設定してた
- コンスタントバッファは 256 アライメントじゃないといけないのに 32 バイト指定とか

やってた(ホンマなんで動くん?)

- 構造体のダミーメンバが残ってた(64バイト超えちゃう実験のやつ)
- よく考えたら 1stPath じゃなくて 1stPass だったね。疲れてたんだね!!
明らかに潜在バグを演した上に、なんかエラーログも出てたので、対処。

色々と修正した(ドリアの部分とか)おかげでエラーログも出なくなつたけど治らないよ!!

割と原型留めないレベルでリファクタしたけど治らなかつたのでラッパー作り直したけど治らなかつたよ(ﾟωﾟ)ウッ…

なんで…!?

ちなみにマイクロソフトのサンプルの最新版は既に WDK のバージョンが上がってて、現状の環境では動かなかつたよ!!! コンパイルすら通らないよ!!! バージョンアップ多すぎませんかねえ!!

という事で、ここで立ち往生してもしかたないので、授業はそのまま進めていきます!! 治つたらすぐ追いつくからな!!!

さて、とりあえず俺の事はほっておいて先に進むんだツツツツツツツツ!!!

ズバリと解決

悩み始めて1週間目にして、やっと解決しました。

正直焦ってました…。もう CEDEC+KYUSHU も近いのに何こんなところで詰まっちゃってんのかと… 予想はしてましたが、本当に 「やかみたいな」 でした。でも、僕の脳内の「間違えやすいリバグ」データベースに強く刻み込まれたので、同じことを繰り返しはしないでしょう。

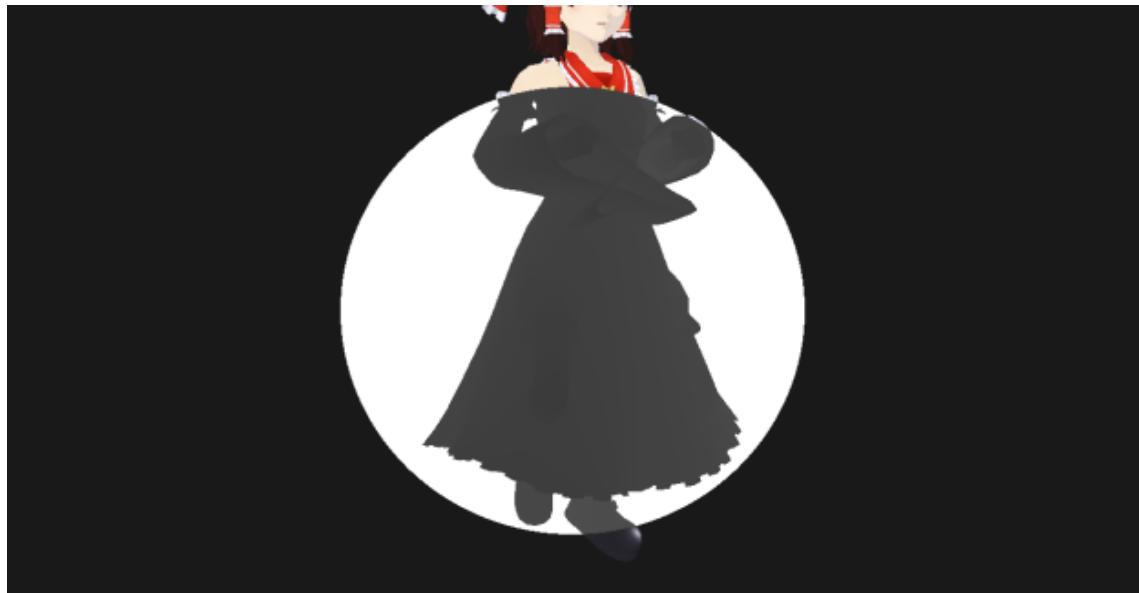
さて、原因ですが…ペラボリの SamplerDesc が、何へ故へかあ
`samplerDesc.Filter = D3D12_FILTER_COMPARISON_MIN_MAG_MIP_LINEAR;`

このようになっており、ただリニア補間すればレリの `COMPARISON` が入ってるせいで、「比較」が行われていたようです。

で、まずい事にその下で

`samplerDesc.ComparisonFunc = D3D12_COMPARISON_FUNC_NEVER;`

としていたため、何も塗りつぶさずに終わってました。COMPARISON を外せば…



やったぜ…。1週間悩んで糞まみれのノグを見つけると、ああ～気が狂う程気持ちええんじや。

ノグアとかビューや部分ばかり見てサンプラーを見る時間が少なかったのがこれだけ時間がかかった原因ですね。一度は I 君がサンプラー怪しいんじゃないですかと指摘していたのに、「まさかフィルター部分ではあるまい」と COMPARISON_FUNC とかばかり見てたのも良くなかったです。惜しい所には来てたんですが…。

まあ、ともかく、めでたく修正完了したので晴れ晴れとして気持ちでシャドウマップやっていきましょう。

シャドウマップのしくみ

シャドウマップで一番面倒なのはマルチパスの部分なので、そこはもう済んでいる。実は山場がもう終わっているのだ。

そもそも影が落ちるといいうのはどういうことなのかといいうのを今一度考えてみましょう。

「影ができる」ということは「光源からの光線が遮られている」事に他ならないわけですね。

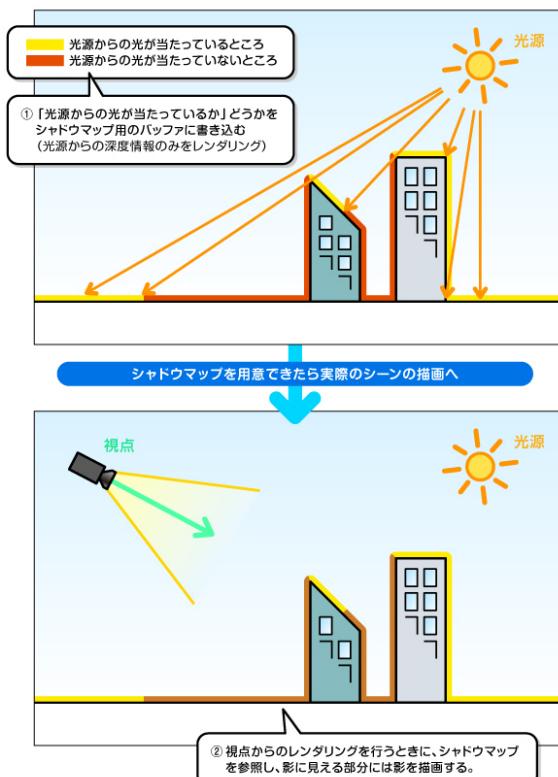
考え方としては、別のカメラ(現在のカメラが1カメなら、2カメだと思ってほしい)で光源から撮影して、そのカメラ(2 カメ)に映った部分は直接光が当たっているわけだから、通常通りに描画する。

そしてカメラ(2 カメ)に写っていなかった部分は直接光が当たっていない。つまり暗くなるというわけだ。で、1 カメを現像する段階で 2 カメの深度情報を確認。

1 カメのピクセル描画の際にそのピクセルの 3D 空間座標を 2 カメ座標変換した時の Z 値(深度値)を計算し、現像済みの 2 カメ深度より深ければ(大きければ)影だから暗く描画する。

これだけである。

ワカリヤスイ図が



<http://news.mynavi.jp/column/graphics/024/>

ですね。

ちなみに図では模式的には点光源なんですが、今回は光源が平行光線なので、平行光線を扱っていきます。

準備

さて、既に僕以外の人は深度をテクスチャにきてるでしょうからさっそく影を落としていきたいのですが、残念ながら影を落とす先がまだありません(自分自身に影が落ちますがちょっとわかりづらいので)

概要

というわけで、床と、余裕があればなにかプリミティブなオブジェでも置きたいけなと思います。

`PrimitiveMesh` という基底クラスを作つて、`Plane`(平面)、`Cube`(立方体)、`Cone`(円錐)あたりを作つてください。

`Plane` はコンストラクタに幅と奥行を与えると法線(0,1,0)の平面の頂点バッファを生成します(もしくは法線ベクトルを与えて自由な方向の平面を作る仕様でもいい)。

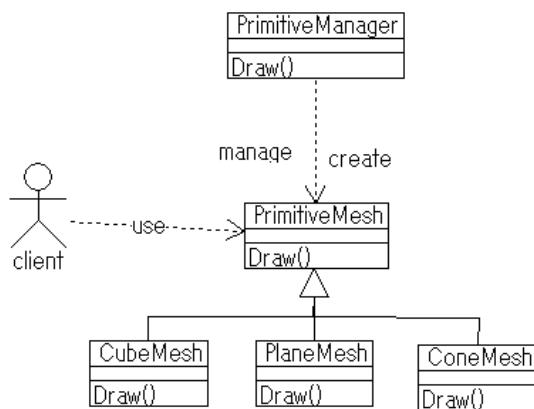
`Cone` はコンストラクタに、半径と高さと分割数を入れると円錐の頂点バッファを生成します。`Cube` は縦横高さがあればいいんじゃないかな。この辺は IQ もどき作った時を思い出してください。

まあ、考えてみてください。頭の体操です。`Plane` はすぐだと思ひますか…。

共通仕様としてはコンストラクタで設定。`Draw` で描画というシンプルなものにしたいかなと思ひます。また、今回のプリミティブは座標、法線(余力があるなら UV も)情報があればいいです。

PMD とは頂点の仕様が違うので、パイプラインステートは別々ですね。

設計



こんな感じで行こうかなと思ひます。各自こういう図は書きなれておきましょう。`PlaneMesh` やら `CubeMesh` やら作るとどうせ汎化したくなるので、`PrimitiveMesh` という関数を作つてします。

実装

コンストラクタに必要なものを入れたら内部的に頂点バッファを作りましょう。

ひとまずコレの実装をお願いします。

```
using Microsoft::WRL::ComPtr;
///平面メッシュクラス
class PlaneMesh : public PrimitiveMesh
{
private:
    ComPtr<ID3D12Resource> _vbuffer;
    D3D12_VERTEX_BUFFER_VIEW _vbv;
public:
    //幅と奥行きから平面メッシュを作る
    PlaneMesh(ID3D12Device* dev, const DirectX::XMFLOAT3& pos, float width, float
depth);
    ~PlaneMesh();
    void Draw(ID3D12GraphicsCommandList* cmdlist);
};
```

とりあえず頂点情報のみで床を表示できるようなシェーダとレイアウトを用意しましょう。

入れる情報は座標情報と法線情報と…uvだけでいいですね。頂点カラーのつけたい人は各自設定してください。

あとあと無駄なところは省くとして、ひとまずレイアウトと頂点バッファを内部で作りましょう。簡単な床から始めましょう。

で、頂点1つあたりの情報を格納するための構造体を作るんですが、コンストラクタで初期値を設定できるようにしといてあげると楽ですよ。

こんな感じで

```
///プリミティブ頂点型
struct PrimVertex {
    XMFLOAT3 pos;
    XMFLOAT3 normal;
    XMFLOAT2 uv;
```

```

PrimVertex (){
    pos=XMFLOAT3(0,0,0);
    normal=XMFLOAT3(0,0,0);
    uv=XMFLOAT2(0,0);

}

PrimVertex (XMFLOAT3& p, XMFLOAT3& norm, XMFLOAT2& coord){
    //入力変数名は、自分のメンバと重ならないようにするためにこんな名前にしている。
    pos = p;
    normal = norm;
    uv = coord;
}

PrimVertex (float x, float y, float z, float nx, float ny, float nz, float u, float v){
    pos.x = x;
    pos.y = y;
    pos.z = z;
    normal.x = nx;
    normal.y = ny;
    normal.z = nz;
    uv.x = u;
    uv.y = v;
}
};


```

あとはそれぞれの(Plane や Cylinder)クラスのコンストラクタで頂点情報を作っていってやる。

まあ Plane は4頂点しか指定する必要が無いので楽だわな。

先程も言ったけど、この手の構造体の初期化を作つておくと便利な理由は
例えばプリミティブ頂点を宣言する時に

`PrimVertex p(-10, -0.2, 10.f, 0,1,0,0, 0);`
などと書けます。

```

array<PrimVertex, 4> vertices{
    { XMFLOAT3(pos.x - width / 2, pos.y, pos.z - depth / 2), XMFLOAT3(0,1,0), XMFLOAT2(0,0) },
    { XMFLOAT3(pos.x - width / 2, pos.y, pos.z + depth / 2), XMFLOAT3(0,1,0), XMFLOAT2(0,1) },
    { XMFLOAT3(pos.x + width / 2, pos.y, pos.z - depth / 2), XMFLOAT3(0,1,0), XMFLOAT2(1,0) },
    { XMFLOAT3(pos.x + width / 2, pos.y, pos.z + depth / 2), XMFLOAT3(0,1,0), XMFLOAT2(1,1) }
}

```

```
} };
```

とてもすればいい。これで頂点をつくって頂点バッファを返せばいい。あとはレイアウトとシェーダをセットすれば床も表示されるようになります。

あとは円錐はこの応用で作ってくれ…とはいいうものの、円柱の頂点を自動で作る方法とか知らないかもしないので、ヒントを言おうか。

- 円錐と言っても結局は正多角形柱
- ループを使う
- ループ回数は引数で渡した分割数
- 頂点位置には sin,cos を利用
- ループの要素が++されるたびに角度は $2\pi / \text{分割数}$ 進む
- 円柱側面は長方形
- 長方形は三角形2つぶし
- プリミティブポロジが TRIANGLESTRIP であれば N 字を並べればよい
- プリミティブポロジが TRIANGLELIST ならば長方形一つに 6 頂点…頂点の並びに注意
- 法線は中心から外側に向かうように伸びている…つまり円柱の中心から側面頂点まで
- UV は…まあよきにはからえ(考えるのが面倒なら貼らなくても良い)

```
std::vector<PrimVertex> vertices(div*2+2);
for (int i = 0; i <= div; ++i){
    vertices(i * 2).pos.x = r*cos((XM_2PI / float(div))*(float)i);
    vertices(i * 2).pos.z = r*sin((XM_2PI / float(div))*(float)i);
    vertices(i * 2).pos.y = 0;

    XMFLOAT3 norm = vertices(i * 2).pos;
    XMStoreFloat3(&vertices(i * 2).normal, XMVector3Normalize(XMLoadFloat3(&norm)));

    vertices(i * 2).uv.x = (1.f / float(div))*float(i);
    vertices(i * 2).uv.y = 1.0f;

    vertices(i * 2 + 1).pos.x = 0;
    vertices(i * 2 + 1).pos.z = 0;
    vertices(i * 2 + 1).pos.y = height;

    vertices(i * 2 + 1).normal = vertices(i * 2).normal;
    vertices(i * 2 + 1).uv.x = (1.f / float(div))*float(i);
```

```
    vertices[i * 2 + 1].uv.y = 0.0f;
}
```

こんな感じかな?

とりあえず画面上に床と円錐を表示させてください。と言いたいところですが、そう簡単にいかなしいかな…。

とりあえず思考をまとめておくと、必要なものは…

- 頂点バッファ
 - 頂点バッファビュー
- と、まあこれくらいで

```
///プリミティブメッシュ管理
class PrimitiveManager
{
private:
    std::vector<std::shared_ptr<PrimitiveMesh>> _primitives;
    ComPtr<ID3D12PipelineState> _pipeline;
    ComPtr<ID3D12RootSignature> _rs;
    ComPtr<ID3D12Device> _dev;

public:
    PrimitiveManager(ComPtr<ID3D12Device> dev);
    ~PrimitiveManager();

    ///平面を作成
    ///@param pos 中心座標
    ///@param width 幅
    ///@param depth 奥行き
    std::shared_ptr<PlaneMesh> CreatePlane(const DirectX::XMFLOAT3& pos, float
width, float depth);

    ///描画準備
    void BeginDraw(ID3D12GraphicsCommandList3* cmdlist);

    ///描画
    void Draw(ID3D12GraphicsCommandList3* cmdlist);
```

```
};
```

てな感じで作ります。そろは言っても一気に作るのは大変なので平面から作っていきましょう。

Plane の Draw はこんな感じです

```
void
Plane::Draw() {
    DirectX12& dx = DirectX12::GetInstance();
    auto cmdlist = dx.GetCommandList();
    cmdlist->IASetPrimitiveTopology(D3D_PRIMITIVE_TOPOLOGY_TRIANGLESTRIP);
    cmdlist->IASetVertexBuffers(0, 1, _vbview.get());
    cmdlist->DrawInstanced(4, 1, 0, 0);
}
```

なのですが、この Draw 系を動かす前にやっておかねばならぬことが一つあって、それはグラフィックスパイプラインステートの切り替えです。

先ほどの PrimitiveCreator の SetPrimitiveDrawMode の中身ではなにをやるのかというと、

```
void
PrimitiveCreator::SetPrimitiveDrawMode() {
    DirectX12::GetInstance().GetCommandList()->SetPipelineState(_pipelineState);
}
```

この関数を通常 Draw が終わった後にでも呼ぶわけです。

えーと、もしかしたらプリミティブ用のシェーダも書けないかもしませんので言っておくと

//プリミティブ表示用頂点シェーダ

```
PrimOutput PrimitiveVS(float4 pos : POSITION, float3 normal : NORMAL, float3 color :
COLOR ,float2 uv : TEXCOORD)
{
    PrimOutput o;
    o.svpos = mul(mul(viewproj, world), pos);
    return o;
}
```

```
//ボーン表示用ピクセルシェーダ
float4 PrimitivePS(PrimOutput inp) :SV_Target
{
    return float4(1,1,1,1);
}
```

こんな感じ。レイアウトの方は、これに合わせて作っておいてくれ。

レイアウトとシェーダがきっちりあっていれば、グラフィックスパイプラインステートの生成は成功するはずなので、それが成功するまで試行錯誤してみてください。

シャドウマップ本編

手順

では、今まで何度もなんとなく喋っていますが、手順を言います。

1. ライト側から撮影
2. 1の結果を深度のみ現像(DSVのみ指定してレンダリング→SRVとして使用)—LVSERV
3. 通常のカメラ側から撮影
4. 現像する
 - (ア) ピクセルシェーダにて対象の3D座標を得る(SVPOSではなく POS)(x,y,z)
 - (イ) ↑の POS をライトビュー変換かける($x,y,z \Rightarrow x',y',z'$)
 - (ウ) ↑で得た x',y' を uv 座標に変換($+(1,-1) * (0.5 - 0.5)$)
 - (エ) ↑の LVSERV の uv 座標部分の値と z' を比較し z' が大きいなら暗くする

以上

ライトビュー行列を追加

```
struct TransformMatrices {//float68=272byte
    DirectX::XMATRIX world;//float16
    DirectX::XMATRIX camera;//float16
    DirectX::XMATRIX wvp;//float16
    DirectX::XMATRIX lvp;//float16: ライトビュー行列
    DirectX::XMFLOAT4 eye;//float4
};
```

ちなみにこ↑こ↓で総計 256 を越えます。コンスタントバッファ君は当然の権利のように 512 バイト分食いつぶすで。

さらにシェーダとの連携を合わせるために関連するhlsl側も合わせて変更

//定数レジスタ0

```
cbuffer Mat :register(b0) {
    matrix world;//ワールド
    matrix view;//ビュー
    matrix wvp;//合成済み
    matrix lvp;//ライトビュープロジェクション
    float4 peye;//視点
};
```

ひとまずは何も起きません。

バッファの確保

まあ、デジカメもメモリがなかつたら撮影できないわけです。ですから、そのためのメモリを確保します。作り方は既に作っている深度バッファの部分を参考にしてください。

//シャドウマップ用

```
ComPtr<ID3D12DescriptorHeap> _shadowDsvHeap;
ComPtr<ID3D12DescriptorHeap> _shadowSrvHeap;
ComPtr<ID3D12Resource> _shadowBuffer;
void CreateShadowmap();
```

そしてそのメモリはテクスチャとして使用する必要があるためテクスチャとしてメモリの確保を行います。また、いつものRGBAではなく「深度値(Z値)」を書き込むためのものであるためいつものテクスチャとはちょっと指定が違ってきます。

```
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC desc = {};
desc.NumDescriptors = 1;
desc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_DSV;//深度ステンシル
//深度値用デスクリプターヒープの作成
result = dev->CreateDescriptorHeap(&shadowmapHD, IID_PPV_ARGS(&_shadowMapHeap));
```

デスクリプターヒープはこんなもんでいいんですが、問題は深度バッファのほう。

通常の深度バッファならば幅と高さは今見ている画面と同じでいいのですが、なにぶん光でござりますので、画面がワイドだからといって、光はワイドにやならんのですよ。

ということで縦横が同じようなサイズでレンダリングします。

```

size_t ssize=max(WINDOW_WIDTH,WINDOW_HEIGHT);
こういう感じででかい方を取って来て…うーん。2の累乗サイズにしてみましょうか。
//与えられた数値を2の乗数に切り上げる(32ビット版)
size_t RoundupPowerOf2(size_t size) {
    size_t bit = 0x8000000;
    for (size_t i = 31; i >= 0; --i) { //1個ずつビットを下ろしていく
        if (size&bit) break; //立っていたらそこで抜ける
        bit >>= 1;
    }
    return bit << 1; //ひとつ行き過ぎてるんで戻る
}

```

みたいにな関数を用意して…と、しつと書いたけど、やってる事の意味はお分かりだろうか？一番左のビットを探し出してそれを左に1ずらしているのだ。…あー、しまった。ちょうど 2^n の場合に余計なサイズになる(16のとき32になる)な、これは…という事で、この後は自分で考えててくれたまえ。分からぬい？いや…これくらい自分でできないと、そろそろ独り立ちせんとなアーッ!!!

うーん。

わからんのか、この戯けがアーッ!!いや、別にif文使っても良くてよ？あと僕はあまり&とかは使いたくないので最後の戻り値の部分をこうしました。

```

return size+((bit << 1)-size)%bit;
return bit + (bit%size); //

```

なんでなのは各自考えることと、パズルだと思って、自分のやり方をあみ出してみてください。ともかく関数ができたら、

```

auto size = Dx12HelperFunc::RoundupPowerOf2(max(wszie.w, wszie.h));
でサイズ測っておいて
D3D12_RESOURCE_DESC resDesc = {};
resDesc.Dimension = D3D12_RESOURCE_DIMENSION_TEXTURE2D;
resDesc.DepthOrArraySize = 1;
resDesc.Width = size;
resDesc.Height = size;
resDesc.Format = DXGI_FORMAT_R32_TYPELESS;

```

```

resDesc.SampleDesc.Count = 1;
resDesc.SampleDesc.Quality = 0;
resDesc.Flags = D3D12_RESOURCE_FLAG_ALLOW_DEPTH_STENCIL;
resDesc.Layout = D3D12_TEXTURE_LAYOUT_UNKNOWN;
resDesc.MipLevels = 1;
resDesc.Alignment = 0;

```

フォーマットを R32_TYPELESS にするの忘れずに。

あとは既に作っている深度/dffファブリックと同じように作ります。

```

//DSVヒープ作成
D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_DESC heapDesc = {};
heapDesc.NumDescriptors = 1;
heapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_DSV;
heapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_NONE;
heapDesc.NodeMask = 0;
result = _dev->CreateDescriptorHeap(
    &heapDesc,
    IID_PPV_ARGS(_shadowDsvHeap.GetAddressOf()));
assert(SUCCEEDED(result));

D3D12_DEPTH_STENCIL_VIEW_DESC dsvdesc = {};
dsvdesc.Format = DXGI_FORMAT_D32_FLOAT;
dsvdesc.ViewDimension = D3D12_DSV_DIMENSION_TEXTURE2D;
dsvdesc.Flags = D3D12_DSV_FLAG_NONE;
dsvdesc.Texture2D.MipSlice = 0;
_dev->CreateDepthStencilView(_shadowBuffer.Get(),
    &dsvdesc,
    _shadowDsvHeap->GetCPUDescriptorHandleForHeapStart()
);

//SRVヒープ作成
heapDesc.Type = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_TYPE_CBV_SRV_UAV;
heapDesc.Flags = D3D12_DESCRIPTOR_HEAP_FLAG_SHADER_VISIBLE;
heapDesc.NodeMask = 0;
result = _dev->CreateDescriptorHeap(

```

```

&heapDesc,
IID_PPV_ARGS(_shadowSrvHeap.GetAddressOf()));
assert(SUCCEEDED(result));

D3D12_SHADER_RESOURCE_VIEW_DESC srvDesc = {};
srvDesc.Format = DXGI_FORMAT_R32_FLOAT;
srvDesc.Shader4ComponentMapping = D3D12_DEFAULT_SHADER_4_COMPONENT_MAPPING;
srvDesc.ViewDimension = D3D12_SRV_DIMENSION_TEXTURE2D;
srvDesc.Texture2D.MipLevels = 1;
srvDesc.Texture2D.PlaneSlice = 0;
srvDesc.Texture2D.MostDetailedMip = 0;

_dev->CreateShaderResourceView(_shadowBuffer.Get(), &srvDesc, _shadowSrvHeap-
GetCPUDescriptorHandleForHeapStart());

```

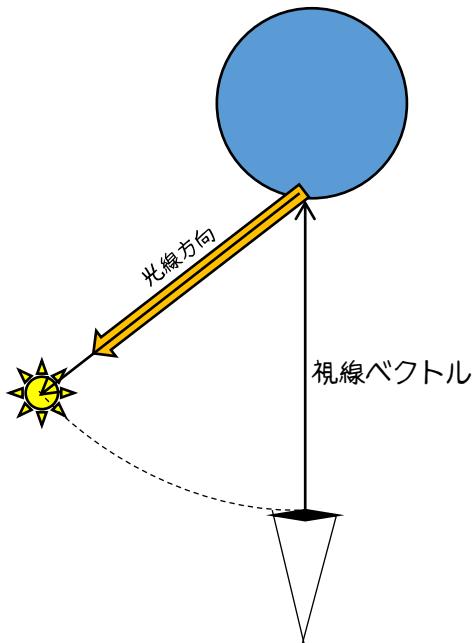
ここまで通常の深度/バッファ DSV&SRV と同じです。

ライトの「とりあえずの」座標を決める

現在の「ライト」は平行光線なので、「ライトの座標」などというものはありません。でも前から言っているように、シャドウマップのためには「ライト(カメラ)」からの映像を撮っておく必要がありますので「ライトのとりあえずの座標」が必要になってきます。

で「ライトの座標」は平行光源なので、絶対座標ではなく相対座標として考えるようになります。

方向はもちろん今の平行光線のままでいいのですが…一つのアイデアとして



こういう図で考えてみてください。影の解像度があまり不自然にならないためにはだいたい始点と注視点の距離を統一しておけばいいでしょう。

つまり最初に始点と注視点の距離を測っておき、注視点に正規化済み光線ベクトル*距離を足せば、求めたい「光源の位置」をねつ造できます。それっぽければいいのです。

つまり…

光源の位置については

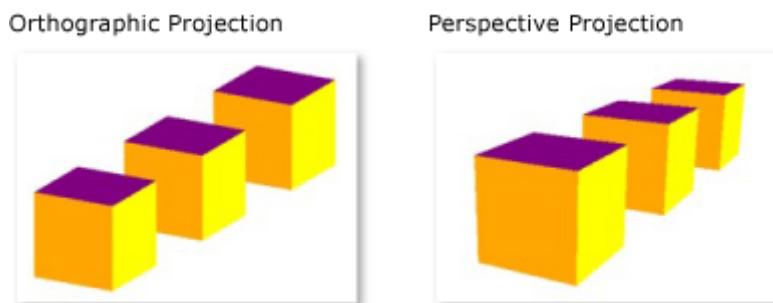
```
lightpos = toLight*(target-eye).Magnitude();
```

という風に考えればいい事がわかります。なお、注視点はそのままいいでしょう。

で、これを元にライトビューとライトプロジェクション行列を作ります。ライトビューは簡単ですね。さっき作った lightpos を視点として XMMatrixLookAtLH すればいいのです。

次にライトプロジェクションですが XMMatrixPerspectiveFovLH を使用する…と言いたいところですが、今回は平行光源なのでペースがかかるっていなーとみなします。ペースがかかるないプロジェクション行列などあるのでしょうか?

あるのです。ペースをかけない時点でプロジェクションとは言えないのですが、どっちみち 2D 空間につぶす必要があるので、この行列も必須なのです。



ちなみに3Dでパースをかけないことなんてあるの?って思うかもしれません、海外のよくあるゲームではウォータービューみたいな3Dゲームもありますので、知っておいた方がいいですね。



FEZってゲームです

それはさておき、パースをかけないための関数はXMMatrixOrthographicLHという関数です。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixorthographiclh\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixorthographiclh(v=vs.85).aspx)

ここにも書いてありますが、パースをかけない変換を正射影と言い、そういう行列を正射影行列と言います。

この関数は

XMMATRIX lightproj=XMMatrixOrthographicLH(幅、高さ、ニア、ファー);
と言うような指定にします。

この lightview と lightproj を使って、
wvp.viewproj=lightview*lightproj;

ちなみに幅と高さですが、正射影の場合は 1024 とかにするとかなり小さくなっちゃいますので、40x40 とかでいいと思います。ずいぶん小さいと感じるかもしれません、正射影ってこんなもんなのよね。正直分からないです()

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/magazine/dn745869.aspx>

に解説が書いてはありますが、ここでは 40x20 とかになってます。正直、単位が良く分からんです。一応根拠としては、通常は画面が -1~1 の範囲であるとして、僕のプログラムでは円柱が 15 だけ中心からずれて回転しています。そこから半径 5 の円柱なので、だいたい 10~20 で 40 にしています。

あとはライトビューを見て、カメラの範囲内にオブジェクトが収まるようになってればよいかなと思います。あと、ニアとファーはライトビューからの距離に合わせて設定してください。

さて、このライトビュープロジェクションが影の元として使用されることが分かったところで、今

①ライトビューの描画

②通常描画

という流れになっていると思いますので、通常描画のビュープロジェクションを通常にするようにしてください。

ライトからの描画

ライトからの描画についてですが、余計なものはそぎ落としましょう。マテリアルも必要ありませんし、レンダーターゲットへの書き込みも必要ありません。

つまり

- レンダーターゲットは null。デプスは書き込む
- マテリアルごとにインデックスを分けず、一気に書き込む
- シェーダも頂点操作以外の作業は必要なし

ということでシェーダ lightview.hlsl を作りましょう。

で、描画してみてください。画面に何も映らないので画面の一部に深度を表示しておきましょ

う。

ここまでで必要になるであろうメンバ変数、メンバ関数を書いておくと…

//シャドウマップ用

```
ComPtr<ID3D12DescriptorHeap> _shadowDsvHeap;
```

```
ComPtr<ID3D12DescriptorHeap> _shadowSrvHeap;
```

```
ComPtr<ID3D12Resource> _shadowBuffer;
```

```
ComPtr<ID3D12PipelineState> _shadowmapGPS;
```

```
ComPtr<ID3D12RootSignature> _shadowmapRS;
```

```
void CreateShadowmapHeap(); // バッファとヒープ作って
```

```
void CreateShadowmapRS(); // ルートシグネチャ作って
```

```
void CreateShadowmapGPS(); // グラフィックスパイプライン作って
```

```
void DrawLightView(); // ライトからの撮影
```

うまいこと書き込みが成功すると



このようにライトの深度が書き込まれているのがわかります(深度値の描画に関してはやらないでもいいですが、ともかく書き込まれている事は確認しましょう)。あとはこれを利用するだけです。

悪夢の深度値比較っ…!

ここからの話はまさに悪魔的…

そうですなあ…。

以前にライトからの深度値と比較することによって影を作ると言ったな?

何と比較するのだろう?

そりやあもちろんライトからの距離だよね?さて…ではその距離はどう測る?

distance(originalpos, lightpos)

という風にカメラからの距離を測るか?確かにカメラからの距離は測れる…が、これは完全に実距離である。

深度値マップの中に記録されている深度値は0~1の範囲に「正規化」されているのである。さらに言うと、既に画像化(UV&深度値)されている深度値マップのどのピクセルを使ったらいいのか?分からぬ。

以下のように、二つの問題が浮上する。

- 0~1の深度値と、実際の「距離」をどう比較していいかが分からぬ!
- 深度値マップのどのUV値を採用すればいいのかが分からぬ!

深度値と距離を同じ土俵に…

とにかく深度値と距離を同じ土俵に乗せるべきである。でないと…



このように相いれないこととなってしまう。まあ現実の話だと、2次元キャラを3次元に持ってくる方が手取り早い世の中になってしまいつつあるが、今回の影の話では3次元を2次元の世界に持って行った方が手取り早いのである。

どういう事がと言うと、座標の方を深度値の次元に持ってくるわけだ。

三次元空間上の調べたい座標…その座標を仮にposとする。これは生3D座標だから範囲は正規化されていない。これに対して lightviewproj 行列を適用する。

そうするとライトビューにおける「0~1につぶれた座標」が得られる。これで、既に撮影済みの深度値と距離が同じ土俵に乗るというわけだ。

とりあえずこれで一つ目の問題(距離をどう比較するのか)が解決するのだろう。

UV 値はどうするのか?

次に UV 値についてだが、座標に対して先ほど説明した `lightviewproj` 行列をかけることでライトから見た空間の座標になっている。ということは、元の座標が $x:(-1\sim 1), y:(-1\sim 1), z(0\sim 1)$ の範囲内に収まる状況になっている。というわけである。もともと深度マップはこの範囲を画像にしたものなので xy を UV 値に対応させればいい…

んだけど、そのままというわけにはいかなくてねえ。何でかと言うと、範囲が違う…
 $-1\sim 1 \Rightarrow 0\sim 1$ にしなければならないし、Y 方向は反転しているため

```
uv=(float2(1,-1)+shadowpos.xy*float2(0.5,-0.5));
```

となる。いつもの計算だから分かりますよね? とりあえずこの uv 使って床面に色を付けてみるところなる。



(^w^)おっ、影っぽいよ!!

しかし影ではない! 単なる深度マップである。深度値を比較しない事には正しい影を落とすことはできない。

さて、比較である。

比較

float Id=ライトビュー変換後の座標.z;
この値と深度マップの値を比較する。つまり

```
if(Id > 深度マップ.Sample(smp, uv)){  
    //暗くする  
}
```

で、以下のような影が



たとえばちょっとだけ暗くするなら

```
if (ライトビュー変換座標.z > 取得した深度値) {  
    brightness *= 0.7f;//暗くする  
}  
return float4(brightness*rgb, 1);
```

等と書きます。理屈は説明してるから分かりますよね？

上の lightdpeth は既にレンダリングしてロードした部分の値が入っています。こいつと、現在のピクセルの座標を比較。

現在の深度値(カメラから見た Z 値)の方が大きければ影が落ちるという事です。

セルフシャドウ

ちなみにセルフシャドウ(自分自身への影)に関して同じ理屈でできます。ただ注意点がちょっとあります。

モデル用のシェーダに先ほどの処理を適用すると



なんだこれは…たまげたなあ…。

と言った具合にノイズが入ってしまいます。

こういうノイズの事を「シャドウアクネ」と言うらしいです。ちなみに acne ってのは「にきび」って意味らしいです。

これは何故かと言うと、ライトが最初に当たる部分では、深度値が

ライトマップと、ライトビュー変換後座標.zで一致してしまうために

ライトビュー変換座標.z > 取得した深度値

の比較時に、予め取得しておいた深度値と「 ϵ ファイティング(深度ファイティング)」的な事が発生するからです。つまり浮動小数点演算の結果が場所によって変わってしまいます。

というわけで、せこいやり方ですが、ちょっと下駄(epsilon=0.0005fくらい)を履かせて

```
if (ld > lightdepth+epsilon) {
    dbright *= 0.7f; //暗くする
}
```

とします。

ちなみに epsilon というのは Wikipedia によれば

- 数学で、 ε - δ 論法などで見られるように非常に小さな数を表す記号としてよく用いられる。
- らしいです。

ともかく、こうするとセルフシャドウもキレイに入って



こうなります(しかしまだノイジーですね)

全体的なノイズはなくなったんですが、影のエッジがガタガタしてますね。解像度の問題だつたり、光線に平行に近い面だと伸びてしまいます。これを軽減するには

- シャドウマップの解像度を上げる
- 深度傾斜/ダイアス
- カスケードシャドウマップ(CSM)などのヴァリアンスシャドウマップ(VSM)などのを利用する

と、色々と対処がありますが、それはもう少し後にしましょう。

小休止&課題評価の話

一応当初の目標まで来れたので一旦小休止します。

ここからはリファクタリングをお楽しみください。また、今まで分からなかつた部分を話し合つたり質問したりしてください。

ここでちょっと早いですが提出物の話。

ひとまず 12/19(水)までに基本的なところまでやって提出してください

- モデルの表示
- モデルのスキーリング
- トーンレンダリング
- マルチパスレンダリング(歪ませるか/ばかすか)
- シャドウマップ

以上を提出してください。なお、2回目かつ3年生は授業でやつた事プラスアルファの何か(DX12でゲームを作つてもいいし、DX12をエフェクシアに移植してもいいし、パーティクル出してもいいし、コンピュートシェーダを使ってもいい)

最終評価は今回のこれと来年のGFFの提出をもつて評価します。よろしくお願ひいたします。

あ、授業自体はまだまだ続いていきます。

DDS ファイルのロード

ちょっともうおまけ的な流れになって来てるんですが、未だに DDS(DXT) 等の理解が必要だったりするので、一応この話も入れておきます。

UE4 や Unity などのエンジンの時代だからこそ知つておく必要があるんですね…知らないと割と痛い目に遭う事もあるので知つておきましょう。

ちなみに「俺はスマホゲーソシャゲーに行くから関係ないもーん」と思つてる人もいるかもしねないけど、どう考へてもスマホゲーの方がこの概念は大事なので、知つておこう。

もし DirectX 関係をいじつていくと、そのうち dds フォーマットと言うのに出くわすだろう。これは bmp や png などと同じように「画像ファイル」の一種である。

ちなみに dds は何の略かと言うと「DirectDraw Surface」の略である。あれ? やっぱりスマホゲー関係ないじゃん? と思うかもしれない。いやいや、話を最後まで聞け。

DXTC, ETC, PVRTC

この圧縮方式は、細部の差こそあれスマホゲームに大いに活用されている。というのもこの DDS の圧縮方式は DXTC と言って、後で話す仕組みによって圧縮されている。

通常であれば PNG や JPG に圧縮したところで、ロードして GPU に転送する時点で…皆さんもプログラムしてるからお分かりのように、一度 RGBA に「展開(解凍)」されてしまうのだ。

つまり、png などでどんなに圧縮していたとしても内部メモリ的には、32bit ビットマップと同じ容量を食っているのと変わらないわけだ。

まずここは押さえておいてくれ。

そこで考え出されたのは DXTC というもので、これは $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{4}$ クラスの圧縮率で、特筆すべきはこの圧縮率のまま GPU へ転送できるという部分だ。

メモリが貧弱なスマホゲームにおいてはこれを使わない手はない、そもそも Unity の設定で「モバイル」ってやると、画像フォーマットが勝手にこの圧縮方式となってしまうのだ!!!

ちなみに Android 系では ETC という圧縮方式が使用されている。圧縮方式は DXTC とほぼ同

じなのだが、微妙に違う。

さらに iPhone 系では PVRTC という形式が使用されており、これも概念的にはほぼ同じである。

それぞれ細かい解説が Optpix のブログに書かれています(俺も自分のブログで昔書いたけど、記事を思い出せない...)

DXTC

http://www.webtech.co.jp/blog/optpix_labs/format/4013/

ETC

http://www.webtech.co.jp/blog/optpix_labs/format/5882/

PVRTC

http://www.webtech.co.jp/blog/optpix_labs/format/4930/

それぞれしっかりとご覧になれば「あつ…(察し)ふーん」と気づくと思いますが、ほっとんど同じです。

…と、非常に効果が高いため特にスマホゲームでバンバン使用されているのですが、こいつにも落とし穴があるのです。

それは…非常に劣化しやすいのです。

あー、テクスチャファイルは可逆圧縮と、不可逆圧縮があるのは知ってるよね？

PNGなんかは可逆圧縮なんだけど、JPG やら GIF は不可逆圧縮。DDS も不可逆圧縮。

で、不可逆圧縮にもパターンがあって大きく分けると

- 色数を減らす圧縮(GIF など)
- 色数は減らないけど汚くなる圧縮(JPG など)

があります。

例えば GIF なんかは使用できる色の数を 256 未満に限定し、この 256 のパレット(インデックストで指定できる)を作る。この 256 パレットは 32bit でも可である。ただし絵の部分は RGBA32bit ではなく 256 インデックス 8bit とする。

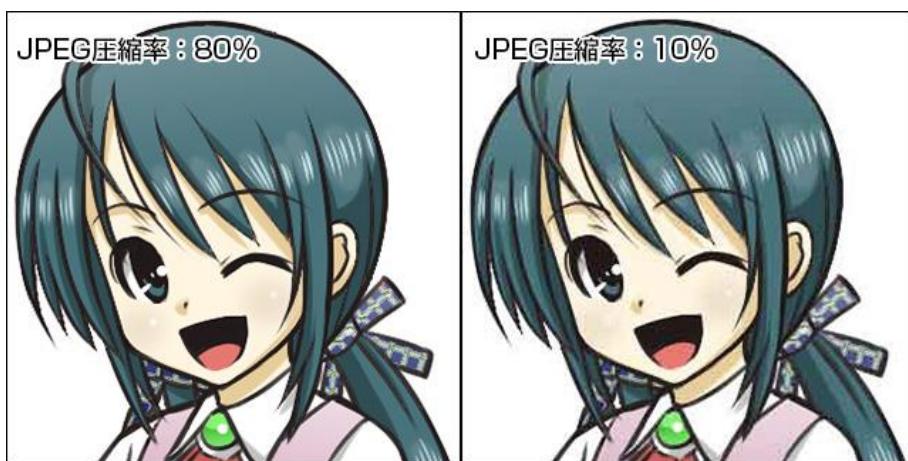
それによりパレット部分を無視すれば圧縮率は理論上 1/4 となる。

ただし、当然ながら色数はもともと最大 4294967296 色表現できたものが 256 色しか使えないため、使用できる色数は減る。そういうことだ。ただ、色鮮やかでピクセル数が多い写真画像ならともかく、ドット絵やキャラ絵では最大色数を使う事はあまりないだろう。

特にドット絵などでは 256 色すら使いきれないことは、ドット絵を描いたことのある人なら分かるだろう?(FFV やメタルスラッグは 256 に抑えてるのは驚異的だが…ちなみに初代マリオなんて 4 色だぞ?)

ともかく、2D のレトロゲームにおいては「色をインデックスで管理して減らす」という方法はかなり効果的であった事が分かる。そもそも DirectX5 くらいまでは「パレット」がハードウェア的に標準搭載されていたはず。

はい、ちょっと長くなりましたが、次に話す圧縮方式は色数を減らすのではなく品質を落として圧縮するというものです。



ネットに転がってた解説の奴を引っ張ってきましたが…

分かりづらいかもしれません、エッジ近辺に細かいノイズが入っているのがわかるでしょうか?(この辺を「ほとんど見た目が同じだからいいじゃん」などと言うとゲームアーティストにぶん殴られますので注意しましょう。)

ちょっと話が逸れます、この手の「ノイズが入る」系の圧縮方式は1ピクセルニ1色データという対応関係は当てはまりません。

こういう「情報の持ち方」が想像と違うものがあるのがテクノロジーの世界なので「なるほ

ど、そういうものもあるのか」と言う風に思ってください。

JPEG はまず「フーリエ変換」という方法を使って画像を周波数成分に分解します。

<https://www.slideshare.net/ginrou799/ss-46355460>

ですから JPEG の「情報量」は周波数の種類の数で決まります。例えば画像の色が Sin 波状態になってしまえば情報量は非常に少くなります。

しかし通常であれば無限に近い周波数の種類が必要となるため、圧縮しようとすると確実に劣化します。JPG には品質の指定があると思いますが、これは低品質になればなるほど、高周波成分からカットされます → 周波数の数が減る → 圧縮。

まあこの説明はおおざっぱなので、専門で勉強したい人は画像処理の本でも読んで勉強しましょう。

で、本題に入りますが DXTC, ETC, PVRTC は

- 色数が減るうえに品質も下がる

という、クオリティの面から言うとクソ圧縮なんですよね。とはいっても使われてるのは理由があるのですが、それはもう少し後で話します。

まずアルファ以外の 24bit が 16bit に色数が減ります。

RGB(8,8,8) が RGB(5,6,5)

になります。まずここで色の劣化。ちなみに G が 6 なのは 15 だときりが悪くて、16 にしようとなった時に、人間の識別範囲が広いのが縁だからという事です。

ししてさらに劣化するんですがちょっとややこしいのですが… 4x4 ピクセルを 2 つの代表色とインデックス()で表現するのです。つまり、

$16 \times 24\text{bit} \Rightarrow 2 \times 16\text{bit} + 16 \times 2\text{bit}$

$384\text{bit} \Rightarrow 64\text{bit}$

つまり $1/6$ の情報量になります。ちなみに α 値も 8bit \rightarrow 4bit にされてしまいます。 α 値に関

しては、全ピクセルに 4bit が割り当たるため、

$$16 \times 32\text{bit} \Rightarrow 2 \times 16\text{bit} + 16 \times 2\text{bit} + 16 \times 4\text{bit}$$

$$512\text{bit} \Rightarrow 128\text{bit}$$

圧縮率は 1/4 となります。

なお、これは DXT2~5 の場合で、DXT1 の時はさらに減ります。

DXT1 の時は α がないのでそもそも

$$512 \rightarrow 64$$

で圧縮率 1/8 であり、アルファが入ったとしても 1 ビット(抜くか抜かないか)しか使わないの
で、

565 → 555 とし、残りの 1bit をアルファとして使用します。

と、まあ結構な圧縮率になるのですが、先ほども言ったように割とクソ品質です。

そして前にも言ったようにゲームエンジンにおいて「モバイル」と指定すると、テクスチャリソースの大半が自動的にこの形式になります。3D のテクスチャであればあまり違和感がないのですが、UI とか、2D のドット絵までこの形式にされると問題です。

で、意外とこの知識がないスマホゲーム開発者が多くて「品質が～!!」とか言ってるんですが
もうね…。

うん、ここで 2D ドットゲームばかり開発してきた某ゲーム会社の人間からすると、「こういう時こそ温故知新じゃねーの?」って思うわけですよ。

つまり「パレット」の復活を考えるわけです。一応、そのテクスチャの総色数が 256 未満であれば GIF 同様にパレット圧縮できるはずだと思うわけです。ただ、これも時と場合…適切な状況以外でやってもあまり効果がないことは心に留めておきましょう。

このパレットを使うべき時は…

効果的な場合

- ドット絵的な場合(<DXTC 等でやると確實に劣化するためドット絵にとって大事な 1 ドットがつぶれてしまう。ドット絵の場合は色数が少ないというのもある)
- 画像サイズ ≪ 色数であること(256 色でサイズが 16x16 未満の絵とかだと意味がない… どころかサイズが増える。ドット絵なら関連アニメーションをまとめた状態とかだと効果が高い)
- エッジをきちんと意図通りに表現した場合
- バイリニアフィルタなどのフィルタをかけてない場合

やらない方がいい場合

- 写実的なものや様々な色がグラデーションしている場合
- エッジがそれほど明確ではない場合
- 3D に張り付けるテクスチャ(どの道大体)に拡縮するからあまり重要ではないことが多い)
- バイリニアフィルタがかかっている場合(インデックスを補間したら何が起こるか…分かるね? 分からない? インデックス 1 番とインデックス 2 番を補間して 1.5 になったら困るでしょ? インデックスが整数型以外になることの恐ろしさが分からぬいかな?)

てな感じです。ちなみにパレットに関しては LUT の応用でできます…というかパレットが LUT そのものなので別に難しくもないかなと思します。

で、かなり本題から外れてしましましたが実際の DDS ファイルのロードについて話してみようと思します。

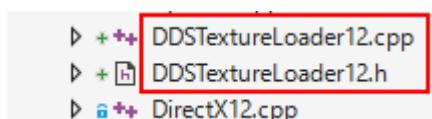
前の時に BMP や PNG をロードする仕組みとして WICTextureLoader12.cpp があったでしょ? あのノリで DDSLoader も用意します。

再び DirectXTex-master の中へ

もう忘れちゃってるかもしれません、DirectXTex-master の中を見ます。

LoadWICTextureFromFile に相当するものが DDS にもあればいいですね。そうすると DDSTextureLoader というフォルダがありますので中を見ると DDSTextureLoader12.cpp というファイルがありますね。bingo!!! だったらいいんですがどうでしょうか。

まあ、足踏みする時間などないので、こまけえ事は考えずにプロジェクトに追加だ!!



そしてビルドしてみる。まあ通るか。通るのか。まあまだ利用していないし、もう一つ言うと DDS のプログラムはプログラムで完結してるし、WIC よりかは使いやすそうだ。

まずはヘッダファイルを見てください。

```
// Standard version

///メモリ上のDDSファイルをロード(デコード)してID3D12Resourceとして返す。
///@param d3dDevice(In) デバイス
///@param ddsData(?) 対象データのアドレス(エンコードされた状態)
///@param texture(out) テクスチャオブジェクト(こいつがメインで欲しいもの)
///@param subresources(out?) サブリソースデータ受け取り用配列の参照
///@param maxsize 受け取るべき配列のサイズ(…だと思う)
///@param alphaMode アルファモード受け取り用?
///@param isCubeMap これも受け取り用かな?キューブマップ用?
///@return 読み込み(デコード)結果のフラグ
HRESULT __cdecl LoadDDSTextureFromMemory(
    _In_ ID3D12Device* d3dDevice,
    _In_reads_bytes_(ddsDataSize) const uint8_t* ddsData,
    size_t ddsDataSize,
    _Outptr_ ID3D12Resource** texture,
    std::vector<D3D12_SUBRESOURCE_DATA>& subresources,
    size_t maxsize = 0,
    _Out_opt_ DDS_ALPHA_MODE* alphaMode = nullptr,
    _Out_opt_ bool* isCubeMap = nullptr);

///DDSファイルをロードしてID3D12Resourceとして返す。
///@param d3dDevice デバイス
///@param szFileName ファイルパス
///@param texture(out) データ受け取り用ID3D12Resourceオブジェクト
///@param ddsData(?) 対象データのアドレス(デコード済みデータ配列)
///@param subresources(out?) サブリソースデータ受け取り用配列の参照
///@param maxsize 受け取るべき配列のサイズ(…と思う)
///@param alphaMode アルファモード受け取り用?
///@param isCubeMap これも受け取り用かな?キューブマップ用?
///@return 読み込み(デコード)結果のフラグ
HRESULT __cdecl LoadDDSTextureFromFile(
    _In_ ID3D12Device* d3dDevice,
```

```
_In_z_ const wchar_t* szFileName,
_Outptr_ ID3D12Resource** texture,
std::unique_ptr<uint8_t[]>& ddsData,
std::vector<D3D12_SUBRESOURCE_DATA>& subresources,
size_t maxsize = 0,
_Out_opt_ DDS_ALPHA_MODE* alphaMode = nullptr,
_Out_opt_ bool* isCubeMap = nullptr);
```

コメントはワシが書いたので、実際には日本語のコメントなどないつ!!!

ちなみに_In_だの_Out_だのについては

<https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/hh916382.aspx>

を見て理解してください。

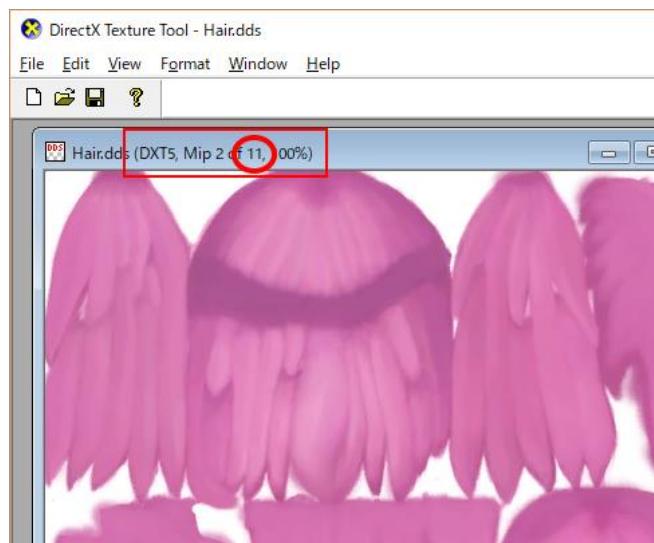


まずこれを実装しようとして最初に直面した問題が…

まあ僕は WIC と同じような感じで行けるだろーって思ってたんですよ。実際。そしたら罠と言うか、僕がただ単に DDS の特性を忘れてただけとも言えるのですが、

DDS は基本的にミップマップを持っている…

この特性を忘れておりました。「ミップマップは考えないようにしよう…」などと言っており



ましたが、ご覧の通り

全部で11個あるようです。

今までのように1枚だけのデータでそれがすべてであった時と、ミップマップのように複数のデータが格納されている時で、扱いが同じはずがねーだろ!! というわけですね。

まあ、当たり前の話なのですが、ゲームプログラムのリソースの仕様とか知らないとだいたいそう認識する。

問題はこの11個の画像のうちどれを使用すべきなのかという事だ。どれを選べばいいのだろう…というか、選ぶのまでこっちでやってたらミップマップとかやってらんねーわけですよ。

というわけで「11個のミップマップ」という事でテクスチャを作りたいわけですよ。

で、まあ色々と苦労して、ミップマップ状態データを貼り付けてこうなった



ご覧の通りさまだよ!

という事で、2枚目以降のテクスチャがうまくできていないようです。今の所

- テクスチャデータの読み込み
- テクスチャデータの生成

はうまくいっているようです。ですので「転送」に失敗していると思います。フェンスカリリアの失敗で2枚目以降が不正になってるのではないかと思うのですが…。

ちなみに注意点としては DDS 形式の場合 R8G8B8A8 的な形式は間違いで、それ用のフォーマットを指定してやる必要があります。フォーマットに関しては読み込み時に分かってるので、それを代入することになります。

クソ UpdateSubresources

さて、理屈から言うと、ここまでやればすぐにでも終わったはず…なのであるが、またクソ仕様のために今回は2週間ほど悩んだ。授業期間中じゃなくてよかつた…本当に…良かつた。

で、俺の2週間をつぶされた理由が本当にクソムカつくんですが、UpdateSubresources のク

ソ仕様なんですよね…



ともかく、少なくとも現バージョン(10.0.15063.0)においてはUpdateSubresource がまともに機能していない(ミップありの 2 枚目以降の挙動が怪しい)…これは間違いない(キリッ

サンプルコードも1枚読み込んだらそれで終わっている(複数のMipつきDDSを連続で読み込むことはやってないし)しまあはっきり言って検証されているのかどうかも怪しい。

MS のサンプルコードが寄ってたからって UpdateSubresources の方ばかり使ってるから、俺もそれでやってたけど、結局それが悪さしてるっぽい。WriteSubresource で正解。ただし恐らく最新 WDK では deprecated 関数なので、バージョン上がったたら UpdateSubresources に変更すべきなのだろう少なくとも 10.0.15063.0 における UpdateSubresources の挙動はおかしい。

という見切りをつけるまでに2週間かかってしまったのだ!!!!許さんぞ!!!!

ちなみにこれ、10.0.1607 以降のバージョンで治ってるかどうかの保証はないっ……!!(現在の最新バージョンは 1709 だが…まだ試してはいけないっ…!!)

クソに対する対処法

ともかく、15～16では少なくとも GeForce GTX 100 では動かないことが分かったので、もうここはこのまま突っ走るのをあきらめて考えました。このそびえ立つクソに対する僕の対処法は…やっぱり WriteSubresource を使う事でした。

WIC の時と同様、まずは Write 用にヒープの指定をやり直します。

DDSTextureOrder のトープロパティの指定を

CD3DX12_HEAP_PROPERTIES(D3D12_HEAP_TYPE_UPLOAD),

ではなく

```
D3D12_HEAP_PROPERTIES defaultHeapProperties = {};
defaultHeapProperties.Type = D3D12_HEAP_TYPE_CUSTOM;
defaultHeapProperties.CPUPageProperty = D3D12_CPU_PAGE_PROPERTY_WRITE_BACK;
defaultHeapProperties.MemoryPoolPreference = D3D12_MEMORY_POOL_L0;
defaultHeapProperties.CreationNodeMask = 1;
defaultHeapProperties.VisibleNodeMask = 1;
```

にして、今度は UpdateSubresources を使うべき部分をこうします。Write は 1 枚ずつしか書き込めませんので以下のように for ループを使います。こういう使い方は久しぶりですね。インデックスを WriteToSubresource の第一引数に使用するため、こういう場合は仕方ないですね。

```
for (int i = 0; i < subreses.size(); ++i) {
    result = textureBuffer->WriteToSubresource(i, nullptr, subreses[i].pData,
subreses[i].RowPitch, subreses[i].SlicePitch);
}
```

```
dx12.GetCommandList()->Close();
```

Box なんていらんかったんや…ということで nullptr にしています。

はい、そこまでやれればミップ付き DDS であっても



はいこの通り

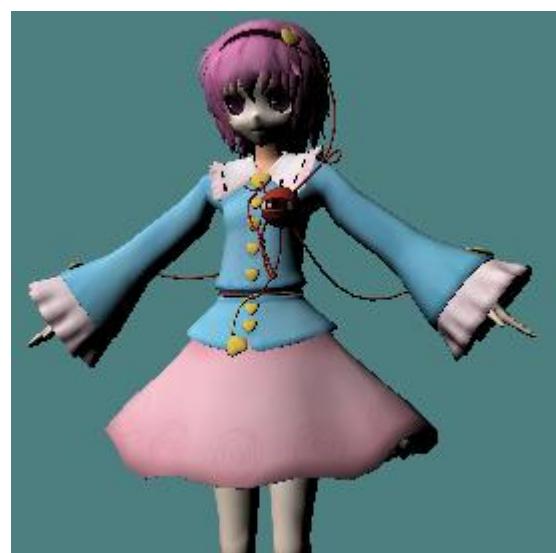
ちょっと気になるのは色がくすむんですよね~。これは元からある問題でもあるんですが…

ちなみにテクスチャカラーのみ表示すると…



このように違和感はあまりない…かな?

これに通常のシェーディングを行うと



もうすでに顔の色に違和感を覚えますね…なんだろうね。
あんまり考えても仕方ないので、ちょっとここは考えずに先に進みましょう。

クソまみれの中で得られたもの

クソクソ言うとりますけれども、まあ失った2週間はただ失ったわけではない。クソと向き合っているうちに DirectX12 に対する理解を深められたり、ツールなどに対する知見も得られました。

そうは言っても高すぎる代償ではあったけどね。

はい、得られたものは何かというと、あの顔以外真っ黒になる原因を調べようとしたときに、そもそもテクスチャ情報が GPU に渡っているのか?という疑問を持ちました。

そうなってくると必要なのは計測や調査に使用するソフトウェア。

昔(DirectX9 時代)であれば PixForWindows と言うものがございました、これがレンダリング状況やそれにかかったコストを計測してくれたものでございます。

で、DirectX12 の SDK の中にはそれが入っておりませんでしたので、DX9 の PixForWindows を使ってみましたが、落ちました…というか動作が停止しました。

恐らくシグナルとか、フェンスとかそのあたりで固まっているようで、原因も分からぬし、結論としては古いツールは使えないという結論に至りました。

という事で、PixForWindows DirectX12 で検索すると MS の Github にそれがありました。ありました、はっきり言って使い物になりませんでした…。まともな情報が得られない…。

ということで見つけたのが

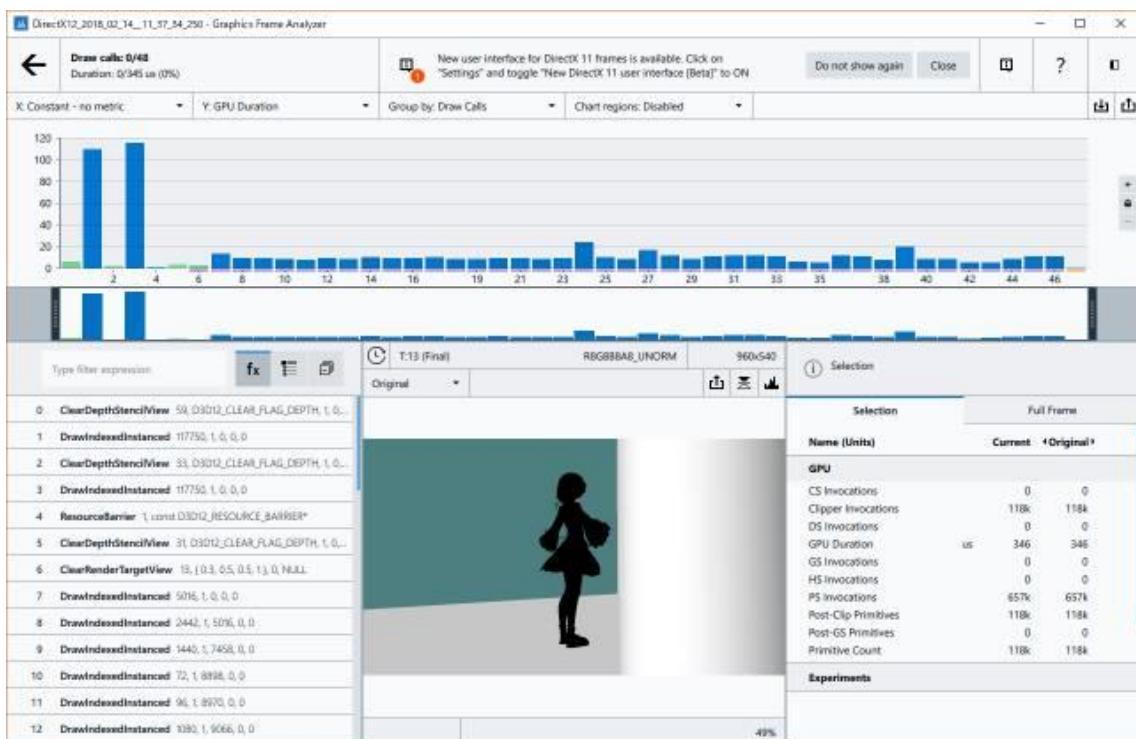
Intel Graphics Performance Analyzer

というツールです。フリーなのかどうなのははちょっと分かりませんが、役に立ったしいまだにお金も請求されてませんし、評価期間過ぎたから更新料などとも言われてません。まあ二週間なので、これが 1 か月後には言われるかも知れませんが…

<https://software.intel.com/en-us/gpa>

あ、FreeDownload って書いてますね。これを使わない手はないですね。

起動して自分のプログラムにアタッチすると…



こんな感じでコストだの何だのが表示されてボトルネックとかに対処しやすくなります…
これで段階的に見ていったのですが、結局テクスチャは真っ黒でした。

で、転送されていないかと言うとそうではなく、転送されたテクスチャが真っ黒だったのです。つまり、サブリソース(ロード後の生データ)を、テクスチャへ書き込むのが間違っている事が分かりました。というわけで `UpdateSubresources` が犯人であるとあたりを付けることができ、`WriteSubresource` で対処するという結論に至りました。

というわけで、闇雲に思い悩むより先に「計測する」これは大切な思想なので覚えておきましょう。

闇雲に思い悩むより先に「計測する」

これを今回は覚えて帰ってください。僕の上司の言葉で「ツマミをいじっても問題は解決せんへんぞ!! まずは何が問題なのかを正確に見極めろ!!」ってのがありました。これは僕もその通りだと思います。

更なるクソの中に潜ってみた結果…

幸いと言えるがどうかわかりませんが、UpdateSubresource のコードは d3dx12.h の内部にソースコードがインラインで記述されているために中身の構造、処理の手順を知ることができます。

さて、潜ってみたところ、キーになる関数がいくつか…

- D3D12Device::GetCopyableFootprints
- D3D12CommandList::CopyTextureRegion
- D3D12CommandList::CopyBufferRegion

が見つかりました。いちおうそれぞれ

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986878\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/windows/desktop/dn986878(v=vs.85).aspx)

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903862\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903862(v=vs.85).aspx)

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903856\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn903856(v=vs.85).aspx)

ですね。まあ別に見なくてもいいのですが、やたら面倒な事をやっている。

ちなみに Copy○○Region というのは範囲を指定して Intermediate(中間バッファ)から、最終的に持っていくリバッファにデータをコピーしています。ちなみにどちらもバッファです。

ちなみに、Texture と Buffer とありますが、これは Intermediate のヒープ指定時に Buffer の指定を行っていれば Buffer になるし、テクスチャの指定を行えば Texture 側が使用されます。なお、ここでは Buffer を使用しています。これは後程説明します。

元のデータはと言うと、この手前で Intermediate をマップして、普通に memcpy 的な事をやっており、コンスタントバッファの変更の時と同じようなことをやっています。

さて、ここで一つ疑問が湧いてくるのではないかと思いませんか…

Intermediate(中間バッファ)って何で必要ななの!?



まあ、そうなるわな…

なんでなんでしょうね?

そこでマイクロソフトのいわゆるホワイトペーパーを見てみましょう。

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn899215\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/dn899215(v=vs.85).aspx)

いつも通り英語ではあるんですが…

『Uploading 2D or 3D texture data is similar to uploading 1D data, except that applications need to pay closer attention to data alignment related to row pitch. Buffers can be used orthogonally and concurrently from multiple parts of the graphics pipeline, and are very flexible.』

自動翻訳すると…

『2D または 3D のテクスチャデータをアップロードすることは、1D データをアップロードするのと似ていますが、アプリケーションでは行のピッチに関連するデータの配置に細心の注意を払う必要があります。バッファは、グラフィックスパイプラインの複数の部分から直交して同時に使用することができ、非常に柔軟です。』

まあ、言いたいことは分かるんだが、まだ核心ではない気がする。ちなみに「直交」ってのは「かぶらない」程度に理解しておけばいいでしょう。さらに

『Applications must upload data via **ID3D12GraphicsCommandList::CopyTextureRegion** or **ID3D12GraphicsCommandList::CopyBufferRegion**. Texture data is much more likely to be larger, accessed repeatedly, and benefit from the improved cache-coherency of non-linear memory layouts than other resource data. When buffers are used in D3D12, applications have full control on data

placement and arrangement associated with copying resource data around, as long as the memory alignment requirements are satisfied.】

お?気になる関数名が出てきましたね?自動翻訳してみましょう。

『アプリケーションは、ID3D12GraphicsCommandList::CopyTextureRegion または ID3D12GraphicsCommandList::CopyBufferRegion を介してデータをアップロードする必要があります。テクスチャデータは、より大きく、繰り返しアクセスされ、他のリソースデータよりも改善された非線形メモリレイアウトのキャッシュ一貫性の恩恵を受ける可能性が非常に高い。バッファが D3D12 で使用される場合、アプリケーションは、メモリの配置要件が満たされている限り、リソースのデータをコピーすることに関連するデータの配置と配置を完全に制御します。』

ああはい、そうですか…。

『Copying』

D3D12 methods enable applications to replace D3D11 [UpdateSubresource](#), [CopySubresourceRegion](#), and resource initial data. A single 3D subresource worth of row-major texture data may be located in buffer resources. [CopyTextureRegion](#) can copy that texture data from the buffer to a texture resource with an unknown texture layout, and vice versa. Applications should prefer this type of technique to populate frequently accessed GPU resources, by creating large buffers in an UPLOAD heap while creating the frequently accessed GPU resources in a DEFAULT heap that has no CPU access. Such a technique efficiently supports discrete GPUs and their large amounts of CPU-inaccessible memory, without commonly impairing UMA architectures.

Note the following two constants:】

『コピー D3D12 メソッドは、アプリケーションが D3D11 UpdateSubresource, CopySubresourceRegion、およびリソースの初期データを置き換えることを可能にします。1 つの 3D サブリソースの行主要テクスチャデータがバッファリソース内に配置されてもよい。CopyTextureRegion はそのテクスチャデータをバッファから未知のテクスチャレイアウトを持つテクスチャリソースにコピーでき、その逆も可能です。アプリケーションは、CPU アクセスのない DEFAULT ヒープに頻繁にアクセスする GPU リソースを作成しながら、UPLOAD ヒープに大きなバッファを作成することにより、頻繁にアクセスされる GPU リソースにデータを入れるために、この種のテクニックを推奨します。このような技術は、一

般に UMA アーキテクチャを損なうことなく、個別の GPU とその大量の CPU にアクセスできないメモリを効率的にサポートします。

うん、流石に自動翻訳に無理が出てきたね。僕なりに修正翻訳してみよう。

D3D12 のメソッドは、アプリケーションが D3D11 における UpdateSubresource, CopySubresourceRegion、およびリソース初期化データ(initial data)と置き換えて考えられます。

1 つの 3D サブリソースの row-major(後述)テクスチャデータがバッファリソース内に配置されてもよい。CopyTextureRegion はそのテクスチャデータをバッファから未知のテクスチャレイアウトを持つテクスチャリソースにコピーすることができ、その逆も可能です。

アプリケーションは、CPU アクセスのない DEFAULT ヒープに頻繁にアクセスする GPU リソースを作成しながら、UPLOAD ヒープに大きなバッファを作成することにより、頻繁にアクセスされる GPU リソースにデータを入れるために、この種のテクニックを推奨します。

このような技術は、一般に UMA アーキテクチャを損なうことなく、個別の GPU とその大量の CPU にアクセスできないメモリを効率的にサポートします。

はい、ようやく言及されましたね？ Upload ヒープに大きなバッファを作成することによりアクセス効率と言うか、キャッシュ効率を上げようとしているのでしょうか。そしてその大きなバッファは一次元のデータバッファの事だね。

というわけで、いちいち面倒なんだが、その一次元データとして Intermediate を作り、書き込み先は Texture2D として定義されているため、生データは memcpy で Intermediate で書き込み、それを CopyBufferRegion で書き込み先へコピーする。

終わり。

ちなみに row-major というのは column-major の対義語で、データの格納の仕方が行ずつなのか、列ずつなのかという事を言っている。

例えば

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

という行列があるとして、それを一次元の配列に代入する際に

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{21}, a_{22} \dots a_{43}, a_{44}$ という流れで代入するのが(row-major)

$a_{11}, a_{21}, a_{31}, a_{41}, a_{12}, a_{22} \dots a_{34}, a_{44}$ という流れで代入るのが(col-major)の違いである。

…まあ、その、なんだ。

Intermediate(中間バッファ)ってのは、シンプルに VRAM 上に確保したメモリ領域であり、それには Texture2D だのなんだのの区別がなく、これでは使い勝手が悪いので、Texture2D を使用できるバッファがあるんだけど、それだと CPU ⇔ GPU のやりとりができないので、やつぱり中間バッファが必要になっているという…やつぱり設計間違えたんでないの?って思う仕様なのだ。

ちなみに C/C++ の二次元配列も結局はシンタックスシュガーなので、メモリ的には 1 次元配列と変わらないんですけど…そう考えるとますますこの設計に意味がなくなってくる…。

正直、DirectX12 は未完成感半端ないんだけど、DirectX Raytracing の基盤になつたりしそうなので勉強はしておいた方がいいとは思う…と思うんだ。

IK(インバースキネマティクス)

地獄中の地獄ここにありつ……!!!

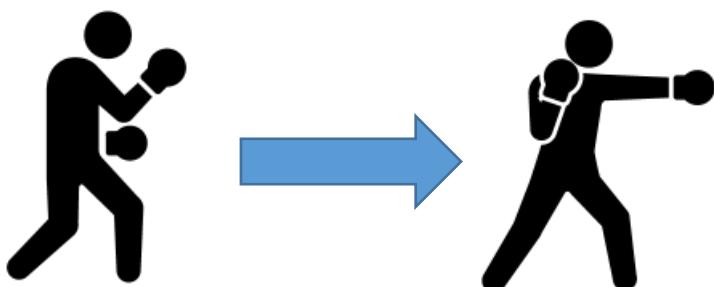
ついにきました。インバースキネマティクス。

もう前回まで影もエフェクトもやっちゃったし、これに入ってもいいでしょう。

このテキスト中最難関なのではないかなーと思います。

そもそもインバースキネマティクスとは何でしょう。知ってる人は知ってるかもしれませんのが、なんていうかな~。日本語で言うと「逆運動学」っていうんですけど、日本語で言われても分かりませんよね。

例えばですね



こう…パンチするわけです。

で、フツーにこのポーズを取らせようとするならば、肩を 45° 回転させて、肘を 90° 回転させてパンチポーズにするわけですね？

で、そういうやり方のことをフォワードキネマティクス(FK)と言います。

これを逆から考えるのが逆運動学で、拳の位置から肘などの位置を逆算するわけです。これをインバースキネマティクスと言います。

例えば



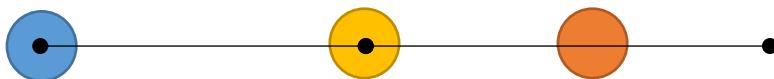
図のように3つの要素があると考えてください。赤が肩で、黄色が肘で、紫が拳にあたると見てください。

そうなると一つの制約が出てきます。

「骨の長さは変わらない」

です。関節の角度や位置は変わっても、骨の長さだけは変わりません。変わったら大変なことになりますよね？

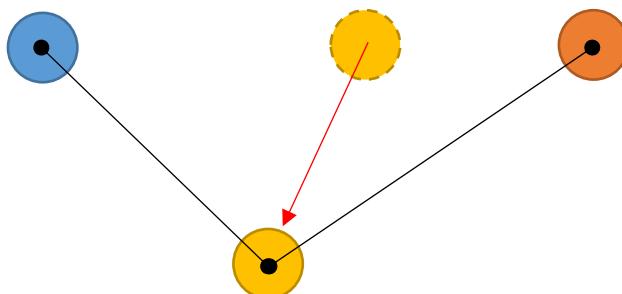
ここで拳を肩に近づけていきます。



さて、ただ近づけただけでは、拳から骨が飛び出てしまい、使い物になりません。でも骨の長さは変えられません…どうしたらいいのでしょうか？

この場合、肘の位置を変更します。つまり

このように肘の位置を「骨の長さが一定になり、拳の位置が所定の位置に来るよう」場所を



変更します。

で、今回は CCD-IK と言うのを使ってやっていきます。色々と IK の種類はありますが、MMD では CCD-IK を使ってるらしいので、それを使います。

CCD-IK とは…

さつきから当たり前のように CCD-IK と言ってますが、コイツは Cyclic Coordinate Inverse Kinematics の略です。長いので CCD-IK と呼ばれています。

様々な Inverse Kinematics の手法の中でこれが MMD に使用されているのは

- 理論が簡単
- 計算が速い(比較的)

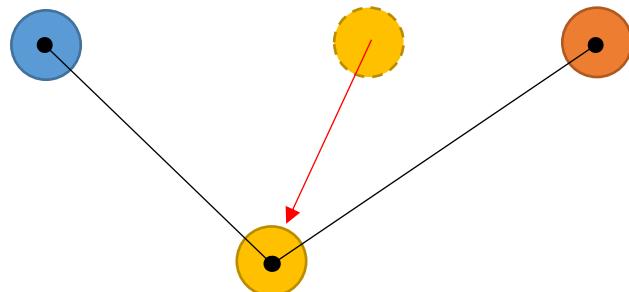
などの理由です。その他の IK を見ましたがよく分かりませんでした。ヤコビアン IK とかワーチャニオン IK は直感的に分かりづらかったです。

高校数学だけで IK っぽくしてみよう

えっ!? 高校数学で IK を!?



難しいかもしれません、理屈を分かることで必要なのでやっていきます。



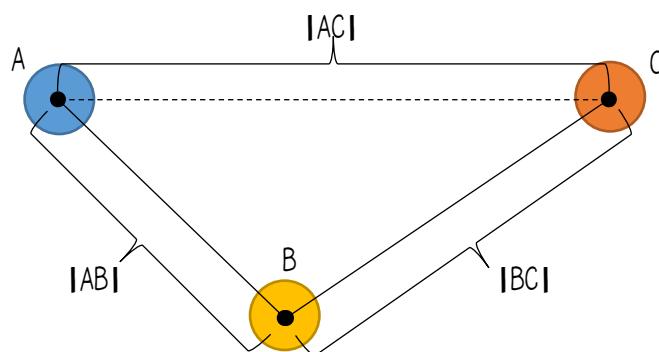
このこの、黄色の位置が知りたい。赤と紫の位置はわかっており、その間の「長さ」は既知であると、そういうわけだ。

仮に赤を A とし、黄色を B とし、紫を C とする。

そうすると、既知のものは

座標 A, C および $|AB|, |BC|$ である。

また、A と C が既知であるため $|AC|$ は $|C-A|$ で求まりますよね? つまりこれも既知。最終的に知りたい $|B$ の値は B の座標。



さて、これだけの材料から B の座標を求めましょう。まず、B から辺 AC に対して垂線を引きましょう。AC と垂線の交点を M とします。

ここまででは良いですかね？

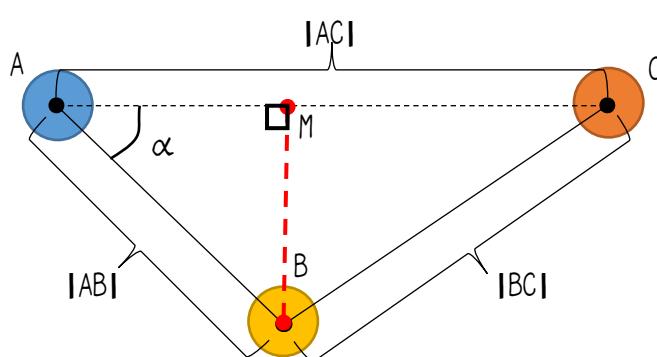
直角三角形となりますから、 $|\overrightarrow{AM}| = |\overrightarrow{AB}| \cos \alpha = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AC}|}$ となりますね？ただしベクトル \overrightarrow{AB} がわからなければ、まだ使いのにはなりません。早急に点としてはダメですよ？

ここで余弦定理を使います。 $|BC|$ を求めるという体で使います。BC は既知ですが、これは後で使うからです。余弦定理は

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

こんなやつでしたね？今回の三角形に当てはめると

$$|BC|^2 = |AC|^2 + |AB|^2 - 2|AB||AC|\cos\alpha$$



です。

この式の中で既知ではないのは $\cos \alpha$ だけです。ここで先程の

$$|\overrightarrow{AB}| \cos \alpha = \frac{\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC}}{|\overrightarrow{AC}|}$$

と連立させられないかどうか考えます。おやおや、 $|\overrightarrow{AB}| \cos \alpha$ が使えそうですね？

$$|BC|^2 = |AC|^2 + |AB|^2 - 2|AB||AC|\cos\alpha$$

を変形すると

$$|AM| = |AB| \cos \alpha = \frac{|AC|^2 + |AB|^2 - |BC|^2}{2|AC|}$$

で、この $|AB| \cos \alpha$ ってのは A から M までの距離ですから座標 M は、A からベクトル AC 方向に $|AB| \cos \alpha$ だけ進んだ部分ということになります。ですから

$$M = A + \frac{\overrightarrow{AC}(|AB| \cos \alpha)}{|AC|}$$

さらにこの $|AB| \cos \alpha$ は $\frac{|AC|^2 + |AB|^2 - |BC|^2}{2|AC|}$ と書けるので、

$$M = A + \left(\frac{\overrightarrow{AC}}{|AC|} \right) \left(\frac{|AC^2| + |AB^2| - |BC^2|}{2|AC|} \right) = A + \overrightarrow{AC} \left(\frac{|AC^2| + |AB^2| - |BC^2|}{2|AC^2|} \right)$$

となるので、既知の情報だけで M が表せます。そうすると座標 M が求まりますね?

ただ、求めたいのは座標 M ではなく、 B です。どうすれば良いのでしょうか?

$$B = M + \overrightarrow{MB}$$

ですから、ベクトル \overrightarrow{MB} を求めれば終わりです。なお、 $|\overrightarrow{MB}|$ はピタゴラスの定理から

$$|\overrightarrow{MB}| = \sqrt{|AB^2| - |AM^2|}$$

ですね。あとは向きがわかれば良いのですが、向きはベクトル \overrightarrow{AC} と直行しているため

$$\overrightarrow{AC}^R = \begin{pmatrix} \cos 90^\circ & -\sin 90^\circ \\ \sin 90^\circ & \cos 90^\circ \end{pmatrix} \overrightarrow{AC}$$

で求められます。 \overrightarrow{AC}^R が大きさ情報を持っていると使いにくいためこれを正規化したのと $|\overrightarrow{MB}|$ を乗算します。そうすると座標 B は

$$B = M + \frac{\overrightarrow{AC}^R |\overrightarrow{MB}|}{|\overrightarrow{AC}^R|}$$

と表せます。ここで B を求めりやれりなので、反復するまでもなく、 B の座標は確定的に明らか。ちなみに回転方向が正の方向と負の方向が考えられますが、どちらでも正しいです。通常は関節に使うので、どちらかはユーザーが決めることがあります。

まあ、ここまで話ならベクトルと内積と、サインコサインしか使ってないので、頭のレリ! 高校生にもなんとか分かる話です。

さて、ここからが本番ですよ。間の関節が複数あるパターンです。それだけで解を求めるのが複雑になってしまいますが、頑張りましょう。

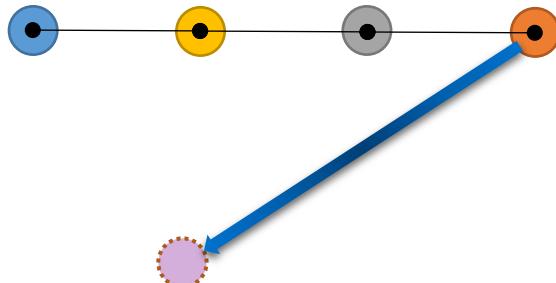
二次元における CCD-IK

さて、実際に CCD-IK をやっていくわけですが、いきなり 3D でやっていくと大変なので、2D に於ける解説からして行こうかと思います。

一文で説明すると

『コントロールポイントを特定の場所に移動させるために、掴んだコントロールポイントからロート方向へ遡るように回転処理(最終地点に近づくように)を行い、それを繰り返し近似座標を得る』

って事です。

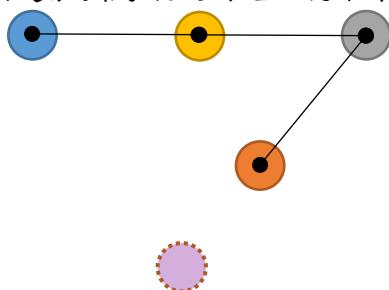


図のように紫を動かしたいとします。なお、赤はIKの影響を受けない端点とします。そうなると間の移動対象は黄色と橙ですよね？

で、先ほどと一緒に各コントロールポイント間の距離は変化しない…と。

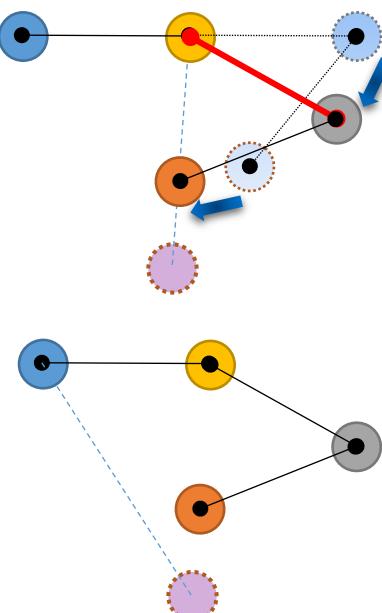
まずは対象コントロールポイントを「目的地に最も近づくように」回転させます。

当然ながら届いてません。かつ、間のコントロールポイントを回転させれば更に近づきそう



ですよね？

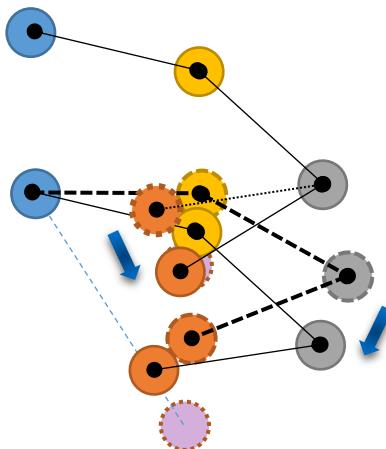
では一つ遡って黄色→橙の線を回転させます。



結果としてかなり近づいていますが、もうひと頑張りです。

今度は赤→黄の線を回転させます。

これで一周したわけですが、まだ離れてますので、この状態でまた末端からやり直します。



これを一致範囲内に入るまで、もしくは繰り返し制限回数を超えるまで繰り返します。
これが CCD-IK(2D)です。

三次元における CCD-IK

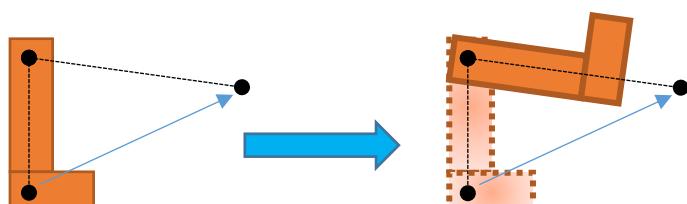
原理は 2D の CCD-IK と同じでいいです。面倒(というかトラブルメーカー)なのは回転の「軸」を決定することです。

で、どうやって決定するのかというと「外積」を使います。「外積」が「2つのベクトルに直交する」事を利用します。

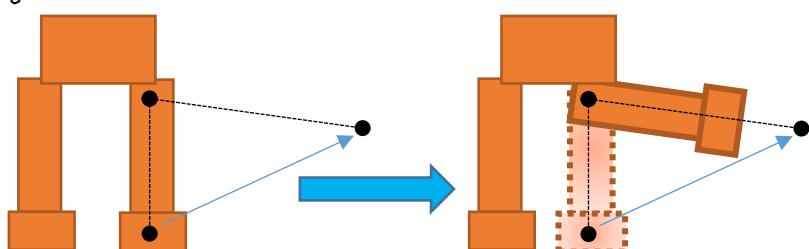
では、何ベクトルと何ベクトルで外積をとるのか?を考えましょう。

どの軸を中心に回転すべきなのかについて考えてみれば分かるのではないか…

例えば真横から足の IK を見た場合



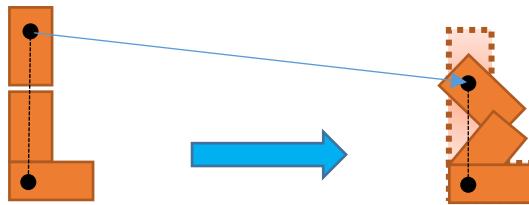
図のように足 IK を前にキック的に出そうとすると、当然軸は X 方向といふか横方向の軸になります。



また、例えば図のように、開脚気味に足を動かそうとするなら軸は前向きといふかと方向になりますね？

あ、まだ正解じゃないですよ？でも、ちょっと自分で考えて、あーそーなんだなーって思ってください。

ひとまずこの考えをもとに実装してみてください。足を上げるところくらいまで。これには穴があります。たとえば「しゃがみ」を考えてください。



図のように、しゃがみであれば足のIKとセンターとの距離が短くなるため、そのつじつまを合わせるために膝が曲がるわけですが、先ほどの考え方(だけ)だとうまくいかないことがわかりますね？

何故かって？

ターゲットへの「角度」が変わってないからだよ!! そうですね？

ベクトルの方向が同じままなので、これでは外積が出せません。意味は分かりますかね？

分からぬ人のためにちょっとだけ解説すると

ベクトルA(x_a, y_a)とベクトルB(x_b, y_b)とします。簡単のため二次元でやりますね？

この外積は

$$A \times B = x_a y_b - x_b y_a$$

ですね？ここでベクトルAとベクトルBが同じ方向を向いていなければ

$$B = kA = (kx_a, ky_a)$$

と書けますね？BはAのk倍のことです。

さて、その前提で外積を出してみましょう。どうなりますか？

$$A \times B = x_a y_b - x_b y_a = x_a k y_a - k x_a y_a = k x_a y_a - k x_a y_a = 0$$

という感じでゼロになります。外積は同じ方向を向くとゼロになります。

これは三次元でも同様で

$$A \times B = (y_a k z_a - z_a k y_a, z_a k x_a - x_a k z_a, x_a k y_a - k x_a y_a) = (0, 0, 0)$$

つまり、同じ方向を向いたベクトルは外積をとっても意味がないわけです。

じゃあ、しゃがみ時はどうしてるのかな？と考えよう。

実は3年前のテキストでは、分からぬあまりにこう考えました。

「さて、PMDには「ひざ」のとる角度が特殊だといろんな資料に書いてあったので、信じることにしましょう。

ということでIK名が「右ひざ」もしくは「左ひざ」ならばX軸方向にしか稼働しないらしいので、強制的に軸をX軸にしちゃいましょう。

簡単です。

```
if(対象IKが"右ひざ"もしくは"左ひざ"){
    軸.x=-1;
```

```
    軸.y=0;
```

```
    軸.z=0;
```

```
}
```

それ以外の場合は外積で軸を作りましょう。』と言ってました。参照ソースコードをお見せしますが、

```
///CCD_IKを行い、結果を返す。
```

```
///@param ikmap IKデータから取ってきたIKボーン名とIKリストデータのマップ情報
```

```
///@param boneInfo ボーン名によっては特殊な動きをする必要があるため「名前」取得のためボーン情報への参照を受け取る
```

```
///@param ikname 対象IKボーン名
```

```
///@param location 動かしたい先の座標
```

```
///@note 重要なのは…というか必要なのはそれぞれのボーンをどれだけ回転するかの情報だけ
```

```
///だが、CCDであるため途中経過の座標も重要なので、関数内部にテンポラリとして保持しておく
```

```
///関数を抜けたら用済みである
```

```
void CCD_IK(std::map<std::string,IKList>& ikmap,std::vector<BoneInfo>& boneInfo,const char* ikname,XMFLOAT3& location){
```

```
    int ikIdx=ikmap(ikname).boneIdx;//IKボーンマトリクス番号を取得
```

```
    std::vector<unsigned short>& itn=ikmap(ikname).boneIndices;//IKに対応するボーンのインデックス
```

```
    std::vector<unsigned short>::iterator it=itn.begin();
```

```
    std::vector<XMFLOAT3> tmpLocation(itn.size());//IKから支点までのボーン座標(IKは含まない)
```

```
    XMFLOAT3 ikpos=_boneoffsets(ikIdx);//IKの座標
```

```
    XMFLOAT3 targetpos=ikpos+location;//IKの座標(目的地やから変わらへん)
```

```
    int nodecount=itn.size();//チェーンノード数
```

```
    for(int i=0;i<nodecount;++i){
```

```
        tmpLocation(i)=_boneoffsets(itn(i));
```

```
}
```

```
    for(int c=0;c<40;++c){
```

```
        for(int i=0;i<nodecount;++i){
```

```
            if(ikpos==targetpos){
```

```
                break;
```

```

        }

XMFLOAT3 originVec=ikpos-tmpLocation(i); //もとの先っちょIKとさかのぼりノードでベクトル作成

XMFLOAT3 transVec=targetpos-tmpLocation(i); //目標地点とさかのぼりノードでベクトルを作成

//ベクトル長が小さすぎる場合は処理を打ち切る

if(abs(Length(transVec))<0.0001 || abs(Length(originVec))<0.0001){

    return;
}

//軸作成

XMFLOAT3 norm=Normalize(originVec)^Normalize(transVec); //ちなみに^は外積として扱っている

const char* name=boneInfo(i tn(i)).boneName;

if(strcmp(boneInfo(i tn(i)).boneName,"右ひざ")==0 || strcmp(boneInfo(i tn(i)).boneName,"左ひざ")==0){

    norm.x=-1;//norm;
    norm.y=0;
    norm.z=0;

} else{

    if(Length(norm)==0){

        return;
    }
}

//角度計算

XMVECTOR rot=XMVector3AngleBetweenNormals(XMLoadFloat3(&Normalize(originVec)),XMLoadFloat3(&Normalize(transVec)));

rot*=0.5;

//角度が小さすぎる場合は処理を打ち切る

if(abs(rot.m128_f32(0))==0.000f){

    return;
}

float strict=(2.0f/(float)nodecount)*(float)(i+1);

if(rot.m128_f32(0) > strict){

    rot.m128_f32(0)=strict;
}

```

```

XMVECTOR q=XMQuaternionRotationAxis(XMLoadFloat3(&norm),rot.m128_f32(0));

//ボーンの変換行列を計算
XMFLOAT3 offset=_boneoffsets(i+n(i));
XMMATRIX RotAt=XMMatrixTranslation(-offset.x,-offset.y,-offset.z)*
XMMatrixRotationQuaternion(q)*
XMMatrixTranslation(offset.x,offset.y,offset.z);
_boneMatrixes(i+n(i))=_boneMatrixes(i+n(i))*RotAt;

offset=tmpLocation(i);

//理論上の変換行列を計算
RotAt=XMMatrixTranslation(-offset.x,-offset.y,-offset.z)*
XMMatrixRotationQuaternion(q)*
XMMatrixTranslation(offset.x,offset.y,offset.z);

//理論値を更新
ikpos*=RotAt;
for(int j=i-1;j>0;--j){
    tmpLocation(j)*=RotAt;
}
}

}

と。

```



当時はこれで上の画像のように、きちんと動いたものだから「これが正解じゃ!!」と思って当時の学生にドヤ顔で教えていたんですが、よくよく考えると、足を開いた状態でしゃがむと、中心軸もX軸に平行じゃないわけだから、おかしなことにならんしかな?

ちなみに当時のコードでやってみたらこうなりました。



まともそうに見えますが、やっぱり膝が不自然なんですよね。というか、特定の角度の時にやっぱりおかしなことになります。一瞬なのでスクショ取れてませんけど。

3年前より僕は知識と技術は上がっているはず…ならば、何かあの頃に思いつかなかつたことも思いつけるはず…そうか!! 軸のことばかり考えるからこうなるんだ!! 全く違うことを考えなければならない! そう思うのだ!!!

三年前の俺になくて、今の俺にあるもの…。

そう…それは、

LookAt 行列

LookAt 行列というのは、特定のベクトルを特定の方向に向かせるための行列です。ちなみに「LookAt 行列」って名前は僕が勝手に名前付けてるだけなので、インターネットで探しても出てきません。

いや、出てきた。gluLookAt ですね。これは OpenGL の関数で、でもこれはカメラに使うやつなので、今回の用途には合いませんし、XMMatrix 系にも LookAt は存在しません。

僕が LookAt, LookAt 言ってるのは、Unity の Transform の関数に LookAt ってあるからです。そいつは、オブジェクトの Z 方向を任意のベクトル方向に向かわせるって関数です。

この関数はたぶん今回の IK だけでなくいろんな所で使うことになると思います。例えば敵がこちらを発見して顔をこちらに向けるとか、そういう事をするために必要なので、作っておきましょう。

LookAt 行列の作成

今回も最初は 2D で考えてみよう。結果的には回転を表すが回転角は分からず、ベクトルによる方向指示のみとする。で、向かせたいベクトルを x' とする。



この x' は正規化されているとします。

で、角度を用いずに x' を表すならば x 方向の単位ベクトルと y 方向の単位ベクトル…つまりどちらも長さが1のベクトルを用いて表すならば

$$x' = m\vec{x}_i + n\vec{y}_i$$

と表せます。

m, n は任意の実数で、 x_i, y_i はそれぞれ x 方向、 y 方向の単位ベクトル(長さ1)です。だから別に x_i, y_i ってのはいらないっちゃいらないけどね。意味的にそう書いてるだけです。なんでわざわざこれを書いているのかというと、「ベクトル」ということにしていれば、目的地をベクトルの足し算で表すことができますね?

通常であれば座標 (a, b) というのは

また、 x' は正規化済みですから。

$$\sqrt{m^2 + n^2} = 1$$

とします。

ここまでよろしいでしょうか?

で、やりたいことは元の X ベクトルに行列 M をかけて X' になる。そういう行列を考えたいとします。

元の X は $(1, 0)$ なので

$$(1, 0) \times \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = (m, n)$$

こうしたいわけ。そうなると当然

$$(1, 0) \times \begin{pmatrix} m & n \\ ? & ? \end{pmatrix} = (m, n)$$

となるだろう。ただしこのままでは

$$(0, 1) \times \begin{pmatrix} m & n \\ ? & ? \end{pmatrix} = (?, ?)$$

となってしまい、 X 軸方向のことしか考えてない。 Y' は X' から90°ずれてる部分なので本当は

$$(0, 1) \times \begin{pmatrix} m & n \\ c & d \end{pmatrix} = (-n, m)$$

となってほしい。

そうなると

$$(0,1) \times \begin{pmatrix} m & n \\ -n & m \end{pmatrix} = (-n, m)$$

となる。これが新しいY軸のベクトルだ。

どこかで見た形だなーって思った人は感がレル。コブラのマシンはサイコガンのあれだ。回転行列と同じような形になっている。さらに

$$\sqrt{m^2 + n^2} = 1$$

であるから、ますますもって m, n は \sin, \cos と対応しているのである。

回転行列に対応しているということは、特定の点を回転させるためには、それぞれの新しい軸との内積になっていることがわかるだろうか？

つまり、意味合いからすると、それぞれの軸に対する内積が、それぞれの軸の成分だったわけで、それを 3D に拡張すると、どういう話になるのでしょうか？

結局は 3D の時もそれぞれの軸に対する内積をとり、それを全部合成したものが新しい座標となります。それができるような行列を作ればいい。

まとめいうと、

- X 軸との内積が X 座標
- Y 軸との内積が Y 座標
- Z 軸との内積が Z 座標

これは分かると思いますが、これがなんかしら変換された後の XYZ に対しても同様である。つまり、特定の方向を向かせたければ、それぞれの X, Y, Z に当たるベクトルをそれぞれ計算し、それに対して「内積」をとってしまえばいいわけです。

じゃあ「どこか向く」と言った場合、3 軸必要かつていうと、そうじゃなくて、カメラ行列の時もそうでしたが、二つあれば外積で直交ベクトル出せるので十分です。

つまり

向かせたい方向ベクトル: Z 軸

うーん。ここでアッパーべクトルとか言って安易に(0,1,0)ってやっても良いんですが、センターから末端 IK が「真下」を向いてると結構大変なことになります。

くっそー!! 結局ここで軸を決めないといけないのか…。

うーん。重力方向は避けたいので X 軸を決めよう。右ベクトルとして(1,0,0)を使おう。

ここで二次元の時を思い出してほしいんですが

$$\begin{pmatrix} m & n \\ -n & m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{回転後のX軸} \\ \text{回転後のY軸} \end{pmatrix}$$

になっていますから、これを 3D に拡張すると

$$\begin{pmatrix} \text{回転後のX軸} \\ \text{回転後のY軸} \\ \text{回転後のZ軸} \end{pmatrix}$$

になります。これは言い換えると

$$\begin{pmatrix} x'_x & x'_y & x'_z \\ y'_x & y'_y & y'_z \\ z'_x & z'_y & z'_z \end{pmatrix}$$

となります。

です。この確認は(0,0,1)が(z'_x, z'_y, z'_z)となればオッケーなんですが、計算してみてください。なりますよね？

そうすると

$$\begin{aligned} (1,0,0) &\rightarrow (x'_x, x'_y, x'_z) \\ (0,1,0) &\rightarrow (y'_x, y'_y, y'_z) \\ (0,0,1) &\rightarrow (z'_x, z'_y, z'_z) \end{aligned}$$

という変換になるのが分かると思います。こういう行列を返す関数を作ればいいです。

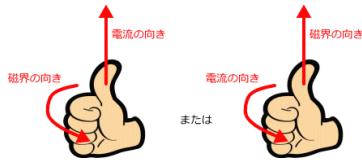
ここで外積に関して注意点ですが、外積は掛け算の順序によって符号が入れ替わります。例えば

$$(x_a, y_a, z_a) \times (x_b, y_b, z_b) = - (x_b, y_b, z_b) \times (x_a, y_a, z_a)$$

というわけです。ベクトルで向きが入れ替わるってことは、真反対に向くわけです。ここまで大丈夫でしょうか？

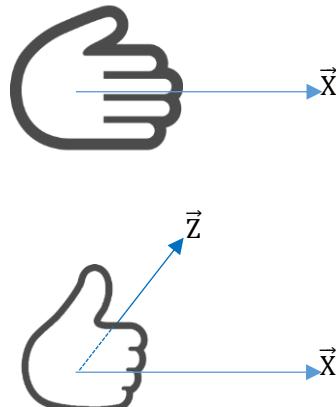
ベクトルの向きをあまり考えなしに、適当な順序で外積とっちゃうと大変なことになります。

というわけで順序を考えなければならんのですが、どういう法則で外積後のベクトルの向きが決まるのかというと「右ねじの法則」によって決まっています。高校の電磁気学で出てきたあれですね。



忘れたとか知らないって人までサポートしてたら、ページ数が膨大になるので、詳しくは
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B3%E6%89%8B%E3%81%AE%E6%B3%95%E5%89%87>
 を見てくれ。

具体的には、右手系の場合、二つのベクトルから直行するベクトルを出すときには、まず手のひらをシュッとさせて外積の左辺値の向きに右手の指先が向くようにする(図は $\vec{x} \times \vec{z}$ のとき)



次に右辺値ベクトル(\vec{z})の向きに指先だけカクっと向ける。その状態でグッジョブする。
 この時の親指の方向が \vec{y} になるというわけだ。
 これが高校の理科の時間に習う「右ねじの法則」である。であるが、これは右手座標系の話である。確かに言われてみればそうなのだ。
 つまり系が変われば、それに合わせるには外積の順序も変えなければならない…これは悩ましいことだが、最初に系を確定させて、それに全てを合わせるということが…わかるだろう?つまり DirectX の座標系を扱うときは「左ねじの法則」だ。ややこしいね。
 ということを考えて書いてみた関数が以下の通りだ。

```
// 特定の方向を向かす行列を返す関数
XMMATRIX LookAtMatrix(XMFLOAT3& lookat, XMFLOAT3& right){
    XMVECTOR vz = XMVector3Normalize(XMVector3Normalize(XMVector3Cross(right, lookat)));
    XMVECTOR vx = XMVector3Normalize(XMVector3Cross(vz, right));
    XMVECTOR vy = XMVector3Normalize(XMVector3Cross(vz, vx));
    vx = XMVector3Normalize(XMVector3Cross(vy, vx));
    vy = XMVector3Normalize(XMVector3Cross(vz, vx));
    vx = XMVector3Normalize(XMVector3Cross(vy, vz));
```

```

XMMATRIX ret = XMMatrixIdentity();

XMFLOAT3 fvx, fvy, fvz;
XMStoreFloat3(&fvx, vx);
XMStoreFloat3(&fvy, vy);
XMStoreFloat3(&fvz, vz);

ret._11 = fvx.x; ret._12 = fvx.y; ret._13 = fvx.z;
ret._21 = fvy.x; ret._22 = fvy.y; ret._23 = fvy.z;
ret._31 = fvz.x; ret._32 = fvz.y; ret._33 = fvz.z;

return ret;
}

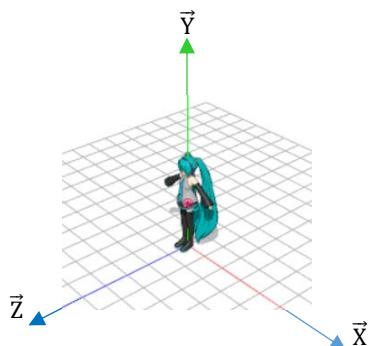
```

確認のために、キャラクターの Z 軸を特定の方向に向けるのをやってみてください。
と書いたところで、いろいろと問題が発生した。

僕のプログラムで起きた既知(キチ)の問題は以下の通りだ

- 真正面のはずなのにお尻を向ける
- モデルが縮む
- モデルが消える

お尻を向ける…というか Z 軸が反転してしまう原因是、座標系にある。MMD を起動し、エディタを見てもらえばわかるが、



右手系だよこれ!!どうして DirectX なのに左手系にしなかった!!またぶん他の CG ソフトに合わせたんでしょう。

ともかく、つまるところ Z 方向が最初からお尻向けてるんですね。これは仕方ない。

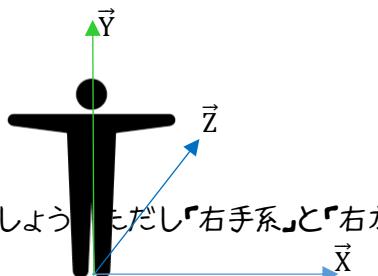
対応策がいくつか考えられますが、

- 表示の際に Y 軸 180°回転させとくのと LookAt はお尻向きで設定する
- 読み込みの際に左手系にしてしまう(Z 値反転させてインデックス逆にするかカーリング逆にする)

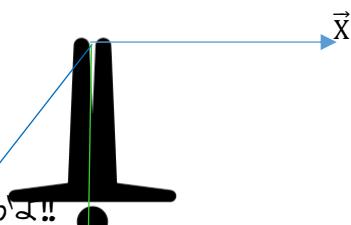
こんな感じでしょう。どちらにするのかは皆さんにお任せします。正解はないんです。

次に「モデルが縮む」ですが、これは単純に出来上がったそれぞれのベクトルをノーマライズし忘れていただけでした。

最後の「モデルが消える」ですが、これは Z を反対に向けた時に地面の反対側に行ってました。どういう事がというと、



この Z をこっちに向けてみましょう。ただし「右手系」と「右方向」は変えずに…。
そうすると、



さて、ここにきて思い当たるのが「アッパー(Up)ベクトル」です。カメラやモデルにおいて向きを決めるときには、たいていの場合はアッパー(上方向)ベクトルです。つまりここを固定しておかないとい、逆さになるから、right でも left でもなく上ベクトルを基準にしたのですね。

つまり、 X 軸固定にしたときは、 Z 反転の際に X 軸周りに 180° 回転したのに対して、アッパーべクトルを使用する場合は Z 反転の時に Y 軸周りに 180° 回転しているというわけです。

通常、人間が後ろを向くときは Y 軸中心に回転するからで、 Y 軸を基準にするのが通常は正しいというか、都合がいいことになります。

ということで、先ほどの関数を改変するならば

- 引数には Upper と Right の両方のベクトルを渡しておく
- 通常は Upper を基準として LookAt 行列を作成
- 真上を向くときなど Upper が向かせたい向きと同じになってしまっていれば、その時は Right のほうを使用する

といった感じだろうか。

まだハグ混入しそうだが、今のところつじつま合わせるためににはこれが簡単だろう。

さて、ここでまた CCD-IK の話に戻る。

納得いかないんですが…

まあCCD-IKの正式な記事は ComputerGraphicsGemsJP2012 の記事の作者である

<http://mukai-lab.org/library/ik-legacy.html>

氏のやり方を参考にさせてもらったのですが…このやり方でうまくいくんです。うまくいくんですけど…今冷静に考えると納得行かないんですよね。

うん、まあもう時間ないんで『論文に書いてるんだからその通りで正しいんだ』でもいいんですけど、そんなもんエンジニアの姿でも教育者の姿でもないんですね。



夢はひろがりんぐ

んで、そこまでしてなんでIKをやりたいのかというと、FKでもエエんちゃうのか?というと

<https://ja.osdn.net/projects/mmdmotion-java/wiki/MMDIKSolver>

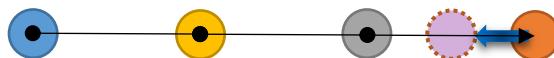


こんな風に特定の点を追いかけて体全体を動かすとかバランスをとるとかやりたいわけです。これができれば階段とかで



手付けアニメーションだと階段の高さによってアニメーションを変えなければならないのですが、足の位置との当たり判定で全身のポーズを決めることが可能になるわけです。

何で納得しつてないのか&実験



例えば図のように平行に視点に近づけるように端点を動かそうとするとします。当然ながら『長さを変えてはいけない原則』があるため、関節を曲げなければいけません。

ところで CCD-IK ってどういう法則で曲げていきましたつけ? そう、ボーンを現在のエフェクタ

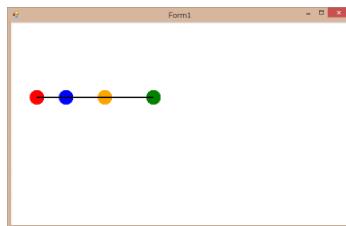
(コントロールポイント…つまるところ動かしたい先の座標)に向くように(最も近づくように)曲げてあげるんですが…上の図を良く見てください。

エフェクタの位置は何処にありますか?

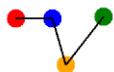
そう。最初に配置されていたボーン直線の真上です。そしてそこから全てのボーンが一直線上に並んでいます。

既にボーンの向きはベクトル的には目的地を向いています。これでは曲げようがないですね?

試しにこういうアプリケーションを作って実験してみました。



で、端点を左に押し込むと…



あれ? 曲がってしまいましたね? 予想外です…が、あることに気が付きました…人間だもの。押し込む際にまっすぐやつてたつもりがちょっと上下に行くわけよね。

そう考えて、Shift キーを押しながら移動させると Y 座標が変わらないようにします。そうすると…



詰まりました。なるほどそういう単純なことだったのか…OTL。

ちなみにほんのちょっとでも曲げた状態で Shift 移動させると、正しく IK を行います。つまりピーンとまっすぐにしている時は CCD-IK であったとしても詰まっちゃうってことです。良かった。安心した。まあ、ニンゲンでも関節伸ばした状態で関節方向に骨を押し込むと関節外したり関節破壊したりできますもんね…。

まっすぐに対する解決案

というわけでまずは今回の実験結果を大前提に考えましょう。そう考えると膝を曲げる動きの場合には2つの可能性が考えられます。

- 予め曲げられている
- まっすぐ押し込むとされた場合には適当な方向にちょっとだけ曲げてやる

3年前のスクワットがうまく行っているのは前者の状況だったからだと推測できます。後者の対

処をしてるならプログラムに何らかの痕跡があるはずですが、ありませんでしたし…。

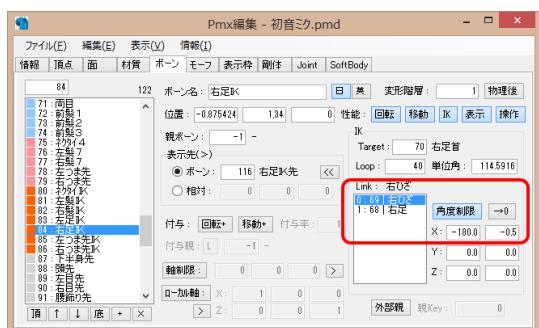
では、何はともあれ、IK を実装していきたいところですが、まだ解決というか決めていかなければならぬことがあります。曲げる軸について考える

二次元ならば軸は完全に「 Z 軸」なので良いんですが、3D の場合、軸をどう取るのかっていうのがかなり悩ましいという話は前にしました。それを解消するために LookAt を作ったはずなんですが、結局「制限角度」を正しく設定するためには必要なんだよね。

なんとかというと、軸ベクトルが反対側向いてると角度の符号が変わっちゃうんだよね…。

角度制限がないなら基本的には LookAt のみでやっちゃってオッケー(結局固定すべき軸は決めておく必要はあるんだけど)。そうではあるんだけど人間の骨は大抵制限がついてるからね。仕方ないね。

さて、では手始めに「ひざ」について考えよう。一応 PMXEditor でミクさんを開いてみると



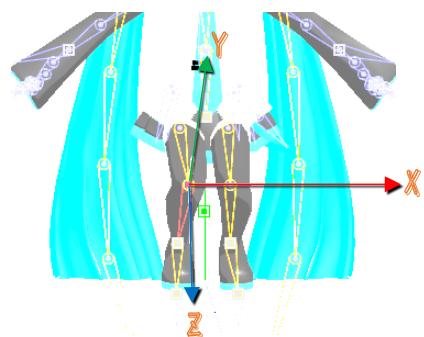
こんな感じです。こんな感じ言われてもよーわからへんといった具合なんでしょうね。右側のパラメータを見てもらうと分かるように、角度制限がついてますが $-0.5^\circ \sim -180.0^\circ$ ということで、予めちょっとだけ曲げられているのが分かると思います。

まあ、モデル自体はそういう風に作られていることもあり、3年前はうまく行ったんでしょう。ただ、前にもお話ししたように「ひざ」だからといって、回転軸を強制的に X 軸にするようでは



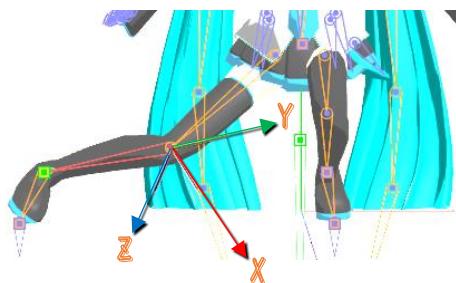
こんなふうになった時にうまく行きません。

原因を言うと、普通にしゃがんだ時にはこうなんです。



Xが右方向を向いています(画像は右手系なので注意してね)。この時はワールドX軸中心に回しても問題ないんですが

まあ、当たり前の話なんんですけど、↑の図の座標系のX軸中心って意味なのよね。



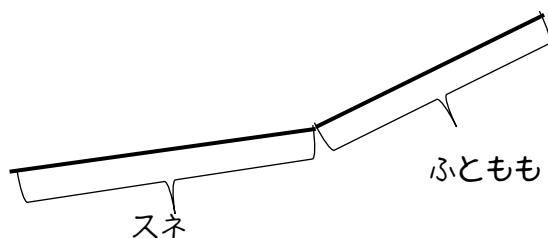
ということは、何かと何かの外積をとって、このX軸を計算しなければならないわけだ。



この図を見ると、右足IKは右ひざと右足に対してリンクを持っているのがわかりますね? 2つのリンクを持っているわけです。この数は可変ではあるんですが、大抵の場合は1~2です。

で、何度か試してみてわかるのは、太ももとヒザ(スネ)の座標系(軸)は一致させておかないと、おかしなことになるということです。

例えばこの「位置関係」が正しかったとしても、それぞれの座標系「軸」がズれていれば膝関節でねじれが発生するわけです。



経験上わかると思いますが「ありえない」ですよね? ヒザとスネの向きが違うということは、それはもう関節外れてますから。

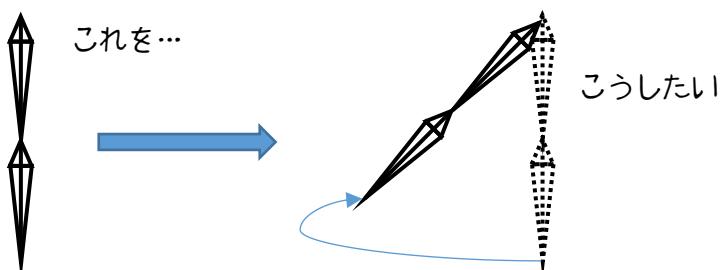
ただ、別の生き物や機械とかの場合はその限りじゃないです。ですが、多分、向きは同じにしておかないと IK を使う時には「解」がたくさん出てきてやりづらいと思いますので、統一しておいたほうが良いでしょう。

で、膝を使用する場合、X 軸を中心に曲げるという事だが、これは股関節を開いているときに、不具合を起こす。

そうだよね。さっきも書いたけど、股関節の開きに合わせて膝の X 軸方向を回転させなきゃならない。

どれくらい回転させたらいいんだろう。で、やっぱりここで「度」とか使いたくない。ベクトルだけでなんとかならないものだろうか。

ということで考えました。



2D なら簡単に求められるところだが、3D の場合だと、内積出して角度計算して外積で軸出して、その軸周りの回転行列を求める…となる。

もう少し簡単にいいかないものか?

「いや、特定のベクトル A を特定のベクトル B に向かせたいんでしょ? じゃあ LookAt で作った行列でいいんじゃない?」

そうだわな。ただ、あれは 2 ベクトルが特定のベクトルに向くように作っているので、

$$R_{ZB} : \vec{Z} \Rightarrow \vec{B}$$

であって、

$$R_{AB} : \vec{A} \Rightarrow \vec{B}$$

ではない。

そういうことだ。俺は $A \Rightarrow B$ が欲しいんだよ!!! さて、行列のことを考えまくって、なんとか R_{AB} を出せないか考えた。

みんなもしばらくは自分で考えてみてくれ。

うーん、武器が足りない。ほかに LookAt で分かるものは…ああ!! そうだ!!

$$R_{ZA}: \vec{Z} \Rightarrow \vec{A}$$

というわけだ。さらにこれを逆に考えると

$$R_{ZA}^{-1} = R_{AZ}^{-1}$$

つまり、LookAt($\vec{Z} \Rightarrow \vec{A}$)

ちなみに今回のベクトルは、長さを変えない、移動しないベクトル → 回転のみということだ。

$$\vec{A} \Rightarrow \vec{B}$$

はちょっと変形すると

$$\vec{A} \Rightarrow \vec{Z} \Rightarrow \vec{B}$$

となることは、わかるよね? A から B まで回転するには、 $Z \Rightarrow B$ と $A \Rightarrow Z$ を組み合わせれば

$$A \Rightarrow B = A \Rightarrow Z \times Z \Rightarrow B$$

だから

$$A \Rightarrow B = (Z \Rightarrow A)^{-1} \times Z \Rightarrow B$$

というわけ。つまり

XMMATRIXTranspose(LookAt(A, up, right)) * LookAt(B, up, right);

とでもしてやればいい。

LookAt 行列関数の改造

これをを利用して、任意ベクトル A を任意ベクトル B へ向かわせる LookAt 関数のオーバーロード関数を作成しよう。元の LookAt は 27.4.1 を見返してくれ。

大雑把に描くとこんな感じ。

```
XMMATRIX LookAt(XMFLOAT3& origin, XMFLOAT3& lookat, XMFLOAT3& up, XMFLOAT3& right){
    XMMATRIX tmp=LookAt(origin,up,right);
    tmp=XMMATRIXTranspose(tmp)*LookAt(lookat,up,right);
    return tmp;
}
```

これを使用すれば、元の IK ベクトルを IK ターゲット移動後 IK ベクトルにする行列ができるります。

いよいよ実装である

長かった…ホンマに長かった。そして苦しめられた…。某クラスのインフルエンザアウトブレイクによりカミサマから猶予期間を与えてもらったにも関わらず、最終的にはまだ不具合が

残っている状況にある…申し訳ない。CCD-IK の論文を理解して 2D の IK を実装するのと、MMD の IK を実装することの間にはまだまだ深い深い谷があったのだ。



ただただ申し訳ないが、それを言っても前に進まないので、実装しよう。最初に言っておくけど、まだ不具合が残っていることは認識しておいてほしい。やっぱりヒザ周りが難しいのだ。

もし、完璧にしたい人がいるなら、オープンソースの MMD エディタや MMD 再生機や Java や Javascript でやっている強者もいるので、そちらを見ながら研究してほしい。

http://dxlib.o.oo7.jp/DxLib/DxLibMake3_17a.zip

<https://ja.osdn.net/projects/mmdmotion-java/wiki/MMDIKSolver>

<http://www.nicovideo.jp/mylist/49125767>

<https://jthird.net/>

<https://github.com/edvakf/MMD.js>

<https://code.google.com/archive/p/nymmd/>

※ちなみに現在 jThree は開発停止 & サイト閉鎖されています。

投げっぱなしに思われても仕方ないのだが、うーん。まあキチンとやろうとすると、集中した潤沢な時間が必要だってことです。

それはともかく、実装してみましょうってのがこの章の趣旨である。

だが、ここに入る前にも最初に言ったように「IK は十分条件であって必要条件ではない」のでそこまでしなくてもいい。余裕があったらでいい。特に次年度就職年次はそんな時間があるなら就活用の作品を作っていくほうがいい。

さて、言い訳は済ませたので実装しよう。

PMD から IK 情報を取得する

久々に PMD のデータを取得するぞ。IK の情報だ。

http://blog.goo.ne.jp/torisu_tetosuki/e/445cbbbe75c4b2b22c22b473a27aaaae9

さて、見てもらえばわかるが、相当アレだ。データの場所はボーン情報を読み切った後のところなので、ボーンを全読み込みして今のみんなは素直に読み込んでもらわればいい。

まず、最初の2バイトが IK データの数だ。2バイト読み込んで数を確認しよう。デフォルトの初音ミクなら、7個になっているはずだ。

6B51F bone[121].bone_head_pos[0]	3FA499A6 418A43E9 BFA54
6B52B ik_data_count	0007
6B52D ik_data.ik_bone_index	0050
6B52F ik_data.ik_target_bone_index	004B
6B531 ik_data.ik_chain_length	03
6B532 ik_data.iterations	000F
6B534 ik_data.control_weight	3CF5C28F
6B538 ik_child_bone_index[0]	0008 0007 0006
6B53E ik_data.ik_bone_index	0051
6B540 ik_data.ik_target_bone_index	004C
6B542 ik_data.ik_chain_length	05
6B543 ik_data.iterations	0008

確認してくれ。

で、結構クセモノなデータである。IK データひとつあたり

2+2+1+2+4+可変長*2

という状況だ。もうアライメントを意識していないのは分かった。そこは諦めてる。

だが、最後の IK 影響ボーン番号が「可変長」だから、必要なデータを「ガ-っと」取得することは不可能なのだ。

IK データを一つ一つ丁寧に取得しなければならない。面倒だが、データの総量はそれほど多くもないはずなので、コストはそこまでかからないんじゃないかな…とは思います。ちなみにこの IK の後にスキンデータ(表情データ)が控えているわけだが、IK を実装しなくても、表情を出したい場合は IK を丁寧に読み込まなくてはスキンデータの先頭すらわからないのだ!!!

もはや文句言う気にもならない(いや、IK 再生を完成させられない僕にそんな資格など最初からないのだ)

構造体こんな感じかな

```
//@brief IKリスト
///IKボーンとターゲットボーンの二つがあるのは、
///それでベクトルを作るためあります。
struct IKList{
    unsigned short boneIdx; ///IKボーンインデックス
    unsigned short tboneIdx; ///ターゲットボーンインデックス
    unsigned char chainLen; ///さかのぼりボーン数
    unsigned short iterationNum; ///巡回回数
    float restriction; ///制限角度
    std::vector<unsigned short> boneIndices; ///さかのぼりボーン番号
};
```

で、アライメントの関係があるのでメンバを一つ一つ読み込むか、#pragma pack(1)を使ってください。

僕は最後のメンバが可変長である以上どのみちガーッととってこれないので、一つ一つ丁寧に読み込みます。読み込んでください。

そんなに数はないので、おかしなデータになってないかどうかご確認ください。

もちろんこの IKList は配列状態になっていますのでいつも通り

```
std::vector<IKList> _iklist;
```

として読み込んでいきます。

この時にちょっとだけ注意点ですが、VMD データとしては IK であるとかの情報があるのではなく、ボーンの状態だけが格納されています。

このため、後から IK と辻褄を合わせられるように、IKList はベクタではなく、マップで持ったほうが良いかもしれません。やり方は色々あるので、各自ご研究あらんことを。

CCD_IK 関数について

作りましょう。そうしましょう。ややこしいんですけどね。ちなみに通常の回転と IK とどちらを優先すべきかというと、IK の方です。

MMD のエディタ見れば分かりますが、IK 動かさない限り IK 回りの回転は反映されません。IK を切ると反映されますがね？

まあ…ぶっちゃけた話をすると…股関節→膝→足首であれば、三点なので、この場合に関しては CCD-IK を使わざとも軸さえ決まれば余弦定理で行けるとは思うんですけどね…うーん制御点が 3 点以下とそれ以上で場合分けしてもいいかなー。

2つのベクトル間の角度を知るための関数が用意されています。

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweennormals\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweennormals(v=vs.85).aspx)

XmVector3AngleBetweenNormals はベクトル間の角度を返すものだ。

ちょっと疑問なのが「ベクトルを返します。各要素に、N1 と N2 の間のラジアン角度が複製されます。」

の下線の部分…。確かにラジアン値がすべての要素に同じ値が入っている…これ、意味あんのか？float 一個返したほうが速くね？

って思うんだけど、定義まで見ると、どうも SIMD 拡張命令を使用しているらしい。申し訳ないがあまり検証する気にはなれない。ともかく 0 番要素を取ってくればいいだろう。

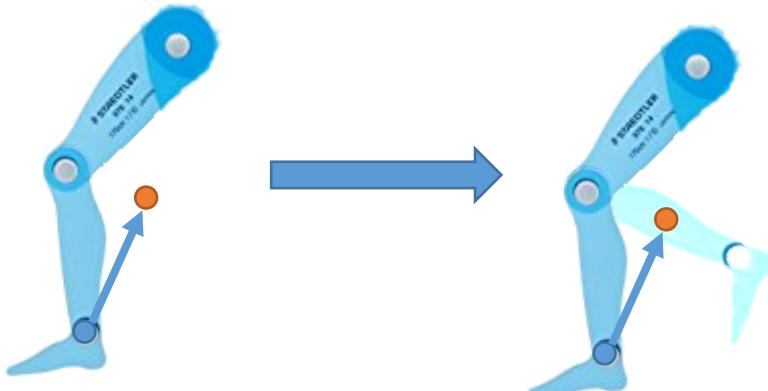
ベクトル値を受け取るが、ベクトル値ではないことに注意してくれ。

んで、最初は 2D のつもりで作っていきましょう。今は膝のことだけ考えて



こんなイメージで作っていきます。つまり回転は全て X 軸を中心とします。2D の解説は既にやっていますので、それを元に解説していきます。

まず、膝を曲げることを想定します。



例えば足首の IK を図のように移動した場合、膝を中心にしてスネを回すわけですが、間の角度を計算して、その差分だけ回転させてあげれば良いわけです。

まずそこを考えましょう。先程の XMVector3AngleBetweenNormals には 2 つのベクトルがあればいいので、

図の2つのベクトルがわかれればいいですね?



そういうことで

- ひざから現在のIK座標ベクトル
- ひざから目的のIK座標ベクトル

を作ります。

CCD-IK の実装

```
XMFLOAT3 originVec = ikOriginPos - bone.headpos; // IKとさかのぼりノードでベクトル作成
XMFLOAT3 targetVec = ikTargetPos - bone.headpos; // 目標とさかのぼりノードでベクトル作成
```

こんな感じで。

ちなみに PMD の IKList が持っている ik インデックスは末端から根っこに向かってインデックスが配置されてるので、別に逆からとかにしなくていい。

つまり

```
for (int i = 0; i < iklist.ikchainLen; ++i)
```

でいいわけです。さらに前述の2つのベクトルから軸をつくりましょう。外積を取るわけですが、事前に正規化しておきましょう(正規化する必要はないですが、一応)

// 正規化します

```
originVec = Normalize(originVec);
targetVec = Normalize(targetVec);
```

// 外積から軸を作成します

```
XMFLOAT3 axis = Normalize(Cross(originVec, targetVec));
```

はい、これで軸が出来上がるわけですが、

// もしひざ系なら、X軸を回転軸とする

```
if (bone.name.find("ひざ") != std::string::npos){
    axis.x = -1;
    axis.y = 0;
    axis.z = 0;
```

```

}else{
    if (Length(axis) == 0.0f){
        return; //外積結果が0になってるなら使えません
    }
}

```

とりあえず「ひざ」だけは強制的に X 軸なので、上のコードのようにボーン名を確認して「ひざ」という文字列が含まれていれば、強制的に X 軸の回転とします。

文字列に特定の文字列が含まれているかどうかを確認するためには C 言語では strstr という関数を使いましたが、C++では find で検索できます。

find の戻り値は「見つかった場所」を数値で返してきます。

なお、見つからなかった場合は std::string::npos を返しますので、これ以外なら「ひざ」という文字列があったという証拠になります。

ただし上のコードでは axis.x=-1 としていますが、これは PMD が右手系で、デフォルトでお尻向けていているため、左手系に合わせるために -1 にしています。

さて、ここまでではいいでしょうか？

ここまでできたら、「軸」が決定していますので、あとは間の角度です。間の角度は

XMVector3AngleBetweenNormals

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweennormals\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweennormals(v=vs.85).aspx)
か

XMVector3AngleBetweenVectors

[https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweenvectors\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.geometric.xmvector3anglebetweenvectors(v=vs.85).aspx)

もしくは自作の角度計算関数を使いましょう。

二つのベクトルの内積 = cosθ なので、acos(内積)で間の角度は求められます。

でも面倒なので出来合いの関数を使ったほうが楽だし、多分高速だし、今回は XMVectorBetweenNormals を使用しましょう。

以前にも書きましたが、この関数は無駄に XMVECTOR 型で返してきますので、こう書いてもいいですね。

//ふたつのベクトルの間の角度を計算(制限角度演算のため)

```
float angle = XMVector3AngleBetweenNormals(XMLoadFloat3(&originVec), XMLoadFloat3(&targetVec)).m128_f32(0);
```

で、角度が出ましたので『そのための回転行列』を作ります。



そのための回転行列を作るためには、軸と回転角度が必要ですが、それはすでに分かってします。これのために使用できる関数は2種類です。

XMMatrixRotationAxis

[https://msdn.microsoft.com/ja-](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationaxis(v=vs.85).aspx)

[jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationaxis\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationaxis(v=vs.85).aspx)

かもしくは

XMMatrixRotationQuaternion

[https://msdn.microsoft.com/ja-](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationquaternion(v=vs.85).aspx)

[jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationquaternion\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/microsoft.directx_sdk.matrix.xmmatrixrotationquaternion(v=vs.85).aspx)

です。クオータニオンはよくわかつてないし、ひとまずはまだわかる XMMatrixRotationAxis を使います。

これは特定の軸中心に回転する行列を作ります。

式式にすると

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_x^2(1-\cos\theta)+\cos\theta & n_xn_y(1-\cos\theta)-n_z\sin\theta & n_zn_x(1-\cos\theta)+n_y\sin\theta & 0 \\ n_xn_y(1-\cos\theta)+n_z\sin\theta & n_y^2(1-\cos\theta)+\cos\theta & n_yn_z(1-\cos\theta)-n_x\sin\theta & 0 \\ n_zn_x(1-\cos\theta)-n_y\sin\theta & n_yn_z(1-\cos\theta)+n_x\sin\theta & n_z^2(1-\cos\theta)+\cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

こういう感じで既にわけわからないですが、ともかくこれで (n_x, n_y, n_z) ベクトル中心に回る回転行列が作れるわけです。

ついでに言うと、クオータニオンのほうは

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 0 \\ 2(q_1q_2 + q_0q_3) & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & 0 \\ 2(q_1q_3 - q_0q_2) & 2(q_2q_3 + q_0q_1) & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

こういう式です。 θ がクォータニオンなので、わけわからんないつすね!!
ともかく回転させます。

```
XMMATRIX rotMat = XMMatrixRotationAxis(XMLoadFloat3(&axis), angle);
```

で、ここで得られた `rotMat` という行列が「回転そのもの」を表していますが、これをボーン行列に乗算すればいい…そう考えていませんか？ そう考えていた時期が僕にもありました。当然のことですが、回転はそのままだと「原点中心回転」になります。というわけで例によって「回転中心を原点に移動する行列 × 原点中心回転行列 × 元の座標に戻す行列」を作る必要がありますね？ そういうことです。作ります。

どこを中心にしていいのかというと、ボーンの起点ですよね？ 今回はボーンの `headpos` がそれに当たりますから

// オフセットを考慮した行列を作る(原点に移動→回転→元の座標)

```
XMMATRIX mat = XMMatrixTranslation(-bone.headpos.x, -bone.headpos.y, -bone.headpos.z) *
    rotMat *
    XMMatrixTranslation(bone.headpos.x, bone.headpos.y, bone.headpos.z);
```

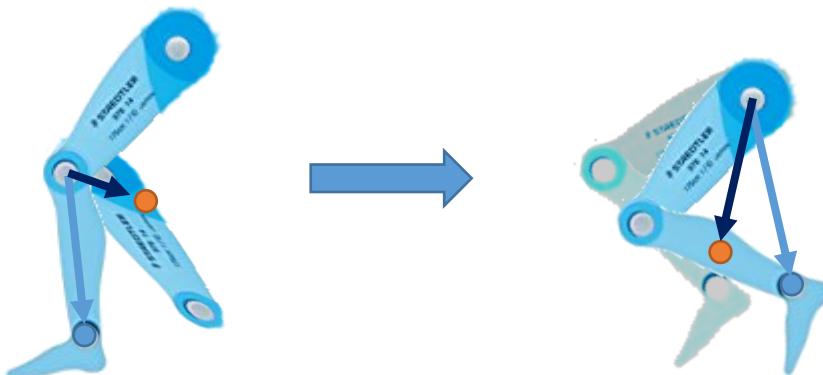
こういうことですね。横着して `rotMat`=ってやるとあとで痛い目を見ますので、もったいなし
ようですが、新規でマトリクスを作つとしてください。
あとはそれをもとのボーン行列にかけてあげればよい

// 変換行列を計算(オフセットを考慮)

```
mesh.BoneMatrixes()(ikboneIdx) = mesh.BoneMatrixes()(ikboneIdx) * mat;
```

まあ、サイクリック(繰り返し)をしないなら、ここまで話で終わりなのですが、CCD-IK なので、
当然繰り返しをします。

つまりサイクリック中のコントロールポイント(ボーン起点)を CCD-IK の間保持しておく必要



があります。

だったら `bone.headpos` を動かせばいいと思うかもしれません、最終的には IK→FK にして
ポーズを決めるため、`bone` の場所は動かしたくないです。

なので一時変数を使用します。

```
//まずはIKの間にあるボーンの座標の一時変数配列を作って、値をコピーする
//理由はIK再帰する毎にボーン座標が変更されるからです(元の座標は必要なので一次変数に格納)
std::vector<XMFLOAT3> tmpBonePositions(iklist.ikchainLen);
for (int i = 0; i < iklist.ikchainLen; ++i){
    tmpBonePositions[i]=mesh.Bones()( iklist.ikboneIndices(i)).headpos;
}
```

さて、そうなるといちいちベクトルも更新しなければならないため

```
XMFLOAT3 originVec = ikOriginPos - bone.headpos;//IKとさかのぼりノードでベクトル作成
```

```
XMFLOAT3 targetVec = ikTargetPos - bone.headpos;//目標とさかのぼりノードでベクトル作成
```

の箇所は

```
XMFLOAT3 originVec = ikOriginPos - tmpBonePositions(i);//もとの先っちょIKとさかのぼりノードでベクトル作成
```

```
XMFLOAT3 targetVec = ikTargetPos - tmpBonePositions(i);//目標地点とさかのぼりノードでベクトルを作成
```

となるでしょう。

あとはこれを繰り返せば良いわけです。

呼び出し側

また、忘れてならないのが呼び出し側ですが、

```
std::string name = "右足IK";
```

```
CcdIkSolve(*_mesh, name, XMFLOAT3(-0.0, _iky, 0));
```

```
RecursiveApplyBones(_mesh->BoneNodes(), 0, _mesh->Bones(), _mesh->BoneMatrices());
```

CCDIK やったあとに Recursive 処理は忘れないようにしてください。

角度制限

角度制限をつけなければ、足の関節があらぬ方向へぶつ飛びます。

というわけで、角度制限をつけたいのですが、仕様が良くわからぬので PMDEditor の readme.txt を見てみます。すると…

●[IK]

IK リスト : IK ボーンとして機能するボーンの一覧。

→

IK(数値) : 対応する IK ボーン Index

Target(数値) : IK ボーンの位置にこのボーンを一致させるように IK 処理が行われる

IK ループ回数(整数) : IK 処理での計算回数(最大 255)

単位制限角(実数) : 一回の IK 計算での制限角度(数値は rad 値の模様? | $1.0 = 4[\text{rad}]$ (230 度程度) $180 \text{ 度} : 0.7854 = 3.141592 / 4$)

影響下ボーンリスト : IK の影響下にあるボーン一覧 | IK 接続先に近い方からリスト順にする必要がある

と、書かれてました。なんだこの…うーんこの…。数値が rad 値とは書いてるが、どうやらそうではないらしい。

つまり制限角度に書かれている数値を 4 倍したものがラジアン(弧度法)になるようだ…。ややこしい。

ちなみに足 IK の制限角度は 0.5 となっていたので、ラジアンは 2 くらい…だいたい 144° くらい。PMDEditor で見てもそうなのだからそうなのだろう。

そして疑問に思うのが、なぜ 4 分の 1 にまでしたんだろうってこと。別に容量的にも同じだし実際に使用する際も角度ラジアンをそのまま渡したほうがいいはずだ。

いいはずだが…何でなんですかね? まあいいや、ともかく進みましょう。

```
float strict = iklist.limitAngle * 4; // 制限角度は持ってきた角度の4倍
// それ以上に曲げられないようにとしく
angle = min(angle, strict);
angle = max(angle, -strict);
```

それでもなんか荒ぶるなあ… PMDEditor の `readme.txt` をもっと読んでみる。

○deg ボタン

単位制限角を角度で入力／**有効範囲は 0-180 度程度**(あくまで解析情報からの推測値となります)

などと書いてある。

…これも適用してみたが、結局荒ぶるため、各実装系を参考にしてみた所いくつか共通点がありました。

制限角度は一つ一つの制限ではなく、合計の回転角度制限(サイクリック 1 回あたり)ということのようです。

例えば

// で? なんか `cos` から角度を出して 2 で割って…

```
Rot = 0.5f * _ACOS(Cos);
// コントロールウェイト(演算一回の制限角度)*(j+1)*2よりも Rot が大きいのなら
// その制限角度にしてしまう。
if(Rot > IKInfo->ControlWeight * (j + 1) * 2)
```

```

Rot = IKInfo->ControlWeight * (j + 1) * 2;

というコードや

maxangle = (i + 1) * ik.control_weight * 4;
theta = Math.asin(sinTheta);
if (vec3.dot(targetVec, ikboneVec) < 0) {
    theta = 3.141592653589793 - theta;
}
if (theta > maxangle) {
    theta = maxangle;
}
q = quat4.set(vec3.scale(axis, Math.sin(theta / 2) / axisLen), tmpQ);
q[3] = Math.cos(theta / 2);

というコードを見つけました。そもそも本家が実装系の説明全くしてないもんなあ…。手探りなんだよなあ。それでも共通点は
● 「2で割っていること」
● 「制限角度を出てきた角度の4倍していること」
となっています。

```

そして以下の HP の説明を読んでみる…相当難しいけど
<http://d.hatena.ne.jp/edvakf/20111102/1320268602>

「極北 Pさんの PMDEditor の Readme (一番下に引用した)の説明によると、
指定された値×4 radian までしか曲がれないらしい。なので、上で θ を求めたときに、この単位制限角との max を取る必要がある。

もう一つのポイントは、「ひざ」という名の付くボーンは X 軸方向にしか動かない
いうもの。(PMX だと好きなボーンに角度制限が付けられるらしいが)

これをやるにはちょっと面倒なことをしないといけない。なぜなら、先ほど求め

た \tilde{R}_0^{\prime} などは、いわば「修正『合成』回転」になるため、そこから「修正『個別』回

転 R_0^{\prime} を求め、これに角度制限をかけ、さらにそれを合成回転に直さないといけ
ない。(回転軸制限は個別回転に適用されるもので、合成回転にではない)」

原文ママ

何言ってるか良くわからない。

でも、個別角度は求まっているから、ここに書かれているようなややこしいことはしなくていい

いいんじゃないかな。

個別が求まっているから(i+1)をかけるのはちょっと置いておいて注目してみたのは「2で割っている」という部分。

半分にしてみよう…。

`angle *= 0.5;`

さて…どうなるかな。



…なん……だと?

うーーーーーーーーーーーん!!!! この!!! 何なんですかねー!! なんでうまくいくんですかねー!? まあ喜ぶのはまだ早い。

足首が本当に IK の解の座標になっているのかを確認しましょう。普通に考えると、サイクリックしなければ本来の座標の半分くらいの位置にしか来ないはずです。

確認コード

現在の IK の座標を画面上で確認できるようにしてみましょう。



画像のようなマーカーを表示させましょう。

指定された足の IK 座標と、実際の足首が乖離していないか確認しましょう。

「ビルボード」でやっても良いんですが、それだとオブジェクトに陥れてしまいます。最前面に表示させたい時は HUD と同様に、2D として表示したいと思います。MMD のマーカーもそうですが、視点からの距離に関係なく同じ大きさで表示されています。

このことから、あのマーカーはビルボードというより HUD の一種だと思います。

じゃあどうやって実装しますか?

そろそろ自分で考えていただきたい。大抵の教えられることは今まで教えてきました。この程度の事であれば自分で考えて、もうそろそろセンターの手を離れるべき時です。

ヒント…

- シェーダは HUD 用のを使用すると楽
- 4点クアッドポリゴンを使用
- 点(座標)に対してモデルの WVP を乗算した座標を中心に 2D ポリゴンを表示
- 最後に深度を無効にして表示

たまには自分で考えて実装しようぜ。

ちなみに



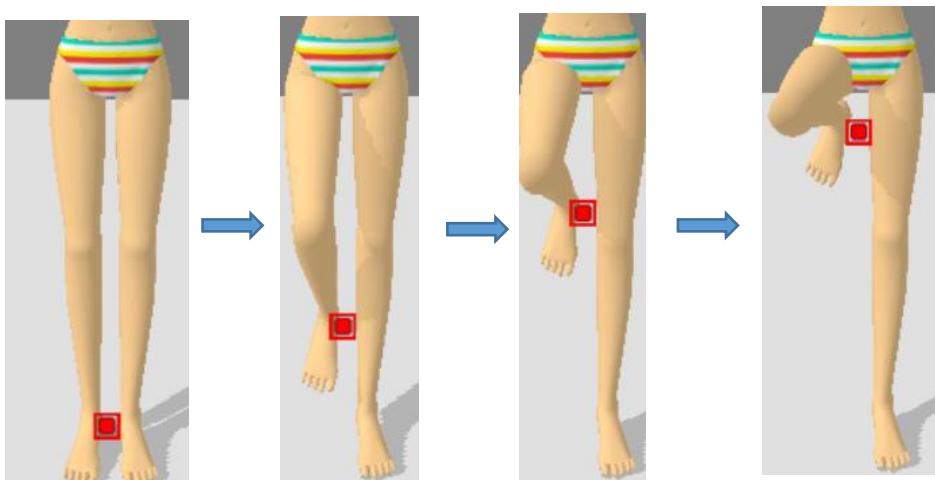
こういう画像を dds としてサーバーにアップしているのでよければ使ってみてください。

"dds" という拡張子は馴染みがないかもしれません、DirectX 用の画像フォーマットです。

dds が分からなければ自分でマーカーを作って構いません。フリーにテクスチャとしてロードすれば良いんですけどね?

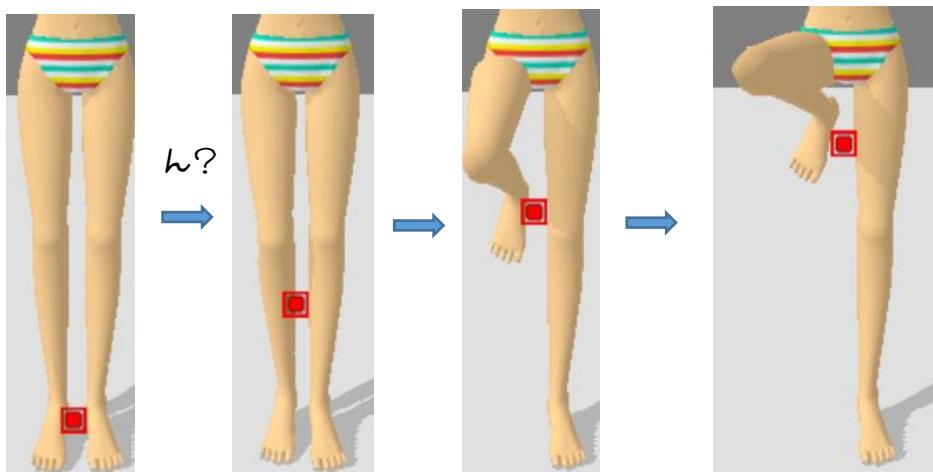
ともかく、実装してみて確認してみました。

右足の IK にマーカーを合わせています。



一応、マーカーに合わせて足が上がっていっているのが分かると思います。

それではサイクリックなしと比較してみましょう。



一目瞭然ですが、特に二番目を見るとおかしなことが分かりますね？マーカーが膝に来るまでは全然動かさず、そこを超えるとIKとして追従します。

というわけで、ソリューションとしては、制限角度をつけたうえで2で割るということのようです。

どこかに明確な使用があればいいんですけどね。ホント手探りですわー。

今回のマーカーみたいに、拳動を一目で比較できる「デバッグツール」を自分で考えておいたほうがいいでしょう。

仕上げ(軸の補正)

足を斜めにした時に応するコードを書きましょう。

以前も書きましたが、このままでは足を開いた時に、足の角度が不適切になります。IKについていきません。



これに対応するためにはループに入る前に最根っこボーンとIK(元の場所、移動先)のベクトルについて外積を取り、回転を計算します。

//ボーンの根っこ部分(IKから最も遠いボーン)からIKの元の座標へのベクトルを作つておく(軸作成用)

```
XMFLOAT3 ikOriginRootVec = ikOriginPos - tmpBonePositions(iklist.ikchainLen - 1);
```

//ボーンの根っこ部分(IKから最も遠いボーン)から移動後IK座標へのベクトルを作つておく(軸作成用)

```
XMFLOAT3 ikTargetRootVec = ikTargetPos - tmpBonePositions(iklist.ikchainLen - 1);
```

この2つのベクトルから回転行列を計算しましょう。

```
XMMATRIX matIkRot = LookAtMatrix(Normalize(ikOriginRootVec), Normalize(ikTargetRootVec),
XMFLOAT3(0, 1, 0), XMFLOAT3(1, 0, 0));
```

とやってもいいし、

2つのベクトルの軸と回転を取得した上でその回転行列を求めて構いません。

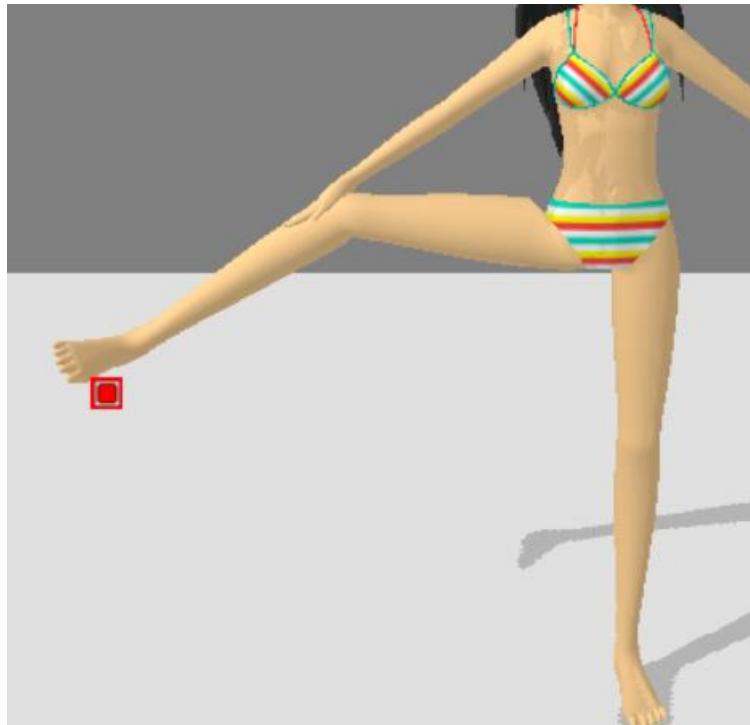
```
rootAxis=Cross(Normalize(ikOriginRootVec), Normalize(ikTargetRootVec));
rootAngle=XMVector3BetweenNormals(ikoriginrootvec, iktargetrootvec);
matIkRot=XMMatrixAxisAngle(rootAxis,rootAngle);
```

こんな感じ。

いかがですやろ?

これで得られた軸と角度で、「ひざ X 軸」に補正を行ってやる。

そうすると



ごらんのように、完璧ではないですが、きちんと IK に追従するようになります。

仕上げ(ベクトル最大長による IK 位置の補正)

足の長さは変わらないので、IK の場所を足の長さを超えるほど長くならないようにしましょう。

大した話ではないです。所謂「CLAMP」すればいいのです。

与太話

おい、12月5日くらいにこんな本が出るらしいぞ!!チェックだ!!!

<https://www.shoeisha.co.jp/book/detail/9784798157610?fbclid=IwAR29VCEFSYhkk9Fulp4S0vtc7252L3-h2ucNcFxgtBMS4G3pyFIwIHv3PU4>

用語テスト～TGS 明けの確認～

- (1) vector とか map の begin()とかで返される「繰り返し」「巡回」に使用する変数を何というか?
- (2) (1)を逆方向から進めるものを何というか?
- (3) vector 型の変数 v に要素を追加するときに通常 push_back を使用するが、一時オブジェクトを作らず直接要素を追加したいときは何というメンバ関数を使うか?
- (4) 入力アセンブラー→頂点シェーダ→テセレータ関連→ジオメトリシェーダ→???→ピクセルシェーダ→出力
のような一連の流れの事を何というか?
- (5) (4)において???に入る言葉は何か?
- (6) DirectX12において、画面をフリップする役割を持つオブジェクトを何というか?
- (7) DirectX12において、データをレンダリングして、最終的に出力されるターゲットの事を何というか?
- (8) DirectX12 のコマンドは基本的に即時復帰となっている。このため特定の部分で「待ち」をしておかないと面倒なことになる。これを制御するために DirectX12 に組み込まれているオブジェクトは何という名前か?
- (9) DirectX10 以降においてはデータに対して、その「データの解釈」という設定がペアになっている。この設定の事を一言で何というか?

