8. POČÍTAČOVÁ GRAFIKA

- RASTROVÝ OBRAZ A VEKTOROVÝ OBRAZ
- BARVY, JEJICH VNÍMÁNÍ, REPREZENTACE A REPRODUKCE
- 2D A 3D VYKRESLOVÁNÍ
- ZÁKLADY OPEN GL
- ZÁKLADY REALISTICKÉHO ZOBRAZOVÁNÍ A VÝPOČTU OSVĚTLENÍ
- OBRAZOVÁ FUNKCE
- KONVOLUCE
- FOURIEROVA TRANSFORMACE
- RADIOMETRICKÉ KOREKCE
- GEOMETRICKÉ KOREKCE
- POTLAČOVÁNÍ ŠUMU V OBRAZU
- ZÁKLADY ROZPOZNÁVÁNÍ VZORŮ

1) RASTROVÝ A VEKTOROVÝ OBRAZ

- OBRAZOVÁ FCE (IMAGE FUNCTION)
  - ↳ ZOBRAZENÍ Z ČÁSTI REÁLNÉ ROVINY DO PROSTORU ATRIBUTŮ (= BAREV)
  - ↳ SPOJITÝ OBJEKT – NESPOČETNĚ MNOHA BODŮM V OBDÉLNÍKU JE PŘIŘAZENA BARVA (ODPOVÍDÁ SITUACI V PŘÍRODĚ – OBRAZ, CO BY SE DAL ZVĚTŠOVAT ± DO NEKONEČNA)
  - ↳ TŘEBA PROVÉST DVOJÍ DISKRETIZACI –
    1) DISKRETIZACE PROSTOROVÝCH SOUŘADNIC NA KONEČNĚ MNOHO BODŮ – PIXELŮ (PICTURE ELEMENT) (1 BUŇKA RASTROVÉHO OBRAZU)
    2) DISKRETIZACE HODNOT PIXELŮ – UKLÁDÁNÍ JAKO CELÁ ČÍSLA V NĚJAKÉM ROZSAHU – ČI FLOATY – HDR GRAFIKA
- RASTROVÝ OBRAZ
  - MÁ PEVNÉ DANÉ ROZLIŠENÍ, NELZE HO ŠKÁLOVAT
  - PŘÍMÁ ADRESACE JEDNOTLIVÝCH PIXELŮ
  - DEFORMACE PŘI OTÁČENÍ – KVŮLI NEDOSTATEČNÉ PŘESNOSTI RASTROVÉHO PROSTŘEDÍ
- VEKTOROVÁ GRAFIKA
  - NEZÁVISLÁ NA ROZLIŠENÍ, LIBOVOLNĚ ŠKÁLOVÁNÍ, NEDOCHÁZÍ KE ZTRÁTĚ PŘESNOSTI
  - SNADNÉ OTÁČENÍ – TRANSFORMAČNÍ MATICE
  - OBJEKTY POPSÁNY MATEMATICKÝMI KŘIVKAMI A MÁ, JAKOU BARVOU MÁ BÝT VYPLNĚNY, BARVOU A TLOUŠŤKOU ČÁRY ...
  - VEKTOROVÝ VÝSTUP SE UŽ NEPOUŽÍVÁ → RASTERIZACE
  - VEKTOROVÉ KRESLENÍ – SADA VEKTOROVÝCH PŘÍKAZŮ PRO KRESLENÍ JEDNOTLIVÝCH GRAFICKÝCH PRIMITIV (MOVE TO x, y, LINE TO x y, CURVE TO, RECT CIRCLE POLYGON...

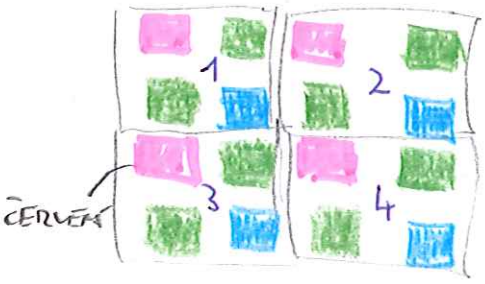
- DEFINICE BAREV A VZORŮ PRO VYPLNĚNÍ (FILL, STROKE)
- VYKRESLOVÁNÍ TEXTU

↳ TO JE VE VEKTOROVÉM FORMÁTU

POŘIZOVÁNÍ RASTROVÝCH OBRAZŮ

- SYNTETICKY - POMOCÍ FCÍ NA PC
- FOTOAPARÁTEM ČI KAMEROU
  - SNÍMAČ = SENZOR = FOTOCITLIVÝ PRVEK
    - ↳ CMOS - DNEŠNÍ BAREVNÉ FOTOAPARÁTY
    - ↳ CCD - MIKROSKOPY, ASTRONOMIE, STARŠÍ, CITLIVĚJŠÍ
  - ↳ 2D SNÍMAČ
- BAREVNÉ FILTRY - PŘEDSAZENÉ PŘED JEDNOTLIVÉ PIXELY SENZORU, SENZOR SÁM O SOBĚ MÁ CITLIVÝ NA JEDNOTLIVÉ VLNOVÉ DÉLKY
  - ↳ PRO SNÍMÁNÍ BAREV

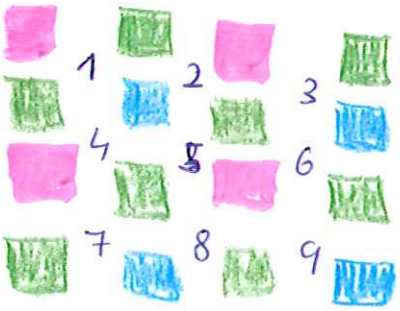
↳ BAYEROVA MASKA
- FUNGUJE DOBŘE PRO RGB
- ROZMÍSTĚNÍ BAREVNÝCH FILTRŮ



← - LIDSKÉ OKO JE CITLIVĚJŠÍ NA ZELENOU SLOŽKU, PROTO JE ZELENÝCH SENZORŮ VÍC NEŽ OSTATNÍCH

← TAKHLE BY SE DATA ZE SENZORU MĚLA KOREKTNĚ PŘEVÁDĚT NA BAREVNÝ OBRÁZEK, CO MÁ V KAŽDÉM PIXELU RGB
↳ ROZDĚLIT SENZORY DO ČTVERŮ C 4 Z KAŽDÉ SPOČÍTAT RGB 1 PIXEL

↳ SENZOR BY TAK ALE MĚL ČTVRTINOVÉ ROZLIŠENÍ
24 MP → $\frac{24}{4}$ MP = 6 MP - NESCHODNÁ KONKURENCE



← TAK SE TO DĚLÁ VE SKUTEČNOSTI
↳ DVA SOUSEDNÍ BAREVNÉ PIXELY SE Z POLOVINY PŘEKRÝVAJÍ, ABY SE DALO UMĚT CELÉ ROZLIŠENÍ (24 MP

PARAMETRY FOTOAPARÁTU

a) FULL FRAME - VELIKOST SENZORU FOTOAPARÁTU
VĚTŠÍ ROZMĚR → MÉNĚ ŠUMU

b) ROZLIŠENÍ V PIXELECH
DPI - PIXELY NA DÉLKU

c) CITLIVOST SNÍMAČE (ISO)
VĚTŠÍ CITLIVOST → VÍC ŠUMU
→ STAČÍ KRATŠÍ DOBA EXPOZICE

↳ MĚOVNÝ ÚČINEK PŘI ZVÝŠENÍ CITLIVOSTI SENZORU, ALE CITLIVOST ZESILUJE CO SE ÚČINNĚ NAČÍTÁ DATA ZE SENZORU - VĚTŠÍ CITLIVOST → VĚTŠÍ ZESÍLENÍ

2

PŘÍKLADY KONKRÉTNÍCH FORMÁTŮ

PARAMETRY RASTROVÉHO GRAFICKÉHO FORMÁTU

1) FORMÁT ULOŽENÍ BAREV
   - BAREVNÁ PALETA, ŠEDÁ ŠKÁLA, TRUE COLOR, A KANÁL ...

2) KOMPRESE
   - BEZZTRÁTOVÁ
     - RLE, LZW
     - MEDICÍNA, LETECTVÍ – KDYŽ MUSÍ PŮVODNÍ DATA ZŮSTAT NEZMĚNĚNÁ
   - ZTRÁTOVÁ
     JPEG KOMPRESE

3) PROKLÁDÁNÍ, PROGRESIVNÍ REŽIMY
   - PRO POMALÉ PŘIPOJENÍ, NEJDŘÍV SE MŮŽE HRUBÁ FORMA OBRÁZKU, POSTUPNĚ SE ZPŘESŇUJE

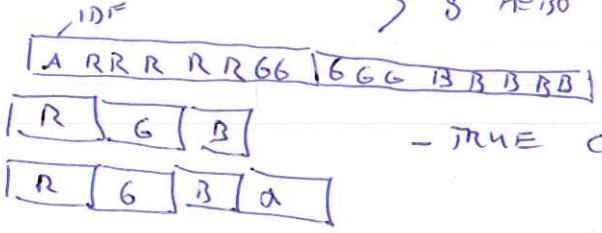
4) NEGRAFICKÉ INFO – METADATA
   - MP FOTOAPARÁTU, DATUM, ČAS VYTVOŘENÍ, JAKÝ CLONA, CITLIVOST BYLY POUŽITY
   - DNES VE VŠECH MODERNÍCH FORMÁTECH

RASTROVÉ FORMÁTY

1) PBM, PGM, PPM (PORTABLE BIT MAP, PORTABLE GREY MAP, PORTABLE PIXEL MAP)
   - JEDNODUCHÉ FORMÁTY, JO LZE UDRŽOVAT POUZE V TEXTOVÝCH SOUBORECH
   - TEXTOVÁ HLAVIČKA + BINÁRNÍ ČI TEXTOVÁ DATA
     HLAVIČKA P2 (TEXTOVÝ) či P5 (BINÁRNÍ)
     x ROZMĚR y ROZMĚR, MAX HODNOTA BARVY
     PAK MATICE PIXELŮ ADEKVÁTNÍCH ROZMĚRŮ
   - LZE VYKRESLIT OBRÁZEK Z PROGRAMU POUZE VYPISOVÁNÍM TEXTU

2) TARGA FORMÁT TGA
   - UMÍ RGB, RGBA, ODSTÍNY ŠEDI, BAREVNOU PALETU
     - ZPŮSOBY REPREZENTACE BAREV
   - POUŽÍVÁ RLE KOMPRESI – DOBRÁ
   - STRUKTURA TGA SOUBORU
     - 18 BYTŮ HLAVIČKA, ± IDENTIFIKACE, ± PALETA (JE-LI TO FORMÁT S PALETOU), OBRAZOVÁ DATA ± DALŠÍ METADATA
     - HLAVIČKA – BAREVNÝ FORMÁT, DÉLKA IDENTIFIKACE, TYP KOMPRESE, ROZLIŠENÍ, ORIENTACE (DATA ULOŽENA ZHORA DOLŮ, ZLEVA NAHORU ...)
   - BAREVNÉ FORMÁTY PIXELŮ
     - MONOCHROMATICKÝ – ŠEDÝ
     - S PALETOU
     - RGB 16
     - RGB 24
     - RGB 32

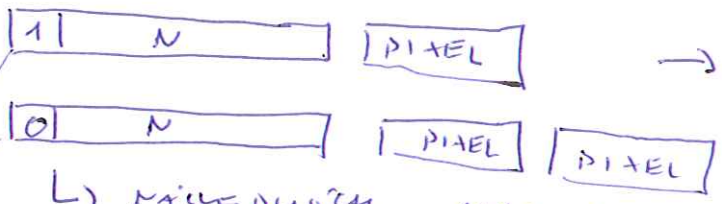
> 8 NEBO 16 BITŮ NA PIXEL



– TRUE COLOR

RLE KOMPRESE V TGA (RUNNING LENGHT ENCODING)

= KÓDOVÁNÍ POMOCÍ BĚHŮ
- BEZEZTRÁTOVÁ
- POKUD JE ZA SEBOU VÍC PIXELŮ STEJNÉ BARVY, ZAPÍŠE SE MÍSTO TOHO BARVA JEDENKRÁT A UVEDE SE POČET OPAKOVÁNÍ



→ N+1 KRÁT OPAKUJ PIXEL
↳ MÁ SMYSL OPAKOVAT AŽ ALESPOŇ 2

↳ NÁSLEDUJÍCÍCH N+1 BIXELŮ NENÍ KOMPRIMOVANÝCH ODLIŠNÝ KOMPRIMOVANÝCH A NEKOMPRIMOVANÝCH DAT
- POKUD BY V OBRÁZKU NEBYLY ŽÁDNÉ STEJNÉ PIXELY ZA SEBOU, SOUBOR BY SE PRODLOUŽIL CCA O 0,8 %

GIF GRAPHICS INTERCHANGE FORMAT

- PODPORUJE POUZE FORMÁT PIXELŮ S PALETOU NE RGB - NEVÝHODA - PROTOŽE JE STARÝ
- VÝHODY:
  - CELKEM DOBRÉ 4-FÁZOVÉ PROKLÁDÁNÍ
  - VÍCE OBRÁZKŮ V 1 SOUBORU + POPSÁNO, JAK SE MAJÍ PŘEHRÁVAT (ANIMACE, SLIDESHOW)
  - DOBRÝ SYSTÉM UKLÁDÁNÍ METADAT DO SOUBORU
    ↳ SAMI SI MOHU URČIT SVÁ METADATA, OSTATNÍ PROHLÍŽEČI MŮŽOU TO NEZBORŘÍ
  - PODPORUJE POLOPRŮHLEDNOST, ALE POUZE PRO 1. BARVU
- FORMÁT SOUBORU
  - 6 BYTŮ VERZE
  - 8 BYTŮ HLAVIČKA
  - ± GLOBÁLNÍ PALETA (# KAŽDÝ OBRÁZEK V SOUBORU MŮŽE MÍT SVOU LOKÁLNÍ PALETU)
  - BLOKY - BUĎ JEDNOTLIVÉ OBRÁZKY ČI BLOKY METADAT
  - TERMINÁLNÍ ZNAK
- BLOKY
  - KAŽDÝ MÁ HLAVIČKU - JE TO BUĎ KLASICKÝ BLOK - PIXELY OBRÁZKU ČI ZVLÁŠTNÍ BLOK
    ↳ NA ZAČÁTKU BLOKU UVÉST, JAK JE DLOUHÝ, KDO BLOKU NEROZUMÍ, PŘESKOČÍ HO
  - VYKRESLOVÁNÍ FRAMŮ - BLOKY S MEZIVÝSLEDKY
- OBRAZOVÝ BLOK
  - x, y KAM SE MÁ OBRÁZEK UMÍSTIT
  - ŠÍŘKA, VÝŠKA
  - ± LOKÁLNÍ PALETA
  - VOLBA PROKLÁDÁNÍ
  - VLASTNÍ OBRAZOVÁ DATA - LZW KOMPRIMOVANÁ
- PROKLÁDÁNÍ GIF
  1. FÁZE - KAŽDÁ 8. ŘÁDKA (8i)
  2. FÁZE - KAŽDÁ 4. ŘÁDKA (8i + 4)
  3. FÁZE - VŠECHNY SUDÉ ŘÁDKY (4i + 2)
  4. FÁZE - VŠECHNY ŘÁDKY (2i + 1)

↳ NEVÝHODA - POUZE HORIZONTÁLNÍ PROKLÁDÁNÍ - NE VERTIKÁLNÍ

LZW KOMPRESE
- BEZEZTRÁTOVÁ
- ZALOŽENÁ NA STROMĚ - STAVBA STROMU V O(1), PAK KÓDOVÁNÍ A DEKÓDOVÁNÍ POMOCÍ STEJNÉHO STROMU
  - ↳ KOMPRESE I DEKOMPRESE TRVAJÍ OKO STEJNĚ DLOUHO - SKORO SYMETRICKÁ METODA KOMPRESE
    - ↳ TYPICKY U JINÝCH METOD TRVÁ KOMPRESE DÉLE NEŽ DEKOMPRESE
- SLOVNÍKOVÁ KOMPRESNÍ METODA

PNG FORMÁT (PORTABLE NETWORK GRAPHICS)
- VYVINUT 1995 ABY NAHRADIL GIF - TEN BYL ZATÍŽEN PATENTEM NA LZW KOMPRESI
- VHODNÉ PRO PÍSMO, DISKRÉTNÍ GRAFIKU SCREENSHOTY
- TRUE COLOR
- SPOJITÁ PRŮHLEDNOST
- DEFLATE KOMPRESE - ZALOŽENÁ LZ77 (TU POUŽÍVÁ ZIP)
  - ↳ OKÉNKO A HLEDÁNÍ POSLOUPNOSTÍ, CO SE SHODUJÍ S KÓDOVANÝM SLOVEM
- POUŽÍVÁ CRC KONTROLNÍ SOUČTY
- VYLEPŠENÉ PROKLÁDÁNÍ - 7 FÁZÍ - HORIZONTÁLNÍ I VERTIKÁLNÍ
  - 1. FÁZE - 1 PIXEL Z KAŽDÉHO □ 8x8 PIXELŮ (1/64 OBRÁZKU - 8x MENŠÍ ROZLIŠENÍ V KAŽDÉ SOUŘADNICI)
  - 2. a 3. FÁZE - DONÁ 1. PIXEL Z KAŽDÉHO □ 4x4
  - 4. a 5 FÁZE - -||- □ 2x2 (POLOVIČNÍ ROZLIŠENÍ)
  - 6. FÁZE - VŠECHNY PIXELY V SUDÝCH ŘÁDCÍCH SE DOPLNÍ (VŠECHNY DOSUD ZOBRAZENÉ PIXELY LEŽÍ V SUDÝCH ŘÁDCÍCH)
  - 7. FÁZE - KOMPLETNÍ PŘENOS LICHÝCH ŘÁDEK

JPEG JOINT PHOTOGRAPHICS EXPERTS GROUP
- KOMPRESNÍ METODA ∇ NE FORMÁT
  - ↳ POUŽÍVANÝ FORMÁTEM JFIF - JPEG FILE INTERCHANGE FORMAT .JPG .JPEG
- ZTRÁTOVÁ S MOŽNOSTÍ ZADAT BEZEZTRÁTOVOU
- VHODNÉ PRO FOTKY, NEVHODNÉ PRO PÍSMO, SCREENSHOTY...
- DÁ SE ZADAT KOMPRESNÍ POMĚR - OVLIVNÍ KVALITU VÝSLEDKU
- VYUŽÍVÁ DISKRÉTNÍ KOSINOVOU TRANSFORMACI A ENTROPICKÉ KÓDOVÁNÍ
- BERE □ 8x8 PIXELŮ I ORTOGONÁLNÍ TRANSFORMACÍ MU PŘEVEDE NA 64 KOEFICIENTŮ - PROVEDE SPEKTRÁLNÍ ROZKLAD - ZMĚNÍ MĚŘÍTKO PŘEKLAD - NAPŘ. ZTMAVUJE SE DOLEVA DOLŮ - TO BUDE 1 KOEF.
  - ↳ KOEFICIENTY SE DAJÍ ZAOKROUHLIT, REDUKOVAT, TOS PŮVODNÍMI PIXELY MĚLO, JAKÉ MÁ PRIORITU, NĚKTERÉ LZE ÚPLNĚ VYNECHAT
  - ↳ KOEFICIENTY TVOŘÍ KVATOVAČ
- KODÉR ENTROPIE PAK KÓDUJE ZACHOVANÉ KOEF. DO VÝSLEDNÉHO SOUBORU - BUĎ STATICKY (HUFFMAN) ČI DYNAMICKY
  - ↳ TO UŽ JE BEZEZTRÁTOVÉ (3).

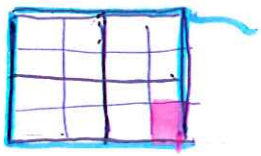
- JPEG JE KOMPRIMACE 1 NAMÍCHANÉHO MONOCHROM. OBRÁZKU - POKUD MÁM BAREVNÝ OBRÁZEK - JE TŘEBA ODDĚLIT KANÁLY
  - PŘEVOD DO ODSTÍNŮ ŠEDÉ + REPREZENTUJE HLAVNĚ ZELENOU SLOŽKU
  - POUŽÍVÁ SE YC_bC_r SYSTÉM
    - JAS
    - BAREVNÉ SLOŽKY
  - PRO LIDSKÉ OKO JE JAS DŮLEŽITĚJŠÍ NEŽ BARVA
  - PŘEMĚNÍ SE YC_b JEDNOHO PIXELU YC_r DALŠÍHO
    - PRO KAŽDÝ PIXEL SE TUS BAREVNÉ INFO VYMĚNÍ
  - RGB ~> YC_bC_r —> KOMPRIMACE JPEG

RAW FORMÁT
- NASTAVITELNÝ V FOTOAPARÁTU - MEDIÁ SE ZÁPIS PŘED ZPRACOVÁNÍM VE FOTOAPARÁTU - DATA SE ULOŽÍ JAK BYLA MĚŘENA
- GRAFICKÝ PROCESOR FOTOAPARÁTU JINAK MŮŽE PŘEBA ROVNOU UDĚLAT JPEG

TIFF TAGGED IMAGE FILE FORMAT
- TYPICKY POUŽÍVÁ BEZZTRÁTOVÉ KOMPRESE, ALE LZE V NĚM POUŽÍT RŮZNÉ TYPY KOMPRESÍ, I TAKÉ JPEG

VEKTOROVÉ FORMÁTY
- ULOŽENY POSLOUPNOSTÍ KRESLÍCÍCH PŘÍKAZŮ
- SVG - SCALABLE VECTOR GRAPHICS
- CDR - COREL DRAW
- AI - ADOBE ILLUSTRATOR
- PDF PORTABLE DOCUMENT FORMAT
- WMF WINDOWS METAFILE

QUAD TREE
KVADRANTOVÝ STROM
- PODOBNÉ RLE, ALE HORIZONTÁLNÍ I VERTIKÁLNÍ
- SLOUŽÍ SOB ÚSPORNÉHO ULOŽENÍ OBRAZU
- POUŽÍVÁ TERNÁRNÍ STROM - PŘEDPOKLÁDÁ, ŽE SE KOLEM JE ČTVERCOVÁ OBLAST O STRANĚ 2^n
- □ SE ROZDĚLÍ NA 4 □ O STRANĚ 2^{n-1}, POKUD JE NĚKTERÝ DÍLČÍ □ JEDNOBAREVNÝ, VYTVOŘÍME UZEL S BARVOU, PRO VÍCEBAREVNÉ □ POSTUPUJEME REKURZIVNĚ
  - PO NĚKOLIKA DĚLENÍ SE PŘÍPADNĚ DOJDE AŽ NA PIXELY A JEJICH BARVY SE ULOŽÍ DO LISTŮ
- DEFINICE BUDU JE QUAD TREE ZHORA DOLŮ - TO BY SE
  - TAK BY SE ALE PROCHÁZELY PIXELY OPAKOVANĚ A OPAKOVANĚ BY SE ZJIŠŤOVALA JEJICH BARVA



TO CELÉ PROJDU I NEŽ ZJISTÍM, ŽE POSLEDNÍ □ MÁ JINOU BARVU, V DALŠÍ ITERACI BYCH PODLE DEF ZNOVU PROCHÁZELA OBLAST 2×2

- LEPŠÍ STAVĚT QUAD TREE ZDOLA NAHORU
  - POST ORDER REKURZE - ZAČNU S MALÝM □, KOLIKÁ, ZDA OKOLÍ □ MAJÍ STEJNOU BARVU, 2×2, 4×4 ... DOKUD NACHÁZÍM STEJNOU BARVU, NEKO NSTRUKUJI UZLY

- KDYŽ KÓDOVANÁ OBLAST NEMÁ ROZMĚR $2^n \times 2^n$
  - VEZMU NEJBLIŽŠÍ VYŠŠÍ MOCNINU 2 ▭ UZAVŘU DO □
    - DÍLEK, CO LEŽÍ MIMO ▭ ZAKÓDUJI, JAK SE MI HODÍ - ABY SE VÝSLEDNÝ STROM PO NEJMÉNĚ VĚTVÍ
    - TEN, CO BUDE STROM DEKÓDOVAT, BUDE ZNÁT ROZMĚRY OBRÁZKU, V OBLASTECH MIMO NIC HLEDAT NEBUDE
    - „DON'T CARE" HODNOTA - TEMHLE DÍLEK MŮŽE MÍT BARVU, KTEROU CHCEŠ, ABY VZNIKLA VĚTŠÍ 1 BAREVNÁ PLOCHA
- HYBRIDNÍ PŘÍSTUP
  - ZKUSIT POSTAVIT QUADTREE A KDYŽ VYJDE VĚTŠÍ NEŽ PŮVODNÍ OBRÁZEK, NECHAT ZVLÁŠŤ UZEL S PŮVODNÍM OBRÁZKEM
- DAG MÍSTO STROMU
  - POKUD SE NĚJAKÝ TVAR PODSTROMU OPAKUJE, LZE SI JEJ PRO ÚSPORU UKLADAT VÍCEKRÁT
- LINEÁRNÍ ULOŽENÍ QUADTREE
  - VYUŽÍVÁ SE SOUROZENECKÁ VLASTNOST STROMU - KAŽDÝ VNITŘNÍ UZEL MÁ STEJNÝ POČET POTOMKŮ - 4
    - JSEM VE VNITŘNÍM UZLU, POZNAMENÁM SI, ŽE SE REKURZÍM (R) A PAK VÍM, ŽE PŘIJDOU 4 POTOMCI (BUĎ LISTY, ČI DALŠÍ REKURZE
    - NEŠIKOVNÉ PRO BITOVÉ MASKY - POTŘEBOVAL BYCH 3 HODNOTY 1, 0 a R
      - BITOVÁ ANALÝZA - PODLE ČETNOSTI SYMBOLŮ PŘIŘADÍM MDŘ 0 -> 0 1 -> 11 R -> 10
- S QUADTREE PRO BITMAPU LZE PROVÁDĚT BINÁRNÍ OPERACE
  - 3 POINTERY - 2 NA OPERANDECH, 1 NA VÝSLEDEK
  - ROZDÍL A PRŮNIK
  - PŘÍKLAD - PRŮNIK

    LIST S HODNOTOU 1 ∧ COKOLI => KOPIE TOHO COKOLI

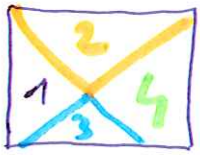
    LIST S 0 ∧ COKOLI => LIST S 0
  - OBA OPERANDY SE VĚTVÍ => REKURZE
  - PRUNIKEM MŮŽE VZNIKNOUT VNITŘNÍ UZEL S 4 LISTY JAKO POTOMKY -> JE TŘEBA HO SLOUČIT
  - PODOBNĚ LZE POPSAT VŠECH 16 BINÁRNÍCH BOOLOVSKÝCH OP
    - PŘÍKLADY:
      - NEG TAM 0 LIST
      - NEG TAM 1 LIST
      - OKOPÍRUJ PODSTROM
      - OKOPÍRUJ PODSTROM A PROHOĎ 0 a 1
  - POZOR NA NESYMETRICKÉ BIN OP (=> MDŘ)
- X TRANSITIVNÍ LIST - ŘÁDKOVÝ SEZNAM ZMĚN

POLOPRŮHLEDNOST, α KANÁL

- MONTÁŽ NĚKOLIKA REÁLNÝCH OBRÁZKŮ, SESTAVOVÁNÍ SYNTETICKÉHO OBRÁZKU Z NĚKOLIKA SAMOSTATNÝCH VRSTEV, VKLÁDÁNÍ GRAFIKY DO TV VYSÍLÁNÍ, PROLÍNÁNÍ OBRÁZKŮ – FADE-IN FADE-OUT VIDEO
- KÓDU JE NEPOKRYTOU, PRŮHLEDNOU ČÁST PIXELU
  0 ~> PRŮHLEDNÝ, 1 ~> NEPRŮHLEDNÝ
- UKLÁDÁNÍ – BUĎ JAKO 4-BYTE [R, G, B, α]
  NEBO PŘEMULTIPLIED [Rα, Gα, Bα, α]
  ↳ ČASTĚJI, VÍCE SE S TÍM PRACUJE
  α ∈ [0, 1]
  α ∈ [0, 255]
  ↳ MENŠÍ NOROVÁNÍ V PIXELU UKOZÍT FLOAT
- JAK BY SE MĚLY ZOBRAZOVAT POLOPRŮHLEDNÉ PIXELY POSKLÁDANÉ ZA SEBE?
  [A, α_A] – PIXEL JE Z α_A PROCENT POKRYT BARVOU A
  ↳ ALE TO NEŘÍKÁ, JAK JE BARVA PO PLOŠE PIXELU ROZDĚLENÁ

- ORTOGONÁLNÍ PŘÍSTUP – TYPICKY SE POUŽÍVÁ V KMKOVÁNÍ
  ↳ LZE SI TO PŘEDSTAVIT PRAVDĚPODOBNOSTÍ α_A

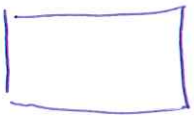
BINÁRNÍ OPERACE S POLOPRŮHLEDNÝMI OBRÁZKY



	BARVA	PLOCHA
1	NIC	$(1-\alpha_A)(1-\alpha_B)$
2	A	$\alpha_A(1-\alpha_B)$
3	B	$\alpha_B(1-\alpha_A)$
4	A ∩ B	$\alpha_A \alpha_B$ – SOUČIN PRAVDĚPODOB. NEZÁVISLÉ JEVY

- 12 BINÁRNÍCH OPERACÍ

1) CLEAR

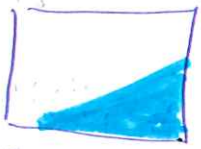


BARVA (0, 0, 0, 0)
F_A 0
F_B 0

2) A

(0, A 0 A)
1
0

3) B



(0, 0, B, B
0
1

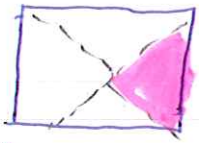
4) A OVER B

(0, A, B, A)
F_A 1
F_B $(1-\alpha_A)$

5) B OVER A

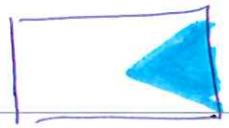
(0, A, B, B)
$(1-\alpha_B)$
1

6) A IN B



(0, 0 0, A)
α_B
0
↳ BARVA B TAM VŮBEC NENÍ, UPLATŇUJE SE POUZE TVAR B

7) B IN A



(0, 0, 0, B)

0

α_A

8) A OUT B

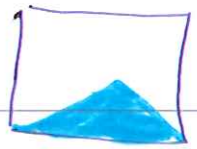
(0, A, 0, 0)

$(1 - \alpha_B)$

0

↳ JAKO BY SE BÍLÝ OD MASKOVALO A

9) B OUT A



(0, 0, B, 0

0

$(1 - \alpha_A$

10) A ATOP B

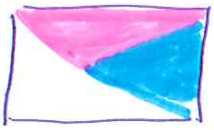
(0, 0, B, A)

α_B

$(1 - \alpha_A)$

↳ TAM JE B, TAM, CO HO PŘEKRÝVÁ A JE BARVA A, JINAK MÁ SVOU BARVU B

11) B ATOP A.



(0, A, 0, B)

$(1 - \alpha_B)$

α_A

12) A XOR B

(0, A, B, 0)

$(1 - \alpha_B)$

$(1 - \alpha_A)$

- PREMULTIPLIED REPREZENTACE JE VHODNÁ PRO BIN OPERACE, SLOŽKY F_A, F_B JSOU NAVRŽENY NA NÁSOBENÍ $R_\alpha * F_A$
  ↳ MÁME SE VŠEMI REPREZENTACI SAMOZŘEJMĚ α SLOŽKY PROJEVÍ JAKO NAKRESLENÍ TOHO SAMÉHO OBRÁZKU NA ČERNÉ POZADÍ
- BINÁRNÍ OPERACE SE POČÍTÁ JAKO

$$[F_A R_A + F_B R_B,\ F_A G_A + F_B G_B,\ F_A B_A + F_B B_B,\ F_A \alpha_A + F_B \alpha_B]$$

F_A F_B Z PŘEDCHOZÍ TABULKY

UNÁRNÍ OPERACE

- DARKEN $(A, \varphi) = [\varphi R_A, \varphi G_A, \varphi B_A, \alpha_A]$
  VYLUČUJÍCÍ JISKRY U TÁBORÁKU
- FADE $(A, \delta) = [\delta R_A, \delta G_A, \delta B_A, \delta \alpha_A]$
  MÉNĚ SE ROZPLÝVÁ
- OPAQUE $(A, \omega) = [R_A, G_A, B_A, \omega \alpha_A]$
  ↳ ZINTENZIVŇUJÍ BARVY LINEÁRNĚ JEJÍ PLOŠE

ADITIVNÍ OPERÁTOR A PLUS B

$$[R_A + R_B,\ G_A + G_B,\ B_A + B_B,\ \alpha_A + \alpha_B]$$

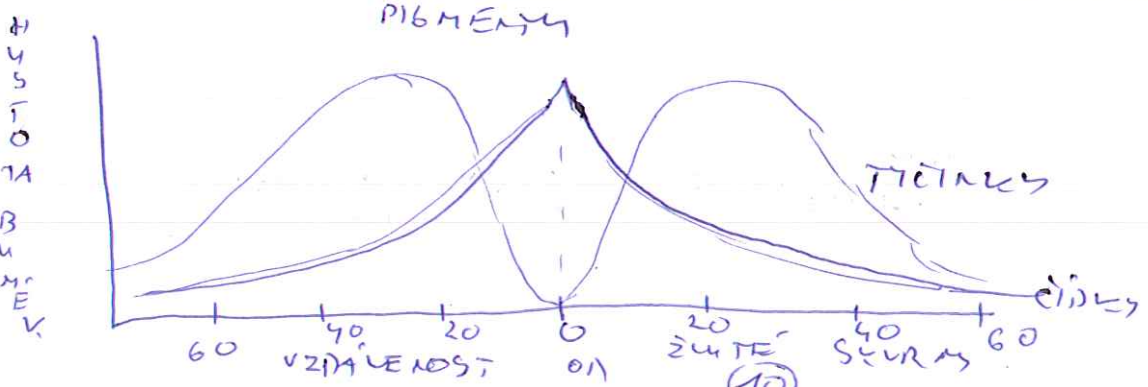
2) BARVY

ZÁKLADY LIDSKÉHO ZRAKOVÉHO SYSTÉMU

- 400 – 700 nm – VLNOVÉ DÉLKY VIDITELNÉHO SVĚTLA
- SOUBOR VŠECH FÁ V ROZSAHU 400 – 700 nm JE NEKONEČNĚ DIMENZIONÁLNÍ – NELZE HO POPSAT ŽÁDNÁ KONEČNÝM SOUBOREM ČÍSEL
- LIDSKÉ VNÍMÁNÍ BAREV JE 3 ROZMĚRNÉ – 3 VELIČINY, CO JSOU SVĚTLOČIVÉ BUŇKY NA SÍTNICI SCHOPNÉ VNÍMAT
  - ↳ BARVA JE PRO 🧍 BOD V 3D PROSTORU
- METAMERY – BARVY CO NELZE 🧍 👁 ROZEZNAT
- BARVA PŘEDMĚTU JE DÁNA I OSVĚTLENÍM
  - ↳ VYVÁŽENÍ BÍLÉ VE FOTOAPARÁTU
- INHERENTNÍ BARVA PŘEDMĚTU = JAK ODRAŽÍ VLNOVÉ DÉLKY

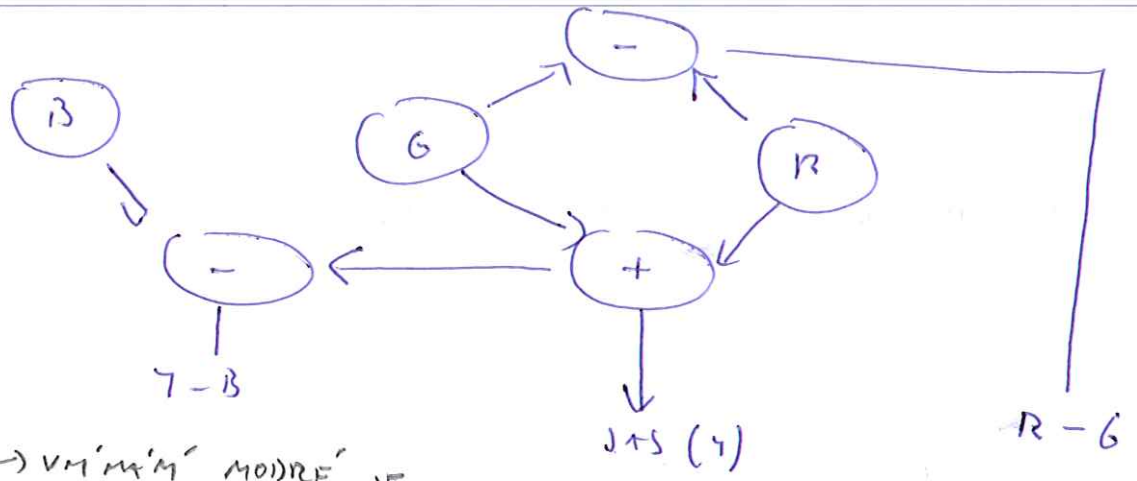
LIDSKÉ OKO

- V LIDSKÉM OKU SE MĚNÍ OPTICKÁ MOHUTNOST ČOČKY PŘI OSTŘENÍ, ČOČKA JE PRUŽNÁ, SVALY JI SMRŠŤUJÍ
- SÍTNICE = SENZOR
  - ↳ ZAKŘIVENÁ UMÍSTĚNÍ ČÁST BULVY POKRYTÁ SÍTÍ SVĚTLOČIVÝCH BUŇEK
  - ↳ NEPRAVIDELNOSTI A VADY MA KORIGUJE ZRAKOVÝ SYSTÉM
- ČÍPKY – SVĚTLOČIVÉ BUŇKY, CO ROZEZNÁVAJÍ BARVY – ZA DNE
  - ↳ 3 TYPY:
    - S SMALL – KRÁTKÉ VLNOVÉ DÉLKY – VNÍMAJÍ MODROU
    - M MIDDLE – STŘEDNÍ ZELENÁ
    - L LARGE – ČERVENÁ
  - ↳ MAJÍ DOMINANTNÍ BARVU, OBSAHUJÍ BARVIVA CITLIVÁ NA RŮZNÉ VLNOVÉ DÉLKY
- TYČINKY – MNOHEM CITLIVĚJŠÍ, ALE NEVNÍMAJÍ BARVY – ZA NOCI
- ŽLUTÁ SKVRNA – HUSTÁ ČÍPKY, ŽÁDNÉ TYČINKY
- ŠEDÁ SKVRNA – NAPOJENÍ ZRAKOVÉHO NERVU, CO VEDE DO ZADNÍHO LALOKU MOZKOVÉHO (VISUAL CORTEX)
  - ZRAK. SYSTÉM JI SCHOVÁ, INTERPOLUJE
- SLEPÉ – ROSOLOVITÁ MASA UVNITŘ BULVY
  - TROCHU MĚLČÍVÁ, POHLCUJE KRÁTKÉ VLNOVÉ DÉLKY
  - → MODROU
- DISPERZE = ROZKLAD SVĚTLA – JINAK SE ROZPTYLUJE NA RŮZNÉ VLNOVÉ DÉLKY – JINAK SE LÁMOU
  - ↳ ROZDÍL – MODRÁ / ČERVENÁ
  - ↳ VE FOTOAPARÁTU JE KVŮLI TOMU VÍC ČOČEK, LIDSKÉ OKO KORIGOVANÉ MÁ – MÁ BAREVNOU VADU
- MÁL BARVNÁ JSOU SI PODOBNÁ – KDYŽ JEDNO Z NICH CHYBÍ
  - → BARVOSLEPOST – SPLYNUTÍ ČERVENÉHO A ZELENÉHO PIGMENTU



PŘED ZPRACOVÁNÍ BAREVNÉ INFORMACE NA SÍTNICI

- SVĚTLOCITLIVÉ BUŇKY NA SÍTNICI JSOU SPOLU PROPOJENY, TVOŘÍ MASIVNÍ VÝPOČETNÍ SYSTÉM



↳ VNÍMÁNÍ MODRÉ JE ZMĚNĚ POTLAČENO

→ RŮZNÁ CITLIVOST NA RŮZNÉ BAREVNÉ SLOŽKY
- ČERVENÁ 0,3
, ZELENÁ 0,6 , MODRÁ 0,1

- NAVÍC STÍNĚN ŽLUTÉ SKVRNY „MODRÉ" ČÁSTICE MOC NEOBSAHUJE

- LIDSKÉ OKO ZAOSTŘUJE NA JASOVOU SLOŽKU (Y = R + G)
(VIZ DISPERZE)

↳ BLÍZKO OKA JE NERVOVÝ SYSTÉM, CO VNÍMÁ, ZDA JE OBRAZ NA SÍTNICI OSTRÝ - RYCHLE, ABY SE INFO NEMUSELO POSÍLAT AŽ DO VISUAL CORTEX

↳ ABY TO MĚL SYSTÉM JEDNODUCHÉ, VNÍMÁ JASOVOU SLOŽKU →
→ OKO NEDOKÁŽE ZAOSTŘIT NA MODROU BARVU (R)
↳ NA ROZDÍLY V MODRÉ SLOŽCE - NAPŘ. MODRÁ NA ČERNÉM POZADÍ

- INTEGRAČNÍ SCHOPNOST SÍTNICE - DŘÍVE NA ŇÚ SE VYRÁBĚL OBRAZ V MENŠÍM ROZLIŠENÍ, ABY SE V MOZKU ZPRACOVÁVAL RYCHLEJI (PAK SE TAK VYRÁBÍ I OBRAZ VE VYSOKÉM ROZLIŠENÍ

↳ TEČKOVÁNÍ, ŠRAFOVÁNÍ V MALÍŘSTVÍ A TISKAŘINĚ
↳ DITHERING, HALF-TONING - MALÉ TEČKY BLÍZKO SEBE V TISKU, SVĚTLÉ BARVY, RŮZNÉ VELIKOSTI TEČEK

- VĚTŠÍ ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST SVISLE A HORIZONTÁLNĚ NEŽ ŠIKMO - AŽ O 30%

- SETRVAČNOST - AFTER IMAGE - CHEMICKÉ VČERPÁNÍ NĚKTERÝCH RECEPTORŮ - DOPADY FOTONŮ NA RECEPTORY PŮSOBÍ CHEM. ZMĚNY, CHVÍLI TRVÁ, NEŽ SE RECEPTOR REGENERUJE

↳ KOUKÁM NA BAREVNÉ KOLEČKO - PAK SE PODÍVÁM NA PAPÍR A VIDÍM KOLEČKO V DOPLŇKOVÉ BARVĚ

- OČEKÁVÁNÍ (EXPECTATION) - PSYCHO-FYZIOLOGICKÁ VLASTNOST

↳ SYSTÉM VIDĚNÍ SI DOMÝŠLÍ VĚCI, CO NEVIDÍ -
- JABLKO VIDÍM ČERVENÉ

- VLIV OKOLÍ - BARVY VNÍMÁME MEJEN PODLE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ PŘEDMĚTŮ ALE I PODLE TOHO, CO JE KOLEM - MĚNÍ SE EXISTUJE - MĚNÍ TO ČÍNÍ VLNOVÁ DÉLKA - JE TO ČERVENÁ (TMAVÁ) BÝVÁ SVĚTLÉ BARVY

- MONOCHROMATS - OMEZENO CMĚNÍ, CHYBÍ ČÁSTY, LIDÉ CITLIVÝ NA SVĚTLO, NEVNÍMAJÍ BARVY

BAREVNÉ PROSTORY

700 nm ČERVENÁ
546,1 nm ZELENÁ
435,8 nm MODRÁ

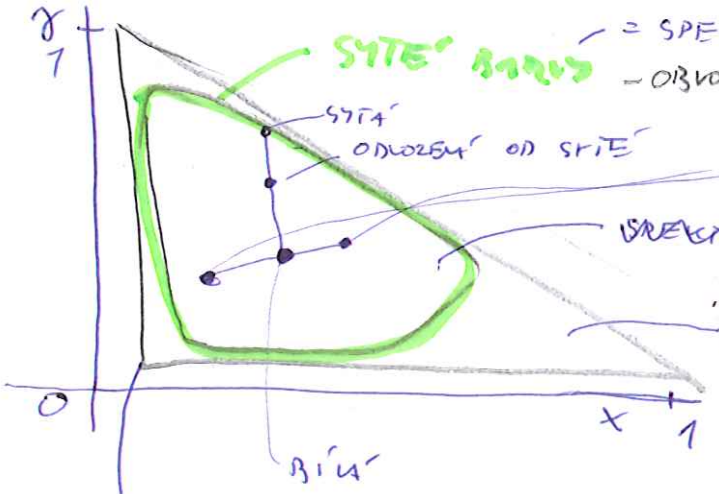
- 3 BARVY, DAJÍ Δ, V NĚM LEŽÍ VĚTŠINA ∀ VNÍMATELNÝCH BAREV
  - ↳ ALE NE VŠECHNY, PRO MÍCHÁNÍ VŠECH BAREV (∀ VNÍMATELNÝCH) BY BYLO TŘEBA VZÍT NĚKTEROU SLOŽKU ZÁPORNOU, COŽ JE FYZIKÁLNÍ NESMYSL
  - ↳ 1931 DEFINOVÁN SYSTÉM BAREV X, Y, Z - ZÁKLADNÍ IMAGINÁRNÍ BAREVNÁ PRIMITIVA, JEJICHŽ SKLÁDÁNÍM (NEZÁPORNÉHO MNOŽSTVÍ) LZE DOSÁHNOUT VŠECHNY BARVY
  - ↳ X, Y, Z NEODPOVÍDÁ ŽÁDNÉ ČÁSTI SPEKTRA

Y... JAS X... POZITIVITA Z... MODRÝ STIMUL

- ZÁVISLOST MEZI RGB A X, Y, Z JE LINEÁRNÍ - EXISTUJE 3×3 PŘEVODNÍ MATICE
- NORMALIZOVANÉ BAREVNÉ SLOŽKY

$$x = X/(X+Y+Z)$$
$$y = Y/(X+Y+Z)$$
$$z = Z/(X+Y+Z)$$

↳ BARVY SE DAJÍ DOBŘE VYJÁDŘIT I PŘES x a y



GAMUT = MNOŽINA VŠECH ZOBRAZITELNÝCH BAREV
↳ VNITŘEK Δ

CMYK

- ODPOVÍDÁ TONERŮM PRO BAREVNÉ TISKÁRNY
- CIAN, MAGENTA YELLOW
- SUBTRAKTIVNÍ SKLÁDÁNÍ BAREV
- K - TERNÍ - ČTU BY POSTAČOVAT C+M+Y, ALE DRAHÉ A NEDOKONALÉ
- PŘEVOD RGB → CMY

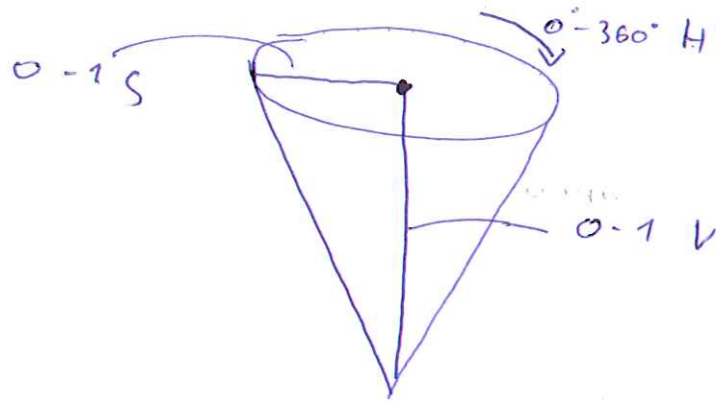
  $C = 1 - R \qquad M = 1 - G \qquad Y = 1 - B$
- NAHRAZENÍ NĚKTERÝCH BAREVNÝCH SLOŽEK ČERNOU

  $K' \approx MIN(C, M, Y) \qquad C' \approx C - K \qquad M' \approx M - K \qquad Y' = Y - K$

HSV

- BAREVNÝ SYSTÉM ORIENTOVANÝ NA UŽIVATELE - ABY BYL INTUITIVNÍ A BARVY SE DOBŘE ZADÁVALY
- HUE = ODSTÍN - DOMINANTNÍ VLNOVÁ DÉLKA
  - ÚHEL 0 - 360° NA KRUŽNICI
- SATURATION - SYTOST - POMĚR DOKONALE SYTÉ BARVY A BÍLÉ
  - ∈ [0, 1] 0 - BÍLÁ, 1 - SYTÁ
  - NA POLOMĚRU KRUŽNICE
- VALUE - JAS, INTENZITA ∈ [0, 1]
  - NA VÝŠCE KUŽELU

BAREVNÝ KUŽEL



- BARVA SE V HSV MOCKY NEUKLÁDÁ (RGB VĚTŠINOU, CMYK PRO TISK)

RGB → HSV

MIN = MIN(R, G, B); MAX = MAX(R, G, B)

V = MAX, DELTA = MAX - MI

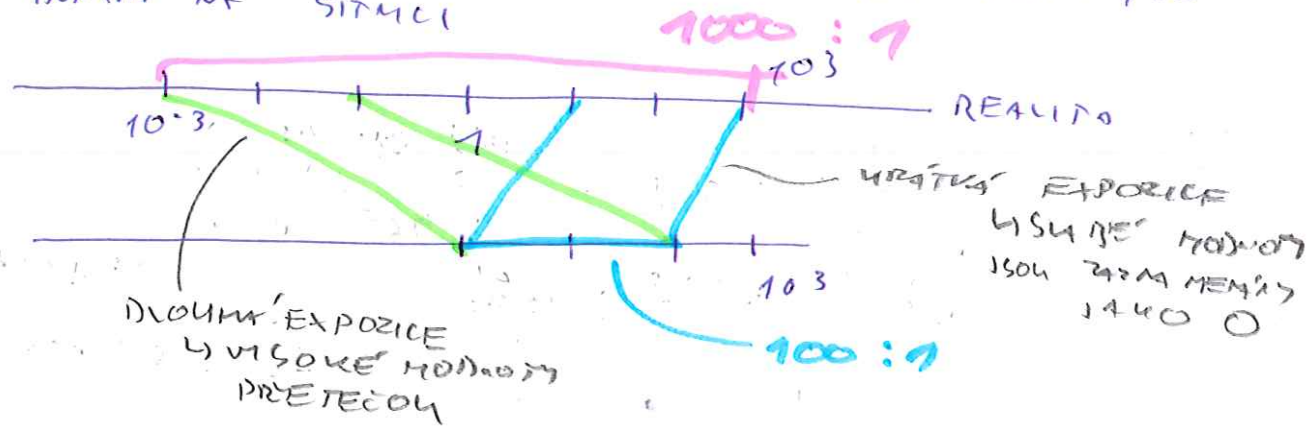
IF(MAX != 0) THEN S = DELTA / MAX

ELSE S = 0

```
IF (DELTA != 0) THEN
    IF (R == MAX) THEN      H = (G-B) / DELTA
    ELSE IF (G == MAX) THEN H = 2 + (B-R) / DELTA
    ELSE                    H = 4 + (R-G) / DELTA
    // PŘEVOD NA STUPNĚ
    H *= 60
    IF (H < 0) THEN         H += 360
```

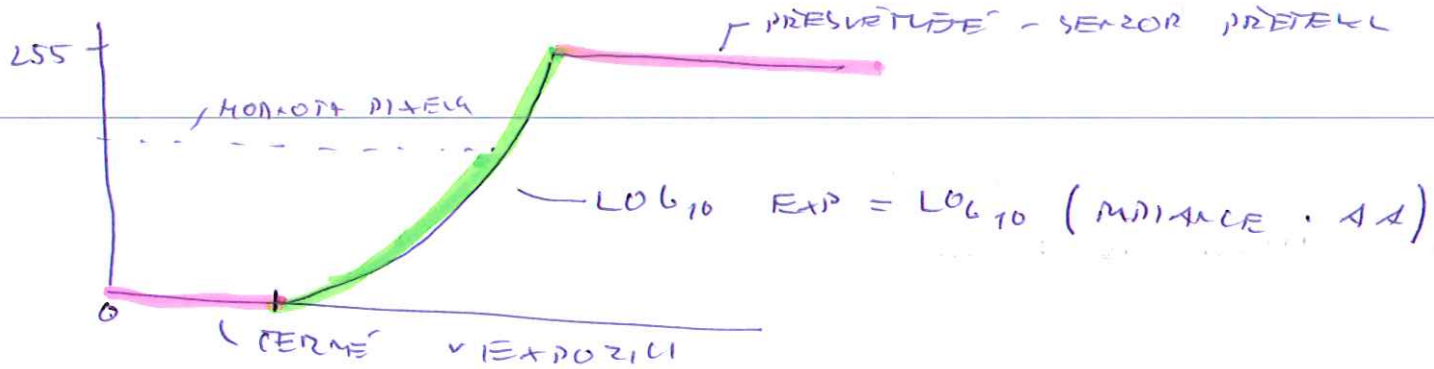
HDR GRAFIKA

- REÁLNÝ SVĚT MÁ VELKÝ DYNAMICKÝ ROZSAH – VYSKYTUJÍ SE V NĚM MODNĚ JASNÉ BARVY (MODNÉ SVĚTLO) I TMAVÁ MÍSTA S VELMI JEMNÝMI ROZDÍLY V INTENZITĚ
  - LIDSKÉ OKO S TÍM UMÍ PRACOVAT, FOTOAPARÁT NE
    - BUĎ DLOUHÁ EXPOZICE → SVĚTLÁ MÍSTA PŘESVĚTLENÁ
    - NEBO KRÁTKÁ EXPOZICE → TMAVÁ MÍSTA JSOU TMAVÁ
  - ZVYŠOVÁNÍ ZORNIČKY OVLIVŇUJE MNOŽSTVÍ SVĚTLA, CO DOPADÁ NA SÍTNICI



- HDR GRAFIKA – PIXELY UKLÁDÁME JAKO FLOATING POINT ČÍSLA
  - NEJČASTĚJI FLOAT 96 BITŮ NA PIXEL
  - ↳ VELKÝ DYNAMICKÝ ROZSAH
  - ↳ MOŽNOST DROMÁDĚT VÍC ÚDAJŮ NA OBRÁZKU BEZ TAKOVÉHO ZKRESLENÍ
- POŘÍDIT HDR OBRAZ JE SLOŽITÉ KVŮLI FYZIKÁLNÍM OMEZENÍM SENZORU
  - ↳ UMÍSTIT FOTOAPARÁT NA STATIV, MĚŘIT SI EXPOZICI, CO SE MOC NEHÝBE A VYFOTIT JI NĚKOLIKRÁT
    - ↳ S RŮZNOU DÉLKOU EXPOZICE (CITLIVOST SENZORU) A ± RŮZNOU ISO
      - 1/1000 s – 2 s
      - MIN. –2 EV, 0, +2 EV
  - ↳ EV ... EXPOZIČNÍ ČÍSLO
  - ↳ NEMĚNIT PŘI EXPOZICI CLONU – TA OVLIVŇUJE HLOUBKU OSTROSTI
- VÍC FOTEK PAK SKLÁDAT V PROGRAMU
- MŮŽU UMĚLE RENDEROVAT HDR OBRAZ

KŘIVKA CITLIVOSTI SENZORU (CCD SENZOR)



↳ V HDR SE POSKLÁDÁ VÍC ZELENÝCH KŘIVEK ZA SEBE, POSTUPNĚ SE POKRYJE CELÝ ROZSAH SKUTEČNÉHO OBRÁZKU

- FORMÁT PIXELU RGBE (EXPONENT) (.HDR)
  - ↳ ÚSPORNÉ - 4B NA PIXEL
  - ↳ VELKÝ ROZSAH UKLÁDÁ EXPONENT → 1 SPOLEČNÝ EXPONENT PRO VŠECHNY BAREVNÉ SLOŽKY, BAREVNÉ SLOŽKY ULOŽENY STANDARDNĚ (1B)
  - ↳ TA NEJVYŠŠÍ Z NAMS E NEBO NORMALIZUJE DO INTERVALU $(\frac{1}{2}, 1)$ → TO ČÍM SE TAM NORMALIZUJE PAK URČÍ EXPONENT

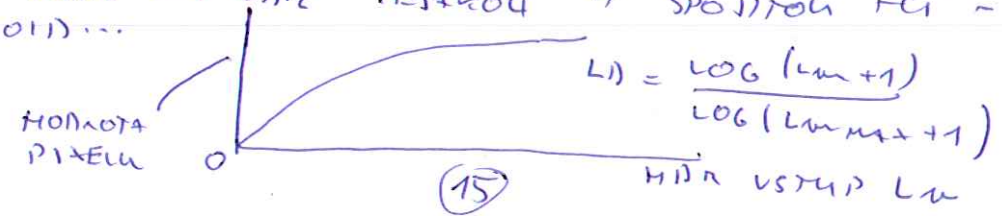
PŘ. $[0{,}3,\ 0{,}02,\ 0{,}01]$ ⇒ $[0{,}6,\ 0{,}04,\ 0{,}02] \cdot 2^{1}$ (0,3 DO $(\frac{1}{2}, 1)$)

→ $[153,\ 10,\ 51,\ 127]$ — 127 ~ (-1) VE DVOJKOVÉM DOPLŇKU

- OPENEXR (.EXR) - HDR FORMÁT VYVINUTÝ FIRMOU INDUSTRIAL LIGHT AND MAGIC - GEORGE LUCAS
- PORTABLE FLOAT MAP (PFM)
  - ↳ JEDNODUCHÝ FORMÁT PODOBNÝ PBM
  - ↳ TEXTOVÁ HLAVIČKA + PAK BINÁRNÍ DATA

PŘEVOD HDR → LDR - TONE MAPPING

- TRANSFORMACE CELÉ ORIGINÁLNÍ ŠKÁLY DO LDR
- ZOBRAZIT HDR OBRAZ NA MONITORU S OMEZENOU DYNAMIKOU
- CHCEME ZACHOVAT KRESBU (= LOKÁLNÍ KONTRAST) VE TMAVÝCH I SVĚTLÝCH PARTIÍCH
- MŮŽE VYTVÁŘET PŘESYCENÉ BARVY A MROZNĚ OSTRÉ BAREVNÉ ZLOMY
- GLOBÁLNÍ OPERÁTOR
  - PŘEVOD HDR → LDR NĚJAKOU 1 SPOJITOU FCÍ - EXPONENCIÁLA SIGMOID...



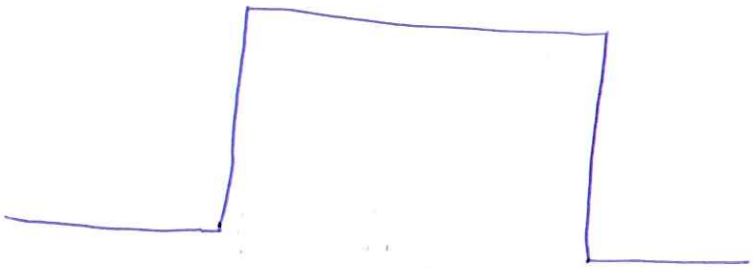
$$L_D = \frac{\log(L_w + 1)}{\log(L_{w\,max} + 1)}$$

- GAMA KOMPRESE

$L_d = L_w^{\gamma}$

↳ V RGB BY TO UTLUMILO BARVY, LEPŠÍ PŘEVÉST DO SYSTÉMU S ODDĚLENOU JASOVOU SLOŽKOU A KOMPRIMOVAT JEN JAS (HSV)

- LOKÁLNÍ OPERÁTORY



HDR

LDR

↳ CHCI ZACHOVAT HRAM → UDĚLÁM NĚJAKOU JAKOUSI TRANSFORMACI, KOLEM OBJEKTŮ (TMAVÝCH) MI VZNIKNOU SVĚTLÁ HÁLA

GAMMA KOREKCE

LIDSKÉ VNÍMÁNÍ INTENZITY ZRAKOVÉHO STIMULU
↳ SEDÝ ODSTÍN MÁ JEDINÝ ATRIBUT - INTENZITU - TO JE FYZIKÁLNÍ VELIČINA A ☺ JI NEVNÍMÁ (POČET FOTONŮ)
↳ ČLOVĚK VNÍMÁ JAS - STIMULUS VZNIKLÝ NA SÍTNICI A PŘEMĚNĚNÝ ZRAKOVÝM SYSTÉMEM A ZPRACOVÁNÍM
↳ JAS JE SUBJEKTIVNÍ VJEM

↳ VNÍMÁNÍ JASU NENÍ LINEÁRNÍ - VNÍMÁNÍ JE QUALITIVNÍ, PRAH CITLIVOSTI U ZDRAVÉHO OKA JE CCA 1% - ČLOVĚK DOKÁŽE ROZLIŠIT ODSTÍN, KTERÝ SE LIŠÍ ALESPOŇ O 1%
↳ VELKÁ DYNAMIKA LIDSKÉHO OKA

↳ GEOMETRICKÁ ŘADA 1,01 → URČUJE POČET ODSTÍNŮ, KTERÝ ☺ VNÍMÁ

↳ INTENZITA VNÍMANÁ ČLOVĚKEM BY MĚLA BÝT ZOBRAZOVÁNA NA LOGARITMICKÉ STUPNICI !

- PŘÍSTROJ MÁ MINIMÁLNÍ JASOVOU INTENZITU (NEJMENŠÍ JAS JEŠTĚ ODLIŠITELNÝ OD ČERNÉ A PAK DELNÝ POČET ODSTÍNŮ ZKONSTRUOVANÝCH TA, ABY BYLY TVOŘILY LOGARITMICKOU STUPNICI - ABY SE SOUSEDNÍ 2 LIŠILY RELATIVNĚ O NĚJAKOU MULTIPLIKATIVNÍ KONSTANTU

$I_j = I_0 \cdot r^{j}$

j TÝ ODSTÍN, I_0 MINIMÁLNÍ JASOVÁ INTENZITA

↳ PRO 256 ODSTÍNŮ (REPREZENTOVATELNÝCH) JE KOEF. $r = 1{,}8\%$

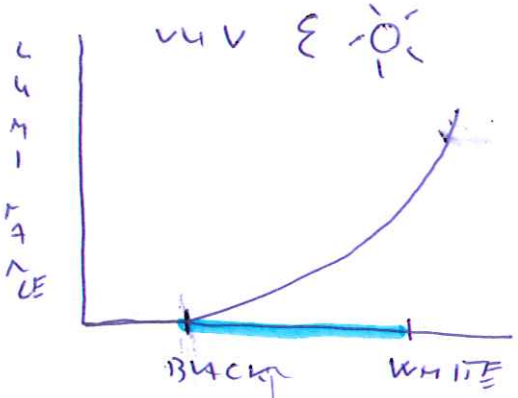
CRT MONITOR

- STARÝ, HLUBOKÝ MONITOR, PŮVODCE POJMU GAMMA KOREKCE

$$I = k(V + \varepsilon)^{\gamma}$$

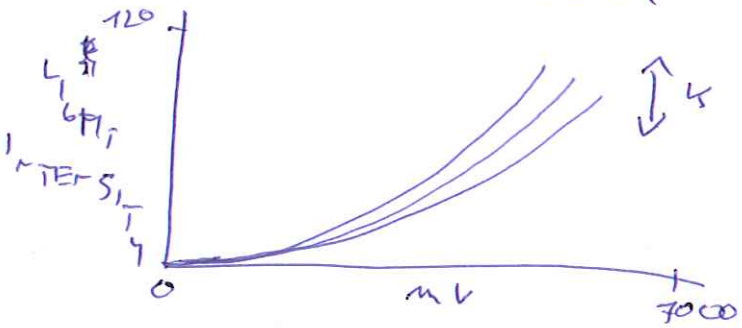
- k – FYZIKÁLNĚ DANÁ KONSTANTA
- I – ZOBRAZENÁ INTENZITA (JAS)
- V – NAPĚTÍ PŘIVEDENÉ DO MONITORU
- ε – PROMĚNNÁ – OVLÁDACÍ PRVEK „JAS" (BLACK LEVEL)
- γ – PROMĚNNÁ – OVLÁDACÍ PRVEK KONTRASTU (PICTURE)

VLIV ε



↳ ZMĚNOU ε SE USTANÍ HODNOTY 0 - 255 POSOUVAJÍ PO TÉ KŘIVCE

↳ ε JE TŘEBA NASTAVIT TAK, ABY BYLY EFEKTIVNĚ VYUŽITY NEJTMAVŠÍ ODSTÍNY, CO MONITOR DOKÁŽE ZOBRAZIT

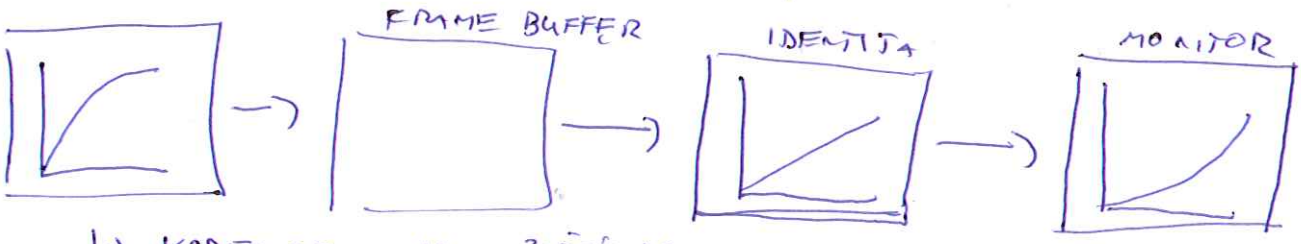


VLIV k

↳ STRMOST KŘIVKY

- DATA SE UKLÁDAJÍ V PIXELECH V OMEZENÉM ROZSAHU 0 - 255 – VÍME, ŽE BUDOU ZOBRAZOVÁNY MONITOREM PODLE FCE $k(V+\varepsilon)^{\gamma}$, CHCEME, CO NEJLÉPE VYUŽÍT K ULOŽENÍ ROZSAH 0 - 255 – PŘED ULOŽENÍM JE TŘEBA PROVÉST INVERZNÍ GAMA KOREKCI – UMOCNIT NA $\frac{1}{\gamma}$

- MĚLO BY TO VYPADAT TAKTO:



↳ KOREKCE NA ZAČÁTKU

- V POČÍTAČOVÉ GRAFICE SE TO DĚLÁ ŠPATNĚ:

↳ PŘI ULOŽENÍ SE PLÝTVÁ MOŽNÝMI HODNOTAMI – ROZMEZÍ 0–255 MÁ DOBŘE NAMAPOVÁNO NA LIDSKÝM OKEM ZOZEZNATELNÉ ODSTÍNY

↳ INVERZNÍ GAMMA KOREKCE SE UDĚLÁ AŽ TĚSNĚ PŘED ZOBRAZENÍM V GPU

- HW VŠECH CRT MONITORŮ MÁ STEJNOU GAMMA – NEDÁVÁ SMYSL KORIGOVAT GAMMA PŘI PŘENOSU OBRÁZKU Z 1 MONITORU NA 2.

ZÁKLADY REPRODUKCE BAREV ?

REDUKCE BAREVNÉ PALETY ?

3) RASTERIZACE

ZÁKLADY RASTROVÉHO VYKRESLOVÁNÍ ČAR

ÚSEČKA

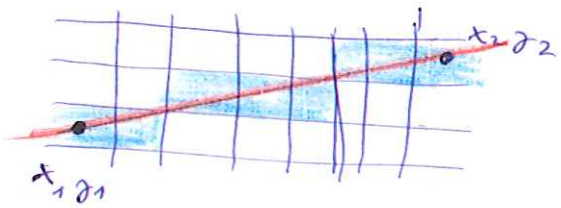
↳ TAKHLE BY ČÁRA VYPADALA V NĚKTERÝCH MÍSTECH PRUSTÝ

↳ TAKHLE JE TO SPRÁVNĚ

DDA – DIGITAL DIFFERENCE ALGORITHM

- SPOČÍTÁ SMĚRNICI ČÁRY, V KAŽDÉ ITERACI JI PŘIČÍTÁ K INTERNÍMU COUNTERU, JAKMILE COUNTER PŘEKROČÍ HRANICI PIXELŮ, ZVÝŠÍ y SOUŘADNICI

$$dy = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$ – SMĚRNICE



- VÝHODA – JEDNODUCHÁ IMPLEMENTACE
- NEVÝHODY – POTŘEBUJE FLOATING ČI FIXED POINT ČÍSLA → MŮŽOU VYUŽÍVAT NEPŘESNOSTI A NESTABILITY V DŮSLEDKU AKUMULOVACÍCH CHYB

VOID LINEDDA (INT x_1, INT y_1 INT x_2, INT y_2, COLOR COLOR)

PŘEDPOKLADY: $x_1 < x_2$ $\quad |y_2 - y_1| < |x_2 - x_1|$

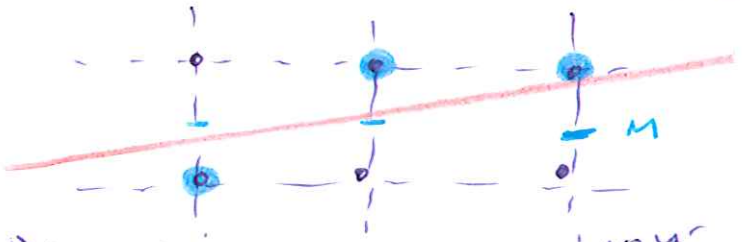
TJ SMĚRNICE ≤ 1

↳ FUNKČNÍ IMPLEMENTACE BY MĚLO ŘEŠIT PŘÍPADY SMĚRNICE > 1 – SYMETRICKÝ – PROHOZENÉ ROLE x a y

```
FLOAT y = y1;
FLOAT Dy = (y2 - y1) / (x2 - x1)
PUT PIXEL (x1, y1, COLOR)
  WHILE (x1 < x2) {
      x1++;
      y += Dy
      PUT PIXEL (x1, ROUND(y), COLOR);
  }
}
```

BRESENHAMŮV ALGORITMUS (MIDPOINT ALG)

- CHCE SE ZBAVIT DĚLENÍ, CELÝ SE ODEHRÁVÁ V CELÝCH ČÍSLECH, VYHÝBÁ SE NEPŘESNOSTEM
- CHYBA E – POKUD JE VĚTŠÍ NEŽ POLOVINA VZDÁLENOSTI MEZI STŘEDY PIXELŮ, y SOUŘADNICE SE ZVÝŠÍ



$Dx = x_2 - x_1$

$Dy = y_1 - y_2$

NOVÁ CHYBA

$$E' = E + \frac{dy}{dx} \leq M = \frac{1}{2} \quad / \cdot 2Dx$$

(ROZŠÍŘIT, ABYCHOM SE ZBAVILI ZLOMKŮ)

$$2Dx\,E' = 2Dx \cdot E + 2Dy \leq Dx \quad / -Dx$$

$$Dx(2E' - 1) = Dx(2E - 1) + 2Dy \leq 0$$

$D' := Dx(2E' - 1)$

$D := Dx(2E - 1)$

$$D' = D + 2dy \leq 0$$

POROVNÁVÁM S 0 JE ODTIMÁLNĚJŠÍ

D ... DECISION – ROZHODOVACÍ ČLEN

INICIALIZACE:

$D_0 = 2dy - Dx$

KROK:

$D \leq 0 \Rightarrow D' = D + 2Dy \qquad y' = y$

$D > 0 \Rightarrow D' = D + 2Dy - 2Dx \qquad y' = y + 1$

↳ JEDNOKROKOVÉ ALGORITMY – KRESLÍ 1 PIXEL V 1 KROKU

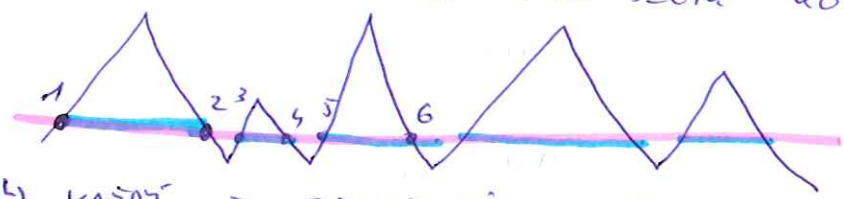
↳ VÍCE KROKOVÉ SE NEUVAŽUJÍ

VYPLŇOVÁNÍ MNOHOÚHELNÍKA V ROVINĚ

- MNOHOÚHELNÍK – JE ZADÁN MNOŽINOU BODŮ (USPOŘÁDANOU) A MNOŽINOU ÚSEČEK MEZI BODY – NEUSPOŘÁDANOU
  - MŮŽE BÝT: SIMPLE (KONVEXNÍ, KONKÁVNÍ)
    - NON-SIMPLE POLYGON – HRANY SE MOHOU KŘÍŽIT
- VYBARVENÍ – PARITNÍ – VYBARVIT BODY, CO POJEDU PO VŠEMI POČTU PŘEKROČENÍ HRAN
  - SMYSLEM OBTOČENÍ – INDEX BODU NA KŘIVCE – POKUD JE ≥ 1, BOD SE VYBARVÍ

SLANLIME ALGORITMUS (ŘÁDKOVÝ ALGORITMUS)

- VYBARVUJE MNOHOÚHELNÍK PO ŘÁDCÍCH
- PRACUJE SE SEZNAMEM AKTIVNÍCH HRAN
  - ↳ TY, PŘES KTERÉ PRÁVĚ PROCHÁZÍ ŘÁDEK, PODLE KTERÉHO SE KRESLÍ
  - 3 STAVY HRANY: NEVYUŽITÁ → AKTIVNÍ → POUŽITÁ
- PŘIPRAVÍ SE SEZNAM VŠECH NEVODOROVNÝCH HRAN (VODOROVNÉ LZE ZAHODIT) REPREZENTOVANÝCH:
  - SOUŘADNICE „VYŠŠÍHO" KONCOVÉHO BODU $[x, y]$
  - VÝŠKA HRANY (Δy) V PIXELECH dy
  - SMĚRNICE HRANY $\Delta xy = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}$
  - ↳ HRANY SE SEŘADÍ LEXIKOGRAFICKY – PODLE y PAK PODLE x, PAK PODLE Δxy
- POSTUPUJEME ŘÁDEK PO ŘÁDCE
  - ZKONTROLUJEME, ZDA NEPOTKÁME NOVOU HRANU, CO BY MĚLA BÝT PŘIDÁNA DO SEZNAMU AKTIVNÍCH HRAN
  - KROK NA DALŠÍ ŘÁDEK – PRO AKTIVNÍ HRANY SE DEKREMENTUJE dy -- POKUD $dy = 0$, HRANA UŽ NENÍ AKTIVNÍ, JE POUŽITÁ, JINAK $x += \Delta xy$ – POSLEDNÍ SI PRŮSEČÍK KOUSEK PO HRANĚ



↳ KAŽDÝ Z OZNAČENÝCH PRŮSEČÍKŮ KORESPONDUJE S PRÁVĚ 1 AKTIVNÍ HRANOU → AKTIVNÍ HRANY LZE URČOVAT SETŘÍDĚNÍM PODLE x ZLEVA DOPRAVA
↳ PAK LZE PODLE PARITNÍHO PRAVIDLA SNADNO VYKRESLOVAT

- POKUD POLYGON NENÍ SIMPLE – HRANY SE MOHOU KŘÍŽIT – JE TŘEBA SEZNAM AKTIVNÍCH HRAN DŘÍVE ZOTÁT PODLE x
- VÝPOČET POKRAČUJE, DOKUD JE SEZNAM AKTIVNÍCH HRAN NEPRÁZDNÝ, POKUD JE PRÁZDNÝ, MUSÍ BÝT PRÁZDNÝ I SEZNAM VŠECH HRAN, JINAK BY NOVÉ HRANY NEMĚLY KDE NAVAZOVAT

VYPLŇOVÁNÍ PODLE STUDNĚ OBTOČENÍ

- ORIENTUJEME HRANY POLYGONU – NAPŘ. JAKO BYCHOM MO OBCHÁZELI PO SMĚRU HODINOVÝCH RUČIČEK – JELIKOŽ HRANY REPREZENTUJEME MOMÁM BODEM A SMĚRNICÍ, NĚKTERÉ (TY CO VEDOU „NAHORU") JSME PRO TUTO REPREZENTACI „OTOČILY" – POZNÁMENÁME SI U HRANY +, POKUD BYLA „OTOČENÁ", – JINAK – A OTOČENÝM OBLAST ZAČÍNÁ, A OSTATNÍM KONČÍ
- POŘÍDÍME SI COUNTER – PŘEKRAČUJEME-LI + HRANU → INKREMENT.
  - HRANA → DEKREMENT
  - ↳ URČUJE, V KOLIKA JSME OBLASTECH → POKUD COUNTER != 0, VYBARVUJEME
- ŠRAFOVÁNÍ POD ÚHLEM
  - SITUACI OTOČÍM, POUŽIJI SCANLINE A OTOČÍM ZPĚT
- VYPLŇOVÁNÍ VZOREM
  - SCANLINE S BITMAPOU MÍSTO ÚSEČKY

ANTIALIASING

- ZAMAZOVÁNÍ ZUBATÝCH OKRAJŮ V RASTROVÝCH OBRÁZCÍCH
- PIXEL JE PLOŠKA → APROXIMUJEME, JAKOU PLOCHOU KRESLENÝ ÚTVAR ZASAHUJE DO PLOCHY PIXELU A PODLE TOHO SE URČÍ ODSTÍN PIXELU
- ZVĚTŠUJE SE PROSTOROVÉ ROZLIŠENÍ NA ÚKOR BAREVNÉHO
  ↳ ZÁLEŽÍ, ŽE MÁME MNOHEM VĚTŠÍ ROZLIŠENÍ, ALE POTŘEBUJEME K TOMU MNOHEM MÉNĚ ODSTÍNŮ BAREV

JAK TO KRESLIT

- DDA ALG. – INKREMENTOVAL JSI O SMĚRNICI, PAK JSI ZAOKROUHLIL NA CELÉ ČÍSLO A VYKRESLIL PŘÍSLUŠNÝ PIXEL → POKUD BY SE MEZAOKROUHLILO A VYKRESLILY SE OBA SOUSEDNÍ PIXELY V POMĚRU JASŮ ODPOVÍDAJÍCÍ DESETINNÉ ČÁSTI ~~[illegible]~~ J → ANTIALIASING
- SCANLINE – PŮVODNĚ VYKRESLOVAL VŠECHNY PIXELY SE STŘEDEM NAPRAVO OD IDEÁLNÍ ÚSEČKY – MOHL BY VYKRESLIT I SOUSEDNÍ PIXELY S ODSTÍNEM DANÝM VZDÁLENOSTÍ
- SUPERSAMPLING
  - PŘEDSTAVÍM SI, ŽE MÁM PIXEL ROZDĚLENÝ NA MENŠÍ SUBPIXELY, KRESLÍM BEZ ANTIALIASINGU – ZJISTÍM, DO KOLIKA Z NICH KRESLENÝ ÚTVAR ZASAHUJE – KOLIK Z NICH BY BYLO VYBARVENO A TO MI URČÍ POMĚR ODSTÍNU BARVY
  ↳ PRO SLOŽITĚJŠÍ ÚTVARY BY BYLO TĚŽKÉ PŘIJÍT S ANALYTICKÝM PŘÍSTUPEM

4) ZÁKLADY 3D GRAFIKY

MATICOVÉ TRANSFORMACE A HOMOGENNÍ SOUŘADNICE

- POSUN, OTOČENÍ, ZVĚTŠENÍ, ZMENŠENÍ, SKOSENÍ
- ROVNOBĚŽNÁ A PERSPEKTIVNÍ PROJEKCE
- BUDE JICH PROVÁDĚNO MNOHO (MILIONY) – MUSÍ JÍT RYCHLE SPOČÍTAT, SNADNO IMPLEMENTOVAT, DÁT SE SNADNO ZŘETĚZIT A INVERTOVAT
- NABÍZÍ SE LINEÁRNÍ MATICOVÉ ZOBRAZENÍ – TEMI ALE NEJDE REPREZENTOVAT POSUNUTÍ – NENÍ TO LIN. ZOBRAZENÍ

↳ ZAVÁDÍ SE HOMOGENNÍ SOUŘADNICE

- PROSTOR SE ROZŠÍŘÍ O 1 DIMENZI – ZAMIRUJE SE DO NĚJ BODY V NEKONEČNU, KDE SE PROTNOU ROVNOBĚŽKY

$[x, y] \rightarrow [x, y, 1]$ $\qquad$ $[x, y, w] \rightarrow \left[\frac{x}{w}, \frac{y}{w}\right]$ $\quad w \neq 0$

KARTÉZSKÉ → HOMOGENNÍ $\qquad$ HOMOGENNÍ → KARTÉZSKÉ

- BODY, CO MAJÍ $w = 0$ JSOU KARTÉZSKÉ VEKTORY V NEKONEČNU (URČUJÍ SMĚR), KTERÉ V KARTÉZSKÉ SOUŘADNICI NEJDE REPREZENTOVAT (JAKO BODY)

↳ BODY LZE REPREZENTOVAT VE STEJNÉM SYSTÉMU JAKO VEKTORY, PRŮSEČÍKY ROVNOBĚŽEK JSOU VEKTORY

↳ $[x, y, w]$ – SPOJNICE BODU S POČÁTKEM, KDE PROTNE BOD, BODY VE VÝŠCE 0 – VODOROVNÉ ROVINĚ – NEMAJÍ ODPOVÍDAJÍCÍ KARTÉZSKÉ BODY

HOMOGENNÍ TRANSFORMAČNÍ MATICE (2D)

(PRO NÁSOBENÍ ŘÁDKOVÉHO VEKTORU ZPRAVA UVEDENOU MATICÍ)

POSUNUTÍ (TRANSLACE)

$$T(x, y) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix}$$

OTOČENÍ

$$R(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

SCALING

$$S(S_x, S_y) = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

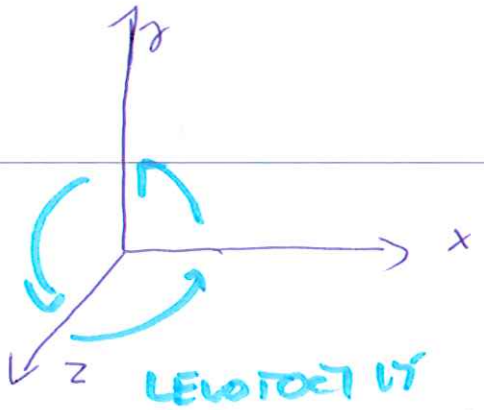
SKOSENÍ (SMEAR)

$$SM(a, b) = \begin{bmatrix} 1 & a & 0 \\ b & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

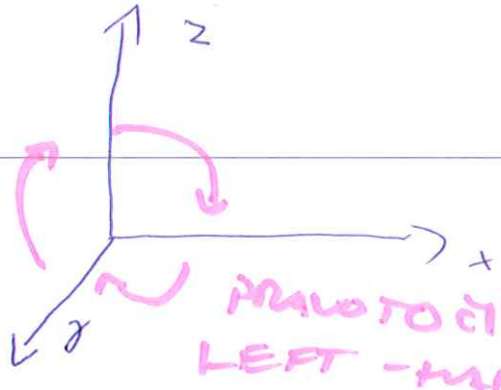
SLOŽENÍ TRANSFORMACE

$$(((([x, y, w] \cdot T_1) \cdot T_2) \cdot T_3) = [x, y, w] \cdot (T_1 \cdot T_2 \cdot T_3)$$

↳ LZE PŘEDPOČÍTAT MATICI SLOŽENÉ TRANSFORMACE A PAK JI APLIKOVAT NA VŠECHNY TRANSFORMOVANÉ BODY → → EFEKTIVNĚJŠÍ



LEVOTOČIVÝ
RIGH-HANDED



PRAVOTOČIVÝ
LEFT-HANDED

2 SOUŘADNÉ SYSTÉMY, ORA SE POUŽÍVAJÍ

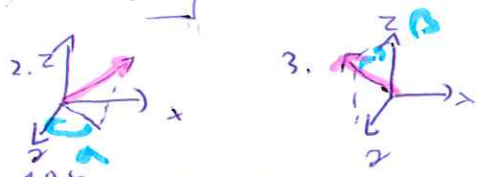
OTOČENÍ KOLEM OSY y

$$R_y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & 0 & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha & 0 & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

OTOČENÍ KOLEM OSY z

$$R_z(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

PŘENOS POLOPŘÍMKY DO OSY z



1. POSUNUTÍ DO POČÁTKU
2. OTOČENÍ KOLEM OSY z TAK, ABY KOLMÝ PRŮMĚT z DO ROVINY x, y LEŽEL NA OSE y
3. OTOČENÍ KOLEM OSY x, ABYCH SE DOSTAL DO KLADNÉ ČÁSTI OSY z

ZRCADLOVÉ PŘEVRÁCENÍ PODLE DANÉ ROVINY

$$\text{MIRR}(A, n) = \underbrace{M(A, n)}_{\text{PŘENOS DO z}} \cdot \underbrace{S(1, 1, -1)}_{\text{ZRCADLOVÉ PŘEVRÁCENÍ PODLE z}} \cdot \underbrace{M(A, n)^{-1}}_{\text{PŘENOS ZPĚT}}$$

PŘEVOD MEZI STEJNĚ ORIENTOVANÝMI SOUŘADNÝMI SYSTÉMY

- TRANSLACE DO POČÁTKU
- MATICE PŘECHODU – VEKTORY s, t, n SI VYTÁHNU Z SOUŘADNICÍCH x, y, z A VYPÍŠU DO ŘÁDKŮ MATICE

- ORTONORMÁLNÍ MATICE $R^{-1} = R^T$
  - ↳ REPREZENTUJÍ TRANSFORMACE VZNIKLÉ POUZE OTOČENÍM A POSUNUTÍMI – RIGID BODY TRANSFORM
  - PŘEDMĚT SE NEDEFORMUJE

ZOBRAZOVACÍ PROJEKCE

- KOLMÉ PROJEKCE
  - MONGEOVA (MÁRYS, PŮDORYS, BOKORYS)
  - AXONOMETRIE
    - PRŮMĚTNA JE V NĚJAKÉ OBECNÉ POLOZE V PROSTORU, PROJEKCE JE URČENA JEJÍM ÚHLEM
      - ↳ PRŮMĚTNA MÁ 3 VZDÁLENOSTI NA SOUŘADNÉM KŘÍŽI x, y, z → 3 STEJNÉ → ISOMETRIE
      - 2 STEJNÉ → DIMETRIE
      - 3 RŮZNÉ → TRIMETRIE
- KOSOÚHLÉ PROJEKCE
  - KABINETNÍ PROJEKCE
    - KRESLÍM KRYCHY NA PAPÍR – OSY Z – MĚŘÍTKO ZMĚNÍM NA $\frac{1}{2}$ A NATOČÍM JI POD ÚHLEM (30°, 45° – PARAMETR PROJEKCE
  - KAVALÍRNÍ PROJEKCE
    - OSU Z NATOČÍM POD ÚHLEM, ALE NEMĚNÍM MĚŘÍTKO
- STŘEDOVÉ (PERSPEKTIVNÍ) PROMÍTÁNÍ

TŘEBA DEFINOVAT:

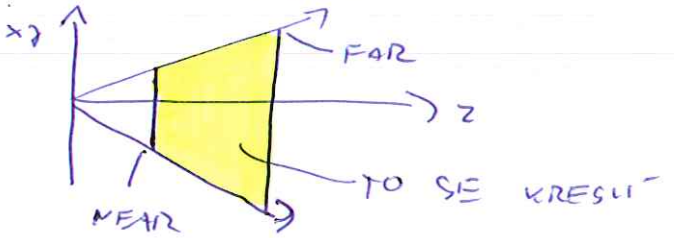
- STŘED PROJEKCE S (POZICI POZOROVATELE)
- SMĚR POHLEDU $\vec{N}$ (NORMÁLOVÝ VEKTOR NA PRŮMĚTNU)
- VZDÁLENOST PRŮMĚTNY OD STŘEDU PROJEKCE d
- SVISLÝ VEKTOR (UP VEKTOR) $\vec{U}$ – KOLMO NA SPOJNICI OČÍ POZOROVATELE – NAMAPUJE S OTOČENÍM OBRÁZKU V PRŮMĚTNĚ

- PAPRSKY JDOU ZE STŘEDU PROJEKCE
- CELÝ SVĚT SE TRANSFORMUJE TAK, ABY BYL POZOROVATEL V POČÁTKU – DÍVÁ SE VE SMĚRU OSY Z, PRAVOU RUKU MÁ VE SMĚRU X A UP VEKTOR VE SMĚRU Y
- PAK PERSPEKTIVNÍ TRANSFORMACE (ZKRESLENÍ) HOMOGENNÍ MATICÍ

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{d} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

POKUD V TOMHLE SLOUPCI MÁM 0010, JE TO NĚJAKÁ PERSPEKTIVNÍ MATICE

ZORNÝ KVÁDR



TRANSFORMACE LINEÁRNÍCH ÚTVARŮ V PERSPEKTIVĚ

$$PER(A + t\cdot[B-A]) = PER(A) + t\cdot[PER(B) - PER(A)]$$

↳ JEDNOTLIVÉ ÚSEKY ÚSEČKY SE PROMÍTNOU NA MESTEJNÉ DVOUMĚ ÚSEKY NA PRŮMĚTNĚ

↳ PROBLÉMY PRO POČÍTÁNÍ VIDITELNOSTI A MAPOVÁNÍ TEXTUR – POTŘEBUJEME LINEARITU I PŘI PERSPEKTIVNÍM ZOBRAZENÍ

↳ POUŽÍVÁ SE PERSPEKTIVNĚ KOREKTNÍ (HYPERBOLICKÁ) INTERPOLACE

- CHTĚLI BYCHOM LINEÁRNÍ PROCESS NA PRŮMĚTNĚ (NAPŘ. DDA), ALE KVŮLI MÝM UVEDENÉMU NEMŮŽEME PŘÍMO NĚKTERÉ VELIČINY LINEÁRNĚ INTERPOLOVAT

$$u = \left(\frac{u}{z}\right)\cdot z \qquad v = \left(\frac{v}{z}\right)\cdot z \qquad z = \left(\frac{1}{z}\right)^{-1}$$

TYTO VELIČINY JIŽ LZE LINEÁRNĚ INTERPOLOVAT

- ZOBRAZ KVÁDR – V PERSPEKTIVNÍM ZOBRAZENÍ ZŮSTÁVAJÍ ŘEZY ROVINY KOLMÉ NA SOUŘADNÉ OSY V HOMOGENNÍM PROSTORU
- SPECIÁLNÍ TRANSFORMACE MATICE PRO NORMÁLOVÉ VEKTORY $n = (n\ 1)^T$

KVATERIONY

- REPREZENTACE PLYNULÉ ROTACE TĚLESA V ČASE
- VARIANTOU JE EULEROVA TRANSFORMACE – LIBOVOLNÁ ROTACE VYJÁDŘENÁ 3 ÚHLY HEAD (YAW), PITCH A ROLL
- MATICE ROTACE MUSÍ BÝT ORTONORMÁLNÍ
- MEZI POLOHAMI BYCHOM CHTĚLI INTERPOLOVAT – NAIVNĚ BY ŠLO DĚLAT LINEÁRNÍ INTERPOLACI V PROSTORU ÚHLŮ, PRO VELKÉ ZMĚNY ÚHLŮ TO ALE NEVYPADÁ DOBŘE –)
- REPREZENTACE ORIENTACÍ POMOCÍ KVATERIONŮ
- ROZŠÍŘENÍ KOMPLEXNÍCH ČÍSEL O DALŠÍ 2 IMAGINÁRNÍ SLOŽKY

$$q(v, w) = ix + jy + kz + w = \underbrace{v}_{\text{IMAGINÁRNÍ}} + \underbrace{w}_{\text{REÁLNÁ}}$$

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

- NÁSOBENÍ MEZI KOMPLEXNÍMI JEDNOTKAMI NENÍ KOMUTATIVNÍ

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1$$
$$jk = -kj = i$$
$$ki = -ik = j$$
$$ij = -ji = k$$

- KVATERIONY TVOŘÍ TĚLESO
- KONJUGACE $(v, w)^* = (-v, w)$
- NORMA $\|q\|^2 = q q^* = x^2 + y^2 + z^2 + w^2$
- PŘEVRÁCENÁ HODNOTA $q^{-1} = q^* / n(q)$

JEDNOTKOVÉ KVATERIONY

$x^2 + y^2 + z^2 + w^2 = 1$

↳ KAŽDÝ TAKOVÝ KVATERION LZE ZAPSAT

$$q = u_q \sin \varphi + \cos \varphi$$

PRO NĚJAKÝ 3D VEKTOR u_q A ÚHEL φ

↳ TAKOVÝ KVATERION PAK REPREZENTUJE ROTACI O ÚHEL φ OKOLO OSY u_q ($\pm q$ JE STEJNÁ ROTACE)

- 4D OBJEKT KVATERION UMOŽŇUJE HEZKY REPREZENTOVAT ROTACI VE 3D PROSTORU

BOD VE 3D $p = [p_x, p_y, p_z, 0]$ – LZE CHÁPAT JAKO KVATERION ČI BOD V HOMOGENNÍM PROSTORU

$p' = q p q^{-1} = q p q^*$ / PROTOŽE q JE JEDNOTKOVÝ KVATERION ROTACE

↳ PRO $q = (u_q \sin \varphi + \cos \varphi)$ JE TO ROTACE OKOLO u_q O 2φ

- APLIKACE KVATERIONŮ – INTERPOLACE ROTACÍ – SLERP
SPHERICAL LINEAR INTERPOLATION

$$\mathrm{SLERP}(q, r, t) = q (q^* r)^t$$

$t \in \mathbb{R}$ $t \in [0, 1]$ q, r ... KVATERIONY, ORIENTACE NA ZAČÁTKU A NA KONCI

↳ ROTACE PO NEJKRATŠÍ SPHERICAL ARC – VYPADÁ TO PRŮMĚRNĚ

↳ SLERP LZE DĚLAT I KDYŽ JE ROTACE REPREZENTOVÁNÁ MATICÍ $\mathrm{SLERP}(Q, R, t) = Q (Q^T R)^t$

↳ PROBLÉM JE, ŽE NELZE EFEKTIVNĚ SPOČÍTAT OBECNOU MOCNINU MATICE

↳ ZATÍMCO KVATERIONY LZE MOCNINU EFEKTIVNĚ

$$q^t = (u_q \sin \varphi + \cos \varphi)^t = u_q \sin t\varphi + \cos t\varphi$$

↳ MATICE SE POUŽÍVAJÍ K MASOVÉ APLIKACI ROTACE NA BODY (DOBŘE SE KOMBINUJÍ, APLIKUJÍ NA BODY, GPU S NIMI UMÍ PRACOVAT)

↳ KVATERIONY SE POUŽÍVAJÍ, KDYŽ JE TŘEBA SNADNO INTERPOLOVAT ČI SKLÁDAT

ANIMAČNÍ KŘIVKY

- ŘÍDÍCÍ BODY (KEY FRAMES u ANIMACE) – BODY, KTERÝMI MÁ KŘIVKA či ANIMACE PROJÍT, MEZI NIMI SE INTERPOLUJE ČI APROXIMUJE

- INTERPOLACE – HLADKÝ OBJEKT MUSÍ PROCHÁZET PŘÍMO ŘÍDÍCÍMI BODY (NAPŘ. CATMULL – ROM SPLINE)
- APROXIMACE – HLADKÝ OBJEKT NEMUSÍ ŘÍDÍCÍMI BODY PROCHÁZET PŘÍMO – B-SPLINE APROXIMACE

SPOJITOST

- G - SPOJITOST (GEOMETRICKÁ)
  - JDE O VZHLED V PROSTORU, NE O RYCHLOST POHYBU PO KŘIVCE

  G^0 JEDNOUCHÁ SPOJITOST

  G^1 SPOJITOST 1. DERIVACE (TEČNÁ)

  ⋮
- C - SPOJITOST (ANALYTICKÁ)
  - JDE O RYCHLOST POHYBU PO KŘIVCE

  C^0 SPOJITOST – NESKÁČE TO VČASE (NEVEDOPRU JE SE (SPOJITÁ DRÁHA)

  C^1 SPOJITOST – SPOJITÁ RYCHLOST – NEMĚNÍ SE SKOKOVĚ

  C^2 SPOJITOST – SPOJITĚ ZRYCHLENÍ
- FREE FORM CURVES (EDITING)
  - MÝBLÁTKA NA TEČNY, ŘÍDÍCÍ BODY
  - PODMÍNKA LOKALITY – ZMĚNA V ŘÍDÍCÍM BODU SE PROJEVÍ POUZE LOKÁLNĚ I KOLEM TOHO BODU

PARAMETRICKÝ TVAR KŘIVKY

$u \in [0,1]$ PARAMETR (ZAČÁTEK A KONEC KŘIVKY)

$$\underbrace{P(u)}_{\text{BOD NA KŘIVCE}} = \sum_{i=0}^{N-1} \underbrace{w_i(u)}_{\text{VÁHOVÁ FCE}} \underbrace{P_i}_{\text{ŘÍDÍCÍ BOD}}$$

- VÁHOVÁ FCE MUSÍ SPLŇOVAT CAUCHYHO PODMÍNKU

$$\sum_{i=0}^{N-1} w_i(u) = 1 \qquad \forall u$$

- PAK JE JEDNO, JESTLI NEJPRVE INTERPOLUJI KŘIVKU ŘÍDÍCÍMI BODY A PAK TRANSFORMUJI KŘIVKU, NEBO NEJPRVE TRANSFORMUJI ŘÍDÍCÍ BODY A PAK JIMI INTERPOLUJI KŘIVKU
- VLASTNOST KONVEXNÍHO OBALU – KAŽDÝ BOD KŘIVKY LEŽÍ V KONVEXNÍM OBALU ŘÍDÍCÍCH BODŮ.

SPLINE - FUNKCE

- JSOU PO ČÁSTECH POLYNOMIÁLNÍ, VÍC POLYNOMIÁLNÍCH FCÍ SLEPENÝCH TAK, ABY V BODĚ SPOJENÍ BYLA ZACHOVÁNA $n-1$ C SPOJITOST PRO STUPEŇ POLYNOMU n

PARAMETRICKÝ ZÁPIS KŘIVKY, CO JE POLYNOMEM STUPNĚ n

$$P(t) = T \cdot C = [t^n \dots t, 1] \cdot \begin{bmatrix} x_n & y_n & z_n \\ x_{n-1} & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_0 & y_0 & z_0 \end{bmatrix}$$

MATICE C SE MYŠLENKY ROZDĚLÍ NA 2 MATICE

$$C = M G = [m_{ij}]_{i=n\ j=1}^{0,2} \cdot \begin{bmatrix} G_1 \\ \vdots \\ G_2 \end{bmatrix}$$

↳ KOEFICIENTY

↳ ŘÍDÍCÍ BODY, TEČNÉ VEKTORY

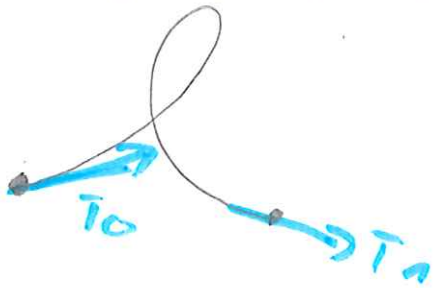
$$P(t) = T G M$$

↳ DRŮŽENNĚJŠÍ ZÁPIS, JSOU V NĚM VIDĚT VĚCI CO ZADÁVÁ UŽIVATEL

FERGUSON CURVE (CUBIC)

$$F(t) = [t^3, t^2, t, 1] \cdot [M] \cdot \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ T_0 \\ T_1 \end{bmatrix}$$

- POČ. A KONC. BOD
- TEČNA NA ZAČÁTKU A NA KONCI



JAKO BY T_0 BYL VEKTOR RYCHLOSTI NA ZAČÁTKU A T_1 VEKTOR RYCHLOSTI NA KONCI A JÁ CHCI, ABY BOD DOPLUL Z P_0 DO P_1, ALE MUSÍ SE VYPORÁDAT SE SVOU POČ. A KONC. RYCHLOSTÍ

↳ MYŠLENKY ALE NECHCI UŽIVATELE MÍT, ABY ZADÁVAL PŘÍMO TEČNÉ VEKTORY

↳ CHCEME TEČNY DOPOČÍTAT:

1) KUBANEK - BARTELS CUBIC

- VZOREČEK, CO UMOŽŇUJE DOPOČÍTAT TEČNU V BODĚ P_i NA ZÁKLADĚ BODŮ P_{i-1} A P_{i+1}
- 3 DALŠÍ PARAMETRY
  - t ... TENSION - JAK OSTRÁ MÁ BÝT KŘIVKA V BODĚ P_i
  - c ... CONTINUITY - SPOJITOST RYCHLOSTI
  - b ... BIAS - ZATÁČKA ZAČÍT PŘED BODEM / V BODĚ / ZA BODEM

2) CATMUL - ROM SPLINE

$$T_i = \frac{1}{2} \cdot (p_{i+1} - p_{i-1})$$

↳ AB SOUČINE SYMETRICKÉ, MIN MÁLÝ DEFORMAČNÍ ENERGIE

3) CARDINAL SPLINE

$$T_i = a \cdot (p_{i+1} - p_{i-1}) \qquad 0 \leq a \leq 1$$

BÉZIER CURVES (B-SPLINES)

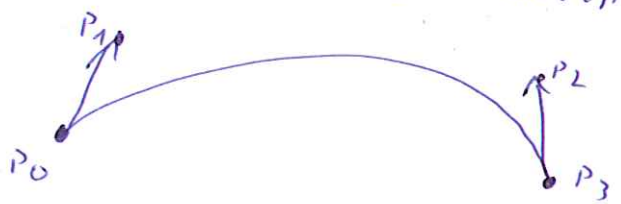
- JAKO VÁHOVÁ FCE SLOUŽÍ BERNSTEINŮV POLYNOM

$$B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \qquad i \in \mathbb{N}_0 \quad 0 \leq i \leq n \quad 0 \leq t \leq 1$$

↳ PLATÍ PRO NĚJ CAUCHYHO PODMÍNKA → BLENDING CURVES

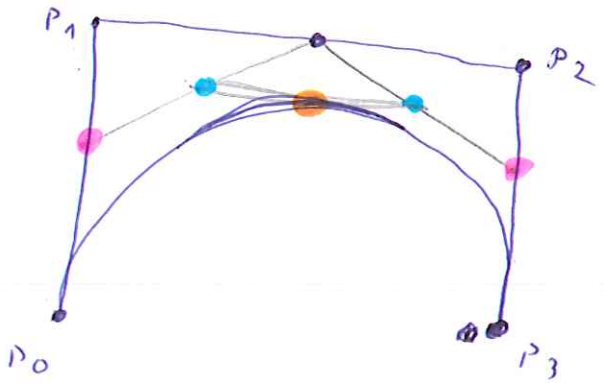
n ... STUPEŇ POLYNOMU

- KŘIVKA DANÁ 4 BODY - P_0 a P_3 URČUJÍ POČ. A KONC. BOD, P_1 a P_2 URČUJÍ TEČNY



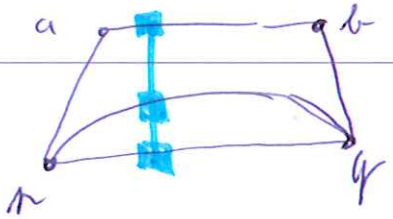
- SPOJOVÁNÍ KŘIVEK
  - PRO G_1 SPOJITOST STAČÍ, ABY TŘÍ BODY URČUJÍCÍ TEČNY V BODĚ SPOJE LEŽELY NA PŘÍMCE, PRO C_1 SPOJITOST JE NAVÍC TŘEBA, ABY LEŽELY STEJNě DALEKO OD SPOJE
- KVADRATICKÝ B-SPLINE
  - URČEN 3 BODY - POČ. KONC A SPOLEČNÁ TEČNA
  - ZTRÁCÍ SE LOKALITA EDITOVÁNÍ

DE CASTELJAU (DE BOOR) ALGORITMUS
- KONSTRUKCE BODU NA BÉZIEROVĚ KŘIVCE
- SUB DIVISION ALGORITMY



- KOEFICIENT (TADY $\frac{1}{2}$)
  ↳ V JAKÉ ČÁSTI KŘIVKY CHCI, ABY BOD LEŽEL
- BOD KŘIVKY JE ZÁKLADE B-SPLINE

SPLINE INTERPOLATION OF QUATERIONS



- a, b, p, q - QUATERIONY
- 3 SLERP INTERPOLACE a, b a q a MEZI VÝSLEDKY

REPREZENTACE 3D SCÉNY

OBJEMOVÉ REPREZENTACE

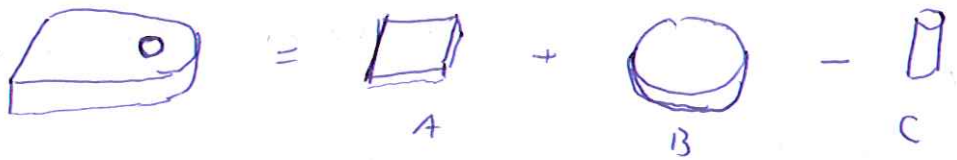
- JE PŘÍMO DEFINOVÁN OBJEM TĚLES, MŮŽU SE ZEPTAT, ZDA BOD LEŽÍ UVNITŘ TĚLESA
- GRAFICKÉ KARTY TYPICKY PRACUJÍ POUZE S POVRCHY, OBJEMOVÉ REPREZENTACE NEUMÍ PŘÍMO ZOBRAZOVAT

OKTANOVÁ MŘÍŽKA

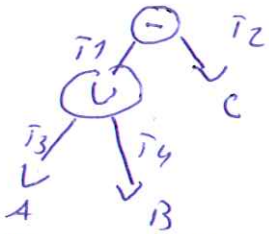
- 3D MŘÍŽKA - VOXELY (VOLUME ELEMENT) - KAŽDÝ MŮŽE MÍT JINÝ MATERIÁL VOXELU
- OPTIMALIZACE - OKTANOVÝ STROM - OCT TREE
  - ↳ ROZŠÍŘENÍ QUAD TREE DO 3D
  - ↳ VYKRESLOVÁNÍ - PERSPEKTIVA URČÍ POŘADÍ VOXELŮ

CSG CONSTRUCTIVE SOLID GEOMETRY

- RAY-TRACING
- MATEMATICKY DEFINOVANÁ ELEM. TĚLESA, MNOŽINOVÝMI OPERACEMI SE Z NICH SKLÁDAJÍ SLOŽITĚJŠÍ ÚTVARY
+ PROSTOROVÉ TRANSFORMACE - MATICOVÉ



CSG STROM



- TRANSFORMACÍ MATICE M MIRAMÍCH CSG STROMU - ZDOLA NAHORU Z POD ŘAZENÝCH SOUŘADNÝCH SYSTÉMŮ DO NADŘAZENÝCH
  - ↳ BÝVÁ SE PRO EFEKTIVITU UKLÁDAJÍ I INVERZNÍ TRANSFORMACE
- ELEMENTÁRNÍ TĚLESA JSOU ULOŽENY ÚSPORNĚ - V NORMOVANÉM TVARU (NAPŘ. V POČÁTKU), VŠECHNY OSTATNÍ INFO JSOU ULOŽENY V MATICOVÝCH TRANSFORMACÍCH
  KAŽDÝ KVÁDR JE HOMOMORFNÍ JEDNOTKOVÉ KRYCHLI, SPECIÁLNÍ INFO: „JE TO KVÁDR" A PŘÍSLUŠNÁ MATICOVÁ TRANSFORMACE
- MÍSTO STROMU LZE POUŽÍT I DAG
- LEŽÍ BOD UVNITŘ TĚLESA?
  - ↳ MÁM BOD V GLOBÁLNÍM SOUŘADNÉM SYSTÉMU, PROCHÁZÍM STROMEM, BOD TRANSFORMUJI INVERZNÍMI TRANSFORMACEMI, AŽ DO SOUŘADNÉHO SYSTÉMU ELEM. TĚLESA - TO JE V NĚM UMÍSTĚNO TAK, ABY BYLO 3D MOŽNÉ SNADNO ZJISTIT, ZDA V NĚM BOD LEŽÍ

POVRCHOVÉ REPREZENTACE

VH ST VRCHOLY HRANY STĚNY TĚLESA

- REPREZENTUJE MNOHOSTĚN – ROVINNÉ M-ÚHELNÍKY
- VRCHOLY – 3D BODY
- HRANY – DVOJICE ODKAZŮ NA VRCHOLY
- STĚNY – SEZNAMY HRAN
- TĚLESA – SEZNAMY VRCHOLŮ

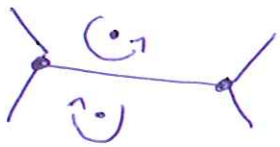
- EFEKTIVNÍ REPREZENTACE
- NEEFEKTIVNÍ ~~MAZÁNÍ~~ OPERACE – MAZÁNÍ, DOSOUVÁNÍ VRCHOLŮ, DĚLENÍ STĚN
  ↳ CHYBÍ MI ODKAZY V NIEČEMU OPAČNÝM SMĚREM

OKRÍDLENÁ HRANA

- TOPOLOGICKÁ DATOVÁ STRUKTURA
- TĚLESA MUSÍ BÝT 2-MANIFOLD – OKOLÍ LIBOVOLNÉHO BODU MUSÍ BÝT LOKÁLNĚ ZOBRAZITELNÉ NA KRUH
  ↳ BOD NESMÍ MÍT VÍC NEŽ 2 SOUSEDNÍ HRANY

ŠPATNÁ HRANA

- HRANY NESOU VŠECHNY POTŘEBNÉ INFO:
  - ODKAZ NA SVÉ 2 VRCHOLY
  - INDEXY SVÝCH 2 STĚN
  - ODKAZY NA 4 DALŠÍ SOUSEDNÍ HRANY
  - STĚNY JSOU ORIENTOVÁNY, HRANY VÍ, ZDA JSOU VŮČI SVÝM STĚNÁM ORIENTOVÁNY SOUHLASNĚ
  - STĚNA MUSÍ MÍT ODKAZ NA ALESPOŇ 1 SVOJI HRANU
  - VRCHOL MUSÍ MÍT ODKAZ NA ALESPOŇ 1 HRANU, CO JÍM PROCHÁZÍ

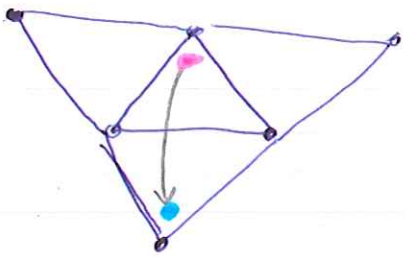


- OBOUSMĚRNÉ SPOJOVÉ SEZNAMY PRO SNADNÉ PROCHÁZENÍ
- VRCHOL – BARVA, TEXTUROVÉ SOUŘADNICE
  - NORMÁLOVÝ VEKTOR
  - SOUŘADNICE V PROSTORU ...
- STĚNA – BARVA, MATERIÁL TEXTURA, NORMÁLA

} ATRIBUTY

CORNER TABLE

- DATOVÁ STRUKTURA OMEZENÁ NA △ A 2-MANIFOLD
- POLE VRCHOLŮ S ATRIBUTY (NORMÁLA, SOUŘADNICE ...)
- TABULKA ROHŮ – ROH MÁ ODKAZ NA:
  - SVŮJ VRCHOL
  - ROH PROTĚJŠÍHO △, CO SOUSEDÍ PŘES PROTILEHLOU HRANU
  ↳ TO STAČÍ K ZREKONSTRUOVÁNÍ SÍTĚ △
  ↳ △ JSOU ZA SEBOU ULOŽENY V POLI
  ↳ JEJICH ROHY JEDEN ZA DRUHÝM



C... ČÍSLO ROMU :

ČÍSLO Δ = C DIV 3

OSTATNÍ ROMY $C.m = (C+1) \bmod 3$

$C.l = (C-1) \bmod 3$

DALŠÍ SOUSEDNÍ Δ $C.l = C.m.O$ – OPOSITE

$C.m = C.l.O$

HIERARCHICKÉ MODELOVÁNÍ

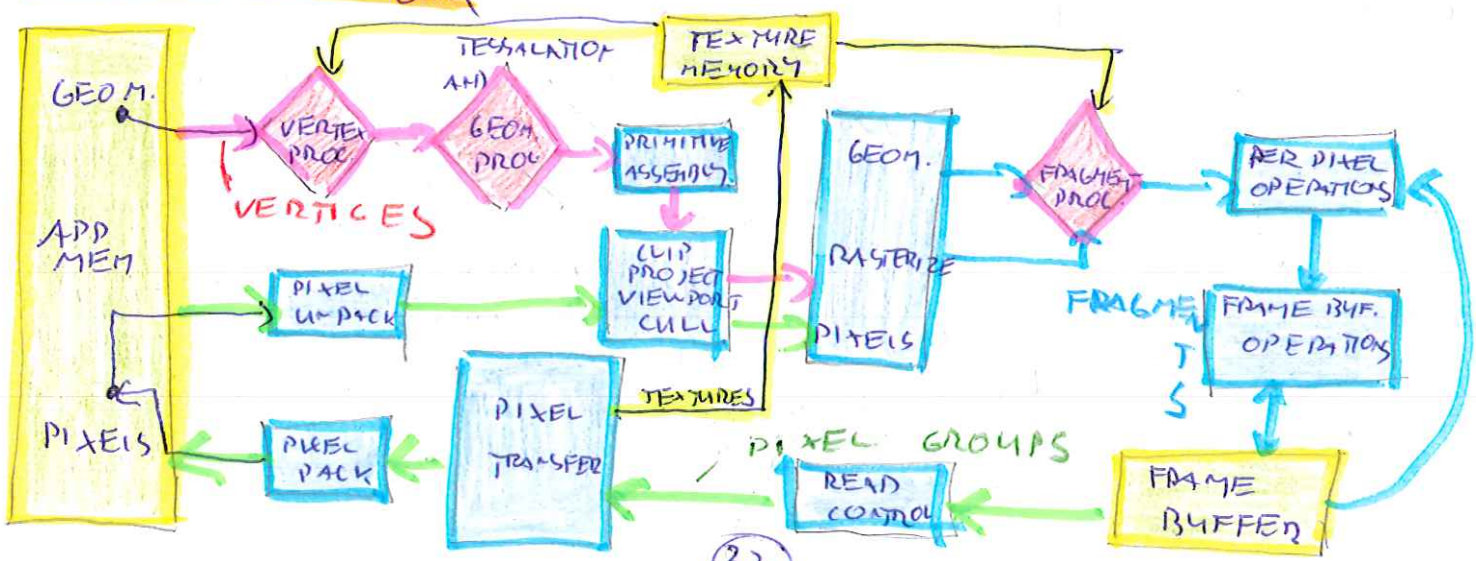
- SESTAVOVÁNÍ OBJEKTŮ Z MENŠÍCH OBJEKTŮ
- INSTANCIOVÁNÍ – VYUŽÍVÁNÍ JIŽ EXISTUJÍCÍCH MODELŮ
- PARAMETRICKÁ KONSTRUKCE – VYUŽITÍ STANDARTNÍCH PRVKŮ (VE SCÉNĚ) S ATRIBUTY, CO OVLIVNÍ JEJICH VZHLED)
- HIERARCHIE UZLŮ, UZLY MAJÍ ATRIBUTY, ATRIBUTY SE DĚDÍ, POTOMCI MOHOU ATRIBUTY PŘEPSAT ČI POUPRAVIT
  - ↳ ATRIBUT – MAPŘ. RELATIVNÍ TRANSFORMAČNÍ MATICE
    - ↳ DEFINUJE POLOHU OBJEKTU VZHLEDEM K NEJBLIŽŠÍMU NADŘAZENÉMU SYSTÉMU – → TĚŽÍTKO NA STOLE
  - ↳ SOUSTAVA HIERARCHICKÝCH TRANSFORMACÍ SE UKLÁDÁ DO STROMU – POSUNUTÍ 1 OBJEKTU ZMĚNÍ 1 TRANS. MATICI, PŘI KRESLENÍ SCÉNY SE MATICE PŘENÁSOBÍ A VŠECHNY OBJEKTY SE POSUNOU SPRÁVNĚ

± DAG MÍSTO STROMU

– SCENE GRAPH
  - ↳ STROM ČI DAG
  - ↳ UZLY – TRANSFORMACE, ZMĚNY ATRIBUTŮ
  - ↳ LISTY – ULOŽENÁ GEOMETRIE – NAPŘ. INDEX, VERTEX BUFFER
  - ↳ RENDERING JE DEFINOVÁN POUZE PRŮCHODEM GRAFEM, NE GRAFEM JAKO TAKOVÝM – JEDNOTLIVÉ UZLY MAJÍ SAMY O SOBĚ MEZEKNOU, CO SE BUDE KRESLIT
  - ↳ AKTUÁLNÍ UZEL SVÉ ATRIBUTY MĚNÍ V ČASE

5) REALTIME 3D GRAFIKA

ARCHITEKTURA GPU



- GPU MEMORY:
  - VERTEX BUFFER – POLE VRCHOLŮ, KAŽDÝ VRCHOL SI PAMATUJE SOUŘADNICE [x, y, z], NORMÁLOVÝ VEKTOR [n_x, n_y, n_z] A TEXTUROVÉ SOUŘADNICE [s, t]
    - ↳ MUSÍM GPU SPECIFIKOVAT, KTERÁ MÍSTA ZNAMENAJÍ CO, TAKY JESTLI MÁM △ A NĚCO JINÉHO
  - INDEX BUFFER – INDEXY DO VERTEX BUFFERU – NAPŘ. TROJICE INDEXŮ MA VRCHOLY, CO TVOŘÍ JEDNOTLIVÉ △
    - ↳ V AMMAKU SE TYPICKY GEOMETRICKÁ DATA V TĚCHO BUFFERECH NEMĚNÍ, MĚNÍ SE TRANSFORMAČNÍ MATICE
  - TRANSFORMAČNÍ BUFFER
- VERTEX PROCESOR (MODUL ZPRACOVÁNÍ VRCHOLU)
  - SEM SE POSÍLÁ PŘELOŽENÝ VERTEX SHADER
    - ↳ MUSÍ DOVNITŘ TRANSFORMOVAT SOUŘADNICE DO CLIP SPACE (VIZ DÁLE) – TYPICKY SE PROVÁDÍ MODELOVACÍ, POHLEDOVÁ I PROJEKČNÍ TRANSFORMACE,
- TESSELATION AND GEOMETRY PROCESOR
- MODUL SESTAVENÍ (PRIMITIVE ASSEMBLY)
  - IDENTIFIKUJE DATA JEDNOTLIVÝCH GRAFICKÝCH PRIMITIV, BALÍČKY DAT (PRO △ TROJICE VRCHOLŮ) PŘEDÁVÁ RASTERIZÉRU
  - PROVÁDÍ OŘEZÁNÍ TOHO, CO LEŽÍ MIMO ZORNÝ OBJEM
  - VIEWPORT TRANSFORMACE – PROJEKCE A OŘEZÁNÍ DO 2D OKÉNKA
  - CULLING – URČENÍ ORIENTACE VRCHOLŮ △ – POKUD JE NATOČENÝ DO SMĚRU MONITORU RUČIČEK, JE VIDĚT, BUDE SE RASTERIZOVAT, JINAK NE...
- RASTERIZACE
  - VYKRESLENÍ, OBARVENÍ JEDNOTLIVÝCH GRAFICKÝCH PRIMITIV
  - VZNIKAJÍ FRAGMENTY – JSOU TO POTENCIÁLNÍ PIXELY
    - ↳ MAJÍ POLOHU, BARVU, HLOUBKU – POTÉ, CO PROJDOU FRAGMENT PROCESOREM, PŘEDTÍM MOHOU MÍT LIBOVOLNÉ ATRIBUTY (NAPŘ. TEPLOTU) – TY PROJDOU RASTERIZÉREM, INTERPOLUJÍ SE ZDE STEJNĚ JAKO BARVA A HLOUBKA, FRAGMENT SHADER PAK MUSÍ DODATEČNÉ ATRIBUTY ZPRACOVAT
  - PERSPEKTIVNĚ KOREKTNÍ INTERPOLACE – HW – RYCHLÁ
- FRAGMENT PROCESOR
  - TEXTURY, OSVĚTLENÍ, MLHA
  - BOTTLENECK
  - GPU SAMO NEUMÍ POLOPRŮHLEDNOST
  - BARVÍ FRAGMENT

SHADERY

- **VERTEX SHADER**
  - ZPRACOVÁVÁ VŠECHNY VRCHOLY
  - TRANSFORMACE – SOUŘADNIC VRCHOLŮ DO CLIP SPACE
    - I NORMÁLOVÝCH VEKTORŮ
  - VÝPOČET TEXTUROVÝCH SOUŘADNIC
  - PŘEDVÝPOČET OSVĚTLENÍ
  - PŘIDAT METADATA DO VRCHOLŮ

  ↳ NEMŮŽE OVLIVNIT
    - POČET VRCHOLŮ (ALE MŮŽE VRCHOL ODTRANSFORMOVAT DO PRYČ)
    - TYP GEOMETRICKÉHO PRIMITIVA – METADATA, K ČEMU JEDNOTLIVÉ VRCHOLY PATŘÍ

- **GEOMETRY SHADER**
  - MÁ K DISPOZICI METADATA DATA O CELÉM VSTUPNÍM GRAFICKÉM PRIMITIVU, MŮŽE SKORO COKOLI – 1 BOD → ČTYŘSTĚN
    - POŠLU POLOHU ČÁSTICE → VYDĚLÁ Z TOHO ČTYŘSTĚN – ZVÝŠÍ VRCHOLY
- **TESSELATION SHADER**
  - ZJEMNĚNÍ UŽ EXISTUJÍCÍ SÍTĚ △
  - SUBDIVISION SURFACES
  - NEMUSÍM POSÍLAT TOLIK △ PO DRÁTĚ SBERNICI MEZI GPU A CPU
- **FRAGMENT SHADER**
  - MYŠLENKY VRACÍ BARVU
  - PO RASTERIZÉRU, BARVÍ FRAGMENT – TEXTURY, VÝPOČET MLHY, ODLIŠNÉ EFEKTY
  - MŮŽE MODIFIKOVAT HLOUBKU, ALE NEDOPORUČUJE SE TO
    ↳ JELIKOŽ JE FRAGMENT SHADER BOTTLENECK, MŮŽE SE VÝPOČET VIDITELNOSTI PŘEDĚLAT FRAGMENT SHADERU, ABY SE ZBYTEČNĚ NEVYBARVOVALY FRAGMENTY, CO NEBUDOU VIDĚT
      ↳ POKUD TU MODIFIKUJI HLOUBKU, VYPNU TÉ OPTIMALIZACI
  - MŮŽE POČÍTAT IMPLICITNÍ SÍTOVÝ
  - NEMŮŽE OVLIVNIT –
    - POČET FRAGMENTŮ
    - POLOHU FRAGMENTU NA OBRAZOVCE

- **SHADER JE PROGRAMOVATELNÁ ČÁST GRAFICKÉ PIPELINE**
  ↳ OVLIVNÍ PIPELINE, CO SE DĚJE V GPU
  ↳ NAPSANÝ VE VYŠŠÍM PROGRAMOVACÍM JAZYCE A PŘELOŽENÝ AŽ ZA BĚHU APLIKACE – ZOPTIMALIZOVÁNÍ PRO KONKRÉTNÍ GPU

TEXTUROVÁNÍ VE FRAGMENT SHADERU
- HW TEXTUROVÉ JEDNOTKY (±16)
- TEXTURA PRO BARVU A PRO NORMÁLY MYŠLENKY SDÍLÍ TEXTUROVÉ SOUŘADNICE

SOUŘADNÉ SYSTÉMY

SOUŘADNICE MODELU (OBJECT SPACE) —MODELING TRANSFORM, POHYB V ANIMACI→ SVĚTOVÉ SOUŘADNICE (WORLD SPACE) →

POHLEDOVÁ TRANSFORMACE MĚNÍ SE PRO KAŽDÝ SNÍMEK V ANIMACI
→ VIEW TRANSFORM → SOUŘADNICE KAMERY (VIEW SPACE) —PROJEKČNÍ TRANSFORMACE→ CLIP SPACE VERTEX SHADER MUSÍ DODAT TYTO SOUŘADNICE →

ORÉZÁNÍ → PERSPEKTIVNÍ DĚLENÍ $\frac{1}{z}$ → NORMALIZOVANÝ PROSTOR (NORMALIZED DEVICE SPACE) —OKÉNKOVÁ (VIEW PORT) TRANSFORMACE→ MĚNÍ SE KDYŽ SE ZMĚNÍ POMĚR STRAN OKNA

→ WINDOW SPACE V SOUŘADNICÍCH PIXELŮ $[x, y, z]$ — HLOUBKA

- VE SVĚTOVÝCH SOUŘADNICÍCH SE DĚLAJÍ VŠECHNY (FYZIKÁLNÍ) SIMULACE
- KAMERA SE MATICÍ UMÍSTÍ, JAK SE MOJÍ (DO POČÁTKU) A SVĚTOVÉ SOUŘADNICE SE PAK TRANSFORMUJÍ DO SOUŘADNIC KAMERY – VIEW TRANSFORM – MĚNÍ SE (TA TRANSFORMAČNÍ MATICE) PRO KAŽDÝ SNÍMEK ANIMACE
- PROJEKČNÍ TRANSFORMACE – PERSPEKTIVNÍ, TAHLE MATICE SE SKORO NIKDY NEMĚNÍ

↳ TRANSFORMACE SE DNES OBEHRÁVAJÍ V SHADERECH, PROGRAMÁTOR MUSÍ ZAJISTIT, ABY PROBĚHLY

ZÁKLADY OPEN GL

- GLSL – GL SHADING LANGUAGE – VYŠŠÍ PROGRAMOVACÍ JAZYK, PÍŠÍ SE V NĚM SHADERY, V DOBĚ BĚHU APLIKACE SE KOMPILUJE PRO KONKRÉTNÍ GPU
- UNIFORM – KONSTANTY, CO SE MALO KDY MĚNÍ – NAPŘ. PROJEKČNÍ TRANSFORMAČNÍ MATICE
- IN – VSTUPNÍ HODNOTY
- OUT – VÝSTUPNÍ
} VARIATE
- FLAT – NEBUDE SE INTERPOLOVAT
- VERTEX SHADER DOSTANE IN HODNOTY Z VERTEX BUFFERU, VŠECHNY TAM ALE TAKY MUSÍ BÝT
- OUT OD VERTEX SHADERU SE PŘEDÁVÁ JAKO IN Z FRAGMENT SHADERU
- TEXTURY SE DO SHADERŮ PŘEDÁVAJÍ JAKO UNIFORMS – HODNOTY JAKO RASTEROVÉ OBRÁZKY
- UNIFORMS SE SHADERŮM PŘEDÁVAJÍ HODNOTY TA ZA VYKRESLOVACÍ DÁVKU (A VOLÍ GL_DRAW_ELEMENTS) – NEMOHOU SE MĚNIT NAPŘ. PRO KAŽDÝ Δ

- UNIFORM - TRANS. MATICE, POLOHA SVĚTELNÉHO ZDROJE...
- MNOŽSTVÍ UNIFORM JE OMEZENO - KVŮLI MAXIMÁLNÍ PARALELISMU
  ↳ KONSTANTY JSOU SDÍLENY VŠEMI JÁDRY, POKUD SE KONSTANTA ZMĚNÍ, ZMĚNA SE MUSÍ ROZDISTRIBUOVAT DO VŠECH JÁDER
- KONSTANT BUFFER - ABY GPU MĚLO TOLIK BLOKOVÁNÍ (PARALELISMUS) - UMOŽŇUJÍ MÍT VÍCE ROZPRACOVANÝCH KRESLÍCÍCH DÁVEK NAJEDNOU
  ↳ HROMADA ŽIDLÍ - SDÍLEJÍ GEOMETRIE, JINÉ TRANS. MATICE
  - CHCI, ABY SE MOHLO KRESLIT VÍC ŽIDLÍ NAJEDNOU, TJ EXISTOVALO NAJEDNOU VÍC VERZÍ KONSTANTY S TRANS. MATICÍ - TO ŘEŠÍ KONSTANT BUFFER
  ↳ POZOR NA PŘETEČENÍ BUFFERU
- TEX TUROVÝ BUFFER

TYPICKÁ ARCHITEKTURA REÁLNÉ 3D APLIKACE

- COLD START
  - GLOBÁLNÍ INICIALIZACE, PROVEDE SE JA NA ZAČÁTKU
  - NASTARTUJE SE OPENGL - JAKÁ GRAFICKÁ KARTA SE POUŽÍVÁ, JAKÉ ROZLIŠENÍ, HLOUBKA, SWAP CHAIN, KOLIK BUFFERŮ
  - NAČTEM TEXTUR
  - KOMPILACE SHADERŮ
- WINDOW RESIZE (JEDNÝ START)
  - REAKCE APLIKACE NA ZMĚNU VELIKOSTI OKNA - JA NA ZAČÁTKU A PAK POKAŽDÉ, KDYŽ SE ZMĚNÍ ROZMĚR OKNA
  - MĚNÍ SE VIEW PORT A PROJEKČNÍ MATICE
- RENDERING LOOP
  - SMYČKA, CO SE OPAKUJE CELOU DOBU BĚHU PROGRAMU
  - 3 KOMPONENTY - TYPICKY SE ZA FRAME ODEHRAJÍ VŠECHNY
    1) PROCESS EVENTS
       - ZPRACOVÁNÍ UDÁLOSTÍ - MYŠ, KLÁVESNICE, SÍŤOVÁ KOMUNIKACE
       - SYNCHRONNĚ ČI ASYNCHRONNĚ
    2) UPDATE (SIMULATE)
       - 1 KROK SIMULACE VIRTUÁLNÍHO SVĚTA
         ↳ SIMULACE REÁLNÝCH FYZIKÁLNÍCH JEVŮ
       - LZE IMPLEMENTOVAT ASYNCHRONNĚ SIMULÁTOR A RENDERER
         ↳ SIMULÁTOR NEMUSÍ BĚHAT TAK ČASTO
    3) RENDERING
       - VYKRESLOVÁNÍ - SVĚT JE PRO NĚJ READ-ONLY
       - CODY OD KRIJE, DOCUMENT-VIEW ARCHITECTURE
         ↳ SIMULÁTOR ZAPISUJE, RENDERER ČTE
- VERTIKÁLNÍ SYNCHRONIZACE GRAFICKÉ KARTY - GPU MÁ REFRESH NAPŘ. 60 HZ. NEMÁ SMYSL ABY SWAPCHAIN DATA AKTUALIZOVAL ČASTĚJI

Z - BUFFER

- VÝPOČET VIDITELNOSTI, ZALOŽENÝ NA JEDNOTLIVÝCH PIXELECH, BEZ JAKÉHOKOLIV TŘÍDĚNÍ
- PIXEL MÁ HLOUBKU - JAK DALEKO JE OD POZOROVATELE, KDYŽ SE KRESLÍ NOVÝ PIXEL, ZKONTROLUJE SE HLOUBKA, POKUD JE BLÍŽE NEŽ UŽ NAKRESLENÝ PIXEL NA DANÝCH SOUŘADNICÍCH, NAKRESLÍ SE
- JEDNODUCHÝ VÝPOČET, MASIVNÍ PARALELISMUS
- NEVÝHODY - BUFFER SE MUSÍ V KAŽDÉM SNÍMKU SMAZAT
  - ZAPISUJE BARVY - ZAHODÍ SE DRÁHY FRAGMENT SHADERU
    - LZE NAPSAT GPU DĚLÁ VÝPOČET VIDITELNOSTI PŘED FRAGMENT SHADEREM - PAK VYBARVUJE POUZE VIDITELNÉ FRAGMENTY
- NEŘEŠÍ POLOPRŮHLEDNOST - POLOPRŮHLEDNÉ OBJEKTY JE TŘEBA KRESLIT OD ZADU DOPŘEDU
- PERSPEKTIVNÍ KOREKNÍ INTERPOLACE $\frac{1}{z}$
- NEPŘÍJEMNÉ ARTEFAKTY PŘI VYKRESLOVÁNÍ STEJNÉ ROVINY - TO JE ALE CHYBA DAT

SPOJITÉ STÍNOVACÍ TECHNIKY

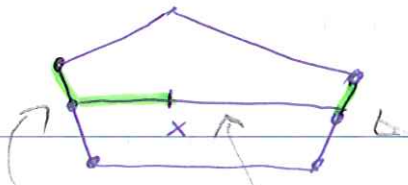
FLAT SHADING

- PRO KAŽDÝ Δ SE SPOČÍTÁ 1 NORMÁLOVÝ VEKTOR (NAPŘ. V TĚŽIŠTI) A VÝSLEDNÝM ODSTÍNEM (SPOČÍTANÝM OSVĚTLOVACÍM MODELEM NA ZÁKLADĚ NORMÁLOVÉHO VEKTORU) SE VYBARVÍ CELÝ Δ
- FUNGUJE DOBŘE U HRANATÝCH TĚLES - ZVÝRAZŇUJE HRANY
- MACHŮV EFEKT - ZRAKOVÝ SYSTÉM ZVÝRAZŇUJE HRANY - DÍKY LATERÁLNÍ INHIBICI
  - BAREVNÝCH PŘECHODŮ - ZVÝRAZŇUJE NEVÝHODY FLAT SHADINGU PRO OBJEKTY, CO MAJÍ PŮSOBIT OBLE

GOURAUDOVA INTERPOLACE BARVY

- OVĚŘENÝ SE SPOČÍTÁ V KAŽDÉM VRCHOLU MNOHOÚHELNÍKU, BARVA SE PAK LINEÁRNĚ INTERPOLUJE DO JEDNOTLIVÝCH PIXELŮ
- FUNGUJE DOBŘE PRO MATNÁ TĚLESA
- DNES BY SE TO POČÍTALO VE VERTEX SHADERU
- POKUD JE MNOHOSTĚN APROXIMACÍ NĚJAKÉHO POVRCHU POPSANÉHO MATEMATICKÝM VZOREČKEM, BYLO BY NEJLEPŠÍ NORMÁLY VE VRCHOLECH SPOČÍTAT PRO TESELACI Z PŮVODNÍCH ANALYTICKÝCH VZOREČKŮ, JINAK APROXIMACE → NORMÁLA VRCHOLU Z PRŮMĚRU NORMÁL SOUSEDNÍCH PLOCH
- NE VŠECHNY HRANY CHCEME ZAMLÁDIT - HRANA MEZI POVSTALOU A PLÁŠTĚM VÁLCE

- BILINEÁRNÍ INTERPOLACE



- DVOJITÁ LINEÁRNÍ INTERPOLACE

INTERPOLUJE SE TADY

- POZOR NA NEDOSTATEČNÉ VZORKOVÁNÍ

- BUDE TO VYPADAT ROVNĚ

- TAKÉ PROBLÉM S LATERÁLNÍ INHIBICÍ ZRAKOVÉHO SYSTÉMU

PHONGOVO STÍNOVÁNÍ - INTERPOLACE NORMÁL

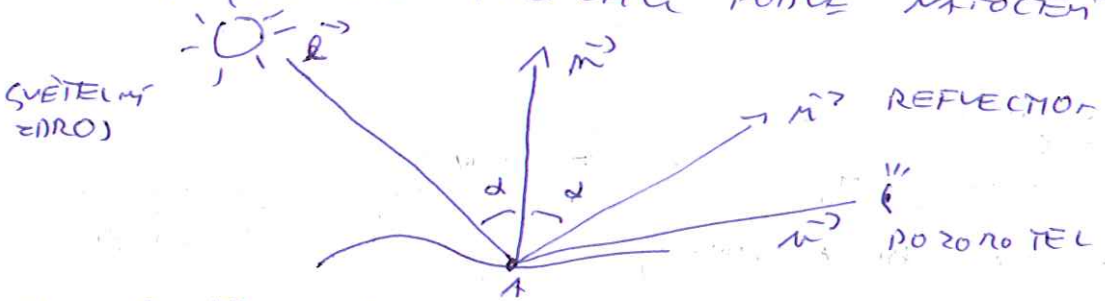
- Z VRCHOLŮ A SE DO JEDNOTLIVÝCH PIXELŮ INTERPOLUJÍ NORMÁLY, OSVĚTLENÍ SE POČÍTÁ PRO KAŽDÝ PIXEL ZVLÁŠŤ
- NEVÝHODA - NORMÁLU V KAŽDÉM PIXELU MUSÍME NORMALIZOVAT - VÝPOČETNĚ NÁROČNÉ

6| FOTOREALISTICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ A VÝPOČTY OSVĚTLENÍ

PHONGŮV OSVĚTLOVACÍ MODEL

= LOKÁLNÍ MODEL ODRAZU SVĚTLA

- SHADING - JAK OBARVIT PLOCHU PODLE NATOČENÍ V PROSTORU



- VEKTORY $\vec{n}$, $\vec{l}$ a $\vec{n}$ LEŽÍ V 1 ROVINĚ - KOLMÉ NA POVRCH TĚLESA, VEKTOR $\vec{n}$ OBECNĚ NELEŽÍ V TÉTO ROVINĚ
- ČÁST SVĚTLA SE ZTRATÍ, ČÁST ODRAZÍ
- GLOSSY REFLECTOR - NEDOKONALÝ LESKLÝ ODRAZ

PHONGŮV MODEL DEFINUJE 3 SLOŽKY OSVĚTLENÍ

1) DIFUZNÍ SLOŽKA $E_D = I_j \cdot C_D \cdot k_D \cdot \cos\alpha$

- ROZPTYL ZPŮSOBENÝ TÍM, ŽE NĚKTERÉ FOTONY PRONIKNOU DO MATERIÁLU, TAM SE CHAOTICKY ODRAŽÍ A NĚKTERÉ JSOU PAK VYZÁŘENY ZPĚTKA DO VOLNÉHO PROSTORU

I_j ... ~~BARVA~~ INTENZITA SVĚTELNÉHO ZDROJE

C_D ... BARVA DIFUZNÍ SLOŽKY (BARVA PŘEDMĚTU)

k_d ... KOEF. DIFUZNÍHO SVĚTLA $\in [0, 1]$

↳ JAK MOC JE MATERIÁL DIFUZNÍ

I JE BUĎ SKALÁR - BÍLÉ SVĚTLO, ČI 3 SLOŽKOVÝ BAREVNÝ VEKTOR

2) OKOLNÍ SVĚTLO (AMBIENT LIGHT) $E_A = C_D \cdot k_A$

- V REÁLNÉM SVĚTĚ SE NIKDY NESTANE, ŽE BY ČÁST PŘEDMĚTU NEBYLA VŮBEC OSVĚTLENA – I KDYŽ TAM NEZASÁHNE PŘÍMO PAPRSEK OD ZDROJE, JE PŘEDMĚT OSVĚTLEN SEKUNDÁRNĚ ODRAŽENÝMI PAPRSKY
- NEPOČÍTÁ SE PŘÍMO PROCENTO ODRAŽENÉHO SVĚTLA, E_A JE FYZIKÁLNĚ NEPODLOŽENÁ APROXIMACE

C_D ... BARVA DIFUZNÍ SLOŽKY – BARVA PŘEDMĚTU

k_A ... KOEF $\in [0,1]$ – PROCENTO ODRAŽENÉHO SVĚTLA

- POUZE NEJSPOKOJENĚJŠÍ GLOBÁLNÍ OSVĚTLOVACÍ MODELY DOKÁŽOU SEKUNDÁRNÍ SVĚTLO KOREKTNĚ SPOČÍTAT

3) LESKLÝ ODRAZ $E_S = I_j \, C_S \, k_S \cos^{\lambda} \beta$

- NĚKTERÉ FOTONY SE NA POVRCHU TĚLESA ODRAZÍ
  - ↳ IDEÁLNÍ ZRCADLO → ODRAZ PŘESNĚ VE SMĚRU VEKTORU $\vec{r}$, REÁLNĚ NASTÁVÁ ROZPTYL
  - ↳ PHONG TO CHTĚL JEDNODUŠE APROXIMOVAT:

    $\cos \beta = \vec{r} \cdot \vec{v}$ ... ODCHYLKA VEKTORU $\vec{r}$ OD $\vec{v}$

    ↳ $\cos^{\lambda} \beta$ – ABY TO RYCHLEJI KLESALO

I_j .. INTENZITA SVĚTELNÉHO ZDROJE

C_S ... BARVA LESKLÉHO ODRAZU (RGB)

k_S ... KOEF. LESKLÉHO ODRAZU $\in [0,1]$

λ ... VELIKOST ODLESKU (5...500 CCA)

- ZA C_S SE ČASTO BERE BARVA SVĚTELNÉHO ZDROJE
- I_j MŮŽE BÝT SKALÁR, C_S PAK MUSÍ BÝT $(1,1,1)$
- λ VĚTŠÍ → ODRAZ OSTŘEJŠÍ

OSVĚTLENÍ OD 1 SVĚTELNÉHO ZDROJE

$$E = E_A + E_D + E_S$$

- KONZISTENCE $k_S + k_D + k_A = 1$ – PŘÍSNÉ PRAVIDLO, LZE BRÁT S REZERVOU
  - ↳ MAXIMUM DIFUZNÍHO ODRAZU JE TAM, KDE SVĚTELNÝ ZDROJ STÁT KOLMO NA PŘEDMĚT
  - ↳ MAXIMUM LESKLÉHO ODRAZU JE TAM, KDE SE ÚHEL DOPADU ROVNÁ ÚHLU DOPADU
  - ↳ VÝSLEDEK PRAVDĚ DOJDE NEDŘÍTEĚ 1, PŘÍ MÍRNÉ NEKONZISTENCI

VÍCE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

$$E = E_A + \sum_i \left(E_D + E_S \right)$$

- VÝPOČET ÚHLU ODRAZU

$$\vec{r} = 2\vec{n}(\vec{n} \cdot \vec{l}) - \vec{l}$$

- OPRAVA VZDÁLENOSTI OD ZDROJE

FYZIKÁLNĚ $\frac{1}{d^2}$, V GRAFICE TO MOC DOBŘE NEFUNGOVALO

VOLÍ SE $\frac{1}{c_0 + c_1 d + c_2 d^2}$

c_i ... KONSTANTY VOLENÉ, ABY TO VYPADALO DOBŘE

- BLINOVO ZJEDNODUŠENÍ VÝPOČTU
  - ABY SE NEMUSELO NORMOVAT TOLIK VEKTORŮ, BLIN POSUNE ZDROJ SVĚTLA A POZOROVATELE DO NEKONEČNA A

  COSI BY MAHRANÍ $(\vec{h_i} \cdot \vec{n})^4$ KDE

  $\vec{h_i} = (\vec{l_i} + \vec{v}) / |\vec{l_i} + \vec{v}|$

  DÁNO DIALEKEM

  KONSTANTA

SMĚR K POZOROVATELI

PRINCIP ZOBRAZOVACÍ ROVNICE

INCOMING LIGHT

MATERIAL

$$L_o(x, \hat{\omega}_o) = L_e(x, \hat{\omega}_o) + \int_{S^2} L_i(x, \hat{\omega}_i) f_r(\hat{\omega}_i, \hat{\omega}_o) \cdot |\hat{\omega}_i \cdot \hat{n}| \, d\hat{\omega}_i$$

BOD VE SCÉNĚ

EMMITED LIGHT
↳ SVĚTLO, CO VYLÁZÍ ~~LE BODU~~ BODU X

VŠECHNY SMĚRY, ZE KTERÝCH PŘICHÁZÍ SVĚTLO

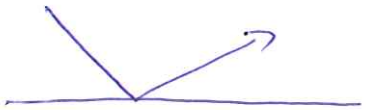
SMĚR, ZE KTERÉHO PŘICHÁZÍ SVĚTLO

JAKÉ SVĚTLO DOPADÁ NA BOD X ZE SMĚRU $\hat{\omega}_o$

UKAZUJE, JAK KOLMO SVĚTLO DOPADÁ NA POVRCH - ČÍM KOLMĚJI, TÍM JE TENTO ČLEN VĚTŠÍ A PŘÍSPĚVEK SVĚTLA VĚTŠÍ

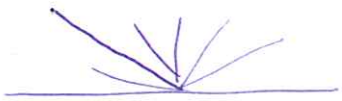
CO POVRCH UDĚLÁ S PŘICHOZÍM SVĚTLEM - JAKO MOC HO ODRAZÍ

- POUŽÍVÁ SE V PATH TRACING - VYSLE PAPRSEK OD POZOROVATELE, NECHÁ HO NARAZIT DO SCÉNY, PAK HO ZKUSÍ RŮZNĚ ZLOMIT - REKURZIVNĚ POKRAČUJE, DOKUD HO NEMIRÍ DO SVĚTELNÉHO ZDROJE



MIRROR

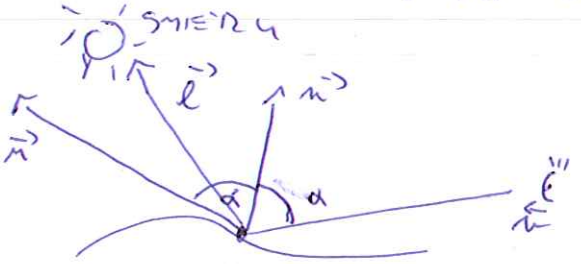
GLOSSY



DIFUSE

ZÁKLADY RAY TRACINGU

- SVĚTLO SE SIMULUJE PROTI JEHO REÁLNÉMU FYZIKÁLNÍMU SMĚRU POHYBU
  - ↳ EFEKTIVNĚJŠÍ – SIMULUJI POUZE PAPRSKY TĚCH FOTONŮ, CO REÁLNĚ DOPADNOU DO OKA POZOROVATELE – PROTOŽE VYSÍLÁM PAPRSKY OD OKA POZOROVATELE
- TESTUJE ZDA NA BOD MŮŽE BÝT SVÍCENO ZE SVĚTELNÉHO ZDROJE – SEKUNDÁRNÍ STÍNOVÁCÍ PAPRSKY – VÝPOČET STÍNŮ
- LOM A ZRCADLOVÉ ODRAZY – REKURZIVNÍ
  - ↳ POKUD JE MATERIÁL NA POVRCHU TĚLESA ALESPOŇ TROCHU LESKLÝ, PŘEDPOKÁDÁ SE DOKONALÝ ODRAZ
  - ↳ LOMY – RECIPROCITA LOMU – ÚHEL JE STEJNÝ V OBOU SMĚRECH → MOHU LOMY SIMULOVAT V OPAČNÉM SMĚRU



VÝPOČET:

- SPOČTU PRŮSEČÍK PAPRSKU SE SCÉNOU
- OD PRŮSEČÍKU POŠLI SEKUNDÁRNÍ STÍNOVÁCÍ PAPRSEK KE SVĚTELNÉMU ZDROJI – V SVĚTELNÉ ZDROJE
- POKUD SEKUNDÁRNÍ PAPRSEK NEMÁ DALŠÍ PRŮSEČÍKY SE SCÉNOU
  - K BARVĚ PIXELU PŘIČTU PŘÍSPĚVEK SVĚTELNÉHO ZDROJE PODLE MĚJAVÉHO MODELU OSVĚTLENÍ (PHONG)
  - POKUD JE LESKLÝ (POVRCH), REKURZIVNĚ SPOČÍTEJ PŘÍSPĚVEK ODRAŽENÉHO PAPRSKU
  - POKUD JE DIFUZNÍ –"– LOMENÉHO PAPRSKU

ŘÍZENÍ HLOUBKY REKURZE

- STATICKÉ – KONSTANTOU
- DYNAMICKÉ – PRIMÁRNÍ PAPRSKY MAJÍ DŮLEŽITOST 1, KAŽDÝ ODRAZ A LOM DŮLEŽITOST SNÍŽÍ NĚJAKÝM KOEF.
  - ↳ TÍM SE ZMENŠUJE PŘÍSPĚVEK K BARVĚ A NAVÍC OMEZÍ HLOUBKU REKURZE
- KOMBINACE – BEZPEČNOSTÍ MECHANISMUS PROTI 100% ODRAZIVÝM POVRCHŮM

VÝPOČET PRŮSEČÍKU S 3D SCÉNOU

- JEDNA Z NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH ČÁSTÍ VÝPOČTU RAY TRACINGU
  - PRŮSEČÍKŮ SE POČÍTÁ HROZNĚ MOC, JEJICH VÝPOČTY SE TRÁVÍ AŽ 95 % ČASU
  - ↳ URYCHLOVACÍ TECHNIKY → POČÍTAT PRŮSEČÍK $O(\log n)$, KDE n JE POČET TĚLES VE SCÉNĚ

VÝPOČET PRŮSEČÍKU PAPRSKU CSG SCÉNOU

- SGG STROM - ELEMENTÁRNÍ TĚLESA V LISTECH, MATICOVÉ TRANSFORMACE NA HRANÁCH
- PAPRSEK SE TRANSFORMUJE INVERZNÍMI TRANSFORMACEMI DO SOUŘADNÉ SOUSTAVY TĚLESA
  - ↳ JE REPREZENTOVÁN BODEM A VEKTOREM $P(t) = P_0 + t \cdot \vec{t_1}$
    - ↳ TRANSFORMUJE SE SNADNO - VEKTOR ZVLÁŠŤ A BOD ZVLÁŠŤ $t \in [0,1]$
  - ELEMENTÁRNÍ TĚLESO JE VE SVÉM SOUŘADNÉM PROSTORU UMÍSTĚNO TAK, ABY SE PRŮSEČÍK URČIL SNADNO
- PRŮSEČÍK NA PAPRSKU STAČÍ REPREZENTOVAT REÁLNÝM ČÍSLEM
  - ↳ PŘESUN 3D MNOŽINOVÝCH OP. DO 1D
  - ↳ PRŮSEČÍKY LZE TAKÉ SE CESTOU NAHORU STROMEM UŽ NEMUSÍ TRANSFORMOVAT, STAČÍ TRANSFORMOVAT PARSEK
- TRANSFORMACE NORMÁLY PRŮSEČÍK JE POUZE PARAMETR NA PAPRSKU
  - ↳ $(M^{-1})^T$
  - ↳ 2 TEČNÉ VEKTORY MÍSTO NORMÁLY

VYPOČTENÝ PRŮSEČÍK MUSÍ MÍT:

- 3D SOUŘADNICE PRŮSEČÍKU
- 2D TEXTUROVÉ SOUŘADNICE - NA POVRCHU TĚLESA
- NORMÁLOVÝ VEKTOR PRO VÝPOČET OSVĚTLENÍ
- PARAMETRICKOU POZICI PRŮSEČÍKU
  - ↳ 1. 3 VĚCI STAČÍ SPOČÍTAT POUZE U REÁLNĚ POUŽITÝCH PRŮSEČÍKŮ - POZDĚJI U STÍNOVACÍCH ČI VRAŽENÉJŠÍ VÍCENÁSOBNÝCH PRŮSEČÍKŮ NEJSOU POTŘEBA

VÝPOČTY PRŮSEČÍKŮ S GEOM. OBJEKTY

- IMPLICITNÍ DO IMPLICITNÍ ROVNICE OBJEKTU DOSADÍME $[x(t), y(t), z(t)]$ Z PARAMETRICKÉ ROVNICE PAPRSKU

ROVINA

$x \cdot x_n + y \cdot y_n + z \cdot z_n + D = 0$ - IMPLICITNÍ ROVNICE ROVINY S NORMÁLOU $[x_n, y_n, z_n]$

$P(t) = P_0 + t_1 t$ - PARAM. ROVNICE PAPRSKU

PRŮSEČÍK PO DOSAZENÍ $t = -(\vec{n} \cdot P_0 + D) / (\vec{n} \cdot \vec{t})$

↳ 3D SOUŘADNICE PRŮSEČÍKU VE SVĚTOVÉM SYSTÉMU

- VÝPOČET 2D SOUŘADNIC PRŮSEČÍKU S NEKONEČNOU ROVINOU (TEXTUROVÁNÍ)
  - ↳ MÍSTO IMPLICITNÍ ROVNICE ROVINY SE ROVINA VYJÁDŘÍ POČÁTEČNÍM BODEM P_0 A DVĚMA POVRCHOVÝMI VEKTORY u a v KOLMÉ MEZI SEBOU

$P_e(u,v) = P_{e0} + \vec{u} \cdot u + \vec{v} \cdot v$

- BOD $[x, y, z]$ V ROVINĚ URČENÝ VE SVĚTOVÉM SOUŘADNÉM SYSTÉMU MJAŘÍM V ~~JAKO~~ ~~V~~ ~~BODY~~ V SOUŘADNICÍCH $\vec{u}$ a $\vec{v}$

$u\,x_u + v\,x_v = x - P_{0x}$

x-OVÉ SOUŘADNICE VEKTORŮ u a v

$u\,y_u + v\,y_v = y - P_{0y}$

y-OVÉ SOUŘADNICE VEKTORŮ u, v

↳ NEZNÁMÉ u, v → SOUSTAVA 2 LIN. ROVNIC

ROVNOBĚŽNÍK

- 3D SOUŘADNICE PRŮSEČÍKU S ROVINOU $[x, y, z]$ → 2D SOUŘADNICE PRŮSEČÍKU S ROVINOU $[u, v]$ → KONTROLA

$0 \le u, v \le 1$ - NAVEZEM PRŮSEČÍK LEŽÍ UVNITŘ ROVNOBĚŽNÍKU

TROJÚHELNÍK

- STEJNĚ JAKO ROVNOBĚŽNÍK, ALE KONTROLA JE $0 \le u, v$, $u + v \le 1$

ROVNOBĚŽNÉ ROVINY

- MAJÍ STEJNÝ NORMÁLOVÝ VEKTOR

$t = -((\vec{n} \cdot \vec{P_0}) + D) / (\vec{n} \cdot \vec{r})$

TO JE PRO VŠECHNY ROVNOBĚŽNÉ ROVINY STEJNÉ

↳ STAČÍ SPOČÍTAT +D A VYDĚLIT

KONVEXNÍ MNOHOSTĚN

= PRŮNIK K PODPROSTORŮ

- KAŽDÝ PODPROSTOR OMEZÍ INTERVAL JEDNÍM (t_{in}) ČI DRUHÝM SMĚREM (t_{out})
- BUĎ SE PROJDE VŠECHNY ROVINY, ČI SE SKONČÍ NA $t_{in} > t_{out}$

PAMĚŤ [K]

$t_{in} = -\infty$ $t_{out} = \infty$

FOR (i=0, i<K, i++)

t = PRŮSEČÍK PAPRSKU S ROVINOU K

IF (P(t) KONČÍ PRŮNIK PAPRSKU S PODPROSTOREM)

$t_{out} = \min(t_{out}, t)$

ELSE (ZAČÍNÁ)

$t_{in} = \max(t_{in}, t)$

IF ($t_{in} > t_{out}$) {BREAK}

PROMĚNNÁ t_{in} PAK OBSAHUJE PARAMETRICKOU POZICI PRŮSEČÍKU

IMPLICITNÍ PLOCHA

- JE URČENÁ NĚJAKOU FCÍ – VZOREČKEM $F(x, y, z) = 0$
  - ↳ Z PARAM. ROVNICE PAPRSKU DOSADIT DO IMPLICITNÍ ROVNICE $F(x, y, z) = 0$ → ROVNICE PRO NEZNÁMOU α
    - ↳ ZAJÍMÁ NÁS NEJMENŠÍ KLADNÝ REÁLNÝ KOREN
- POKUD JE F POLYNOM STUPNĚ d PLOŠE SE ŘÍKÁ ALGEBRAICKÁ PLOCHA STUPNĚ d
  - ↳ PRACUJEME SE SMÍŠENÝMI POLYNOMY!

$$A(x, y, z) = \sum_{i,j,k=0}^{i+j+k \in d} a_{ijk} x^i \cdot y^j \cdot z^k = 0$$

  - ↳ DO TÉTO KATEGORIE SPADNOU
    - KOULE $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$
    - VÁLEC $x^2 + y^2 - 1 = 0$
    - KUŽEL $x^2 + y^2 - z^2 = 0$
- MÁ-LI POLYNOM F STUPEŇ 2, ŘÍKÁ SE PLOŠE KVADRIKA
  SMÍŠENÝ POLYNOM STUPNĚ 2 LZE VYJÁDŘIT JAKO
  $x^T Q x$ (KDE Q JE 4×4 MATICE KOEFICIENTŮ A $x^T = [x, y, z, 1]$
- ROTAČNÍ KVADRIKA – SPECIÁLNÍ PŘÍPAD KVADRIKY, KDY SE MNOHO KOEF. OMEZUJE NA 0 ČI 1
  - ↳ VZNIKÁ ROTACÍ ROVINNÉ KŘIVKY KOLEM OSY Z
- PRŮSEČÍK S OBECNĚJŠÍ KVADRIKOU
  - ↳ PROTÍNÁ SE PAPRSEK A ROTAČNÍ PLOCHA
  - ↳ PAPRSEK SE TRANSFORMUJE DO KVADRATICKÉ KŘIVKY A HLEDÁ SE PRŮSEČÍK Z KŘIVEK V ROVINĚ
  - ↳ PAPRSEK BUDE POPSÁN IMPLICITNĚ, ROTAČNÍ PLOCHU BYCHOM CHTĚLI POPSANOU PARAMETRICKY

PLANAR TEST POINT VS POLYGON

- POLYGON DEFINOVÁN POSLOUPNOSTÍ VRCHOLŮ $V_1 \dots V_n$
- DEFINICE VNITŘKU MNOHOÚHELNÍKU
  1. ODD – EVEN RULE
     - ↳ PARITNÍ DEFINICE VENKU → UVNITŘ → VENKU
  2. TOPOLOGICKÁ DEF.
     - ROVINA JE ROZDĚLENA UZAVŘENOU ČÁROU NA NĚKOLIK KOMPONENT, Z NICHŽ PRÁVĚ 1 JE NEKONEČNÁ A V NÍ LEŽÍ VŠECHNY BODY MIMO POLYGON
  3. ORIENTOVANÁ HRANICE
     - KAŽDÁ ÚSEČKA MÁ VNITŘNÍ A VNĚJŠÍ STRANU, BODY MOHOU BÝT NAMOMAŘSOBNĚ UVNITŘ

1. PŘÍSTUP – WINDING NUMBER COMPUTATION
   - SPOJÍM BODY V_i, SEČTU ÚHLY MEZI PO SOBĚ JDOUCÍMI SPOJNICEMI
     - SOUČET = 0 → VENKU
     - SOUČET ≠ 0 → UVNITŘ
   - ↳ NEEFEKTIVNÍ

2. PŘÍSTUP – HALF LINE VS POLYGON

- Z TESTOVANÉHO BODU $[x_0, y_0]$ VEDEME LIBOVOLNOU POLOPŘÍMKU
- POČÍTÁME POČET PRŮSEČÍKŮ POLOPŘÍMKY S HRANAMI POLYGONU MODULO 2
  - LICHÝ → BOD UVNITŘ, SUDÝ → MIMO
- MŮŽEME IGNOROVAT:
  - VŠECHNY HRANY VLEVO OD x_0
  - CELÉ NAD y_0
  - CELÉ POD y_0

PRŮSEČÍK S BÉZIEROVOU KŘIVKOU

- BY NEWTONOVA ITERAČNÍ METODA + DIE CASTELJAU ALG

URYCHLOVÁNÍ VÝPOČTU PRŮSEČÍKŮ

- PŘEDPOKLAD: N TĚLES VE SCÉNĚ, STEJNÝ ČAS VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S KAŽDÝM TĚLESEM
- CHCEME $O(\log N)$
- ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ URYCHLOVACÍCH TECHNIK
  - PŘÍSTUPY ZAMEZUJÍCÍ POČET TESTOVANÝCH PAPRSKŮ
    - URYCHLENÍ JEDNOTLIVÉHO TESTU PAPRSEK × TĚLESO
      - OBALOVÁ TĚLESA (BOUNDING VOLUMES)
      - NEVEDE K ASYMPTOTICKÉMU ZLEPŠENÍ, REDUKCE JE POUZE MULTIPLIKATIVNÍ KONSTANTY
    - MÉNĚ JEDNOTLIVÝCH TESTŮ PAPRSEK × TĚLESO
      - BVH (HIERARCHIE OBALŮ)
      - DĚLENÍ PROSTORU (SPACE SUBDIVISION)
  - PŘÍSTUPY REDUKUJÍCÍ POČET TESTOVANÝCH PAPRSKŮ
  - ROBUSTNÉ PAPRSKY

OBALOVÁ TĚLESA (BOUNDING VOLUMES)

- $O(N)$, POUZE REDUKCE KONSTANT
- TĚLESO ZABALÍME DO GEOMETRICKY JEDNODUŠŠÍHO OBALU, SE KTERÝM SE PRŮSEČÍK POČÍTÁ SNÁZE
- PRŮSEČÍK S TĚLESEM POČÍTÁME POUZE POKUD PAPRSEK ZASÁHNE OBALOVÉ TĚLESO
- TRADEOFF – TESNÝ OBAL × SNADNÝ VÝPOČET PRŮSEČÍKU S OBALEM

$$B + A \cdot l \overset{?}{<} l$$

l ... ČAS VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S TĚLESEM

B ... –"– S OBALEM

A ... PRAVDĚPODOBNOST ZASAŽENÍ OBALU

- CHCEME MINIMALIZOVAT A A B

ALG – VÝPOČET PRŮSEČÍKŮ POMOCÍ OBALOVÝCH TĚLES!

- SPOČÍTAT PRŮSEČÍKY SE VŠEMI OBALOVÝMI TĚLESY
- SETŘÍDIT JE VZESTUPNĚ PODLE VZDÁLENOSTI OD POČÁTKU PAPRSKU

↳ V TOM POŘADÍ TESTOVAT NA PRŮSEČÍKY S TĚLESY

BOUNDING VOLUME HIERARCHY

- $O(\log N)$
- VÝHODNÉ PRO STRUKTUROVANÉ SCÉNY S CLUSTERY OBJEKTŮ
- PRO CSG

$$k \cdot B + \sum_{i=1}^{k} p_i l_i \quad i^2 \quad \sum_{i=1}^{k} l_i$$

k – POČET PODTĚLES

B – DOBA VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S OBALOVÝM TĚLESEM

p_i – PRAVDĚPODOBNOSTI ZÁSAHU i-TÉHO PODOBALU, JE-LI ZASAŽEN NADRAZENÝ OBAL

l_i – ČAS VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S OBJEKTEM UVNITŘ OBAL. TĚLESA

- TĚLESA OPATŘENÉ OBALY, PAŠMI OBALY SLOUČENÉ DO CLUSTERŮ
- AUTOMATICKÁ KONSTRUKCE BVH POMOCÍ SAH HEURISTIKY: (SURFACE AREA HEURISTIC)
  - MĚJME V PROSTORU V INKLUZI 2 OBJEMY $C_i \subset C$
  - ZAFIXUJEME-LI SMĚR POHLEDU, MŮŽEME VYJÁDŘIT PRAVDĚPOD. ZÁSAHU C_i ZA PŘEDPOKLADU, ŽE BYLO ZASAŽENO C

$$p_i(d) = p(\mathrm{HIT}(C_i) \mid \mathrm{HIT}(C)) = \frac{P_i(d)}{P(d)}$$

d – SMĚR

$P(d)$ – PLOCHA PRŮMĚTU C KOLMO NA SMĚR d

- UVAŽUJME 2 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY:
  1) OBALOVÁ TĚLESA JSOU KONVEXNÍ
  2) VŠECHNY SMĚRY PAPRSKU JSOU STEJNĚ PRAVDĚPODOBNÉ

PAK

$$p_i = \frac{\int P_i(d)\,dd}{\int P(d)\,dd} \overset{1)\,2)}{\approx} \frac{S_A(C_i)}{S_A(C)}$$

– POMĚR POVRCHŮ 2 TĚLES

- DĚLENÍ BVH PODLE POUŽITÝCH OBALOVÝCH TĚLES
  - AABB TREE (= R-TREE)
    - AXIS ALIGNED BOUNDING BOXES
    - SPHERE TREE
  - OBB TREE – ORIENTED BOUNDING BOXES
  - R-DOP TREE

BVH S AABB

- ČASTO BINÁRNÍ STROM
- KONSTRUKCE
  - SHORA DOLŮ (ROZDĚL A PANUJ)
  - ZDOLA NAHORU
  - PARALELNĚ

- KONSTRUKCE BVH POMOCÍ SAH
  - SUBOPTIMÁLNÍ, HLADOVÁ
  - SHORA DOLŮ

$$\boxed{COST(V \to \{L, R\}) = A_{TRA} + A_{TRI}\left(\frac{SA(V_L)}{SA(V)} N_L + \frac{SA(V_R)}{SA(V)} N_R\right)}$$

↳ OČEKÁVANÝ ČAS VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S OBECNÝM PAPRSKEM, POKUD SE OBJEM V ROZDĚLÍ NA 2 NE NUTNĚ DISJUNKTNÍ ČÁSTI L A R

$$A_L = \frac{SA(V_L)}{SA(V)} \qquad A_R = \frac{SA(V_R)}{SA(V)}$$

N_L, N_R ... POČET OBJEKTŮ VLEVO, VPRAVO

V_L V_R ... VEVNITŘ PRAVÝ OBJEM

T_{TRA} ... CENA REŽIE - TESTOVÁNÍ OBALŮ, REŽIE REKURZE

T_{TRI} ... CENA VÝPOČTU PRŮSEČÍKU S 1 △

- V KAŽDÉM KROKU REKURZE PŘEDPOKLÁDÁM, ŽE V_L A V_R JSOU UŽ VISY (TJ. IGNORUJI FAKT, ŽE SE BUDOU DÁLE DĚLIT) - HLADOVĚ ZVOLÍM AKTUÁLNĚ DĚLENÍ S NEJMENŠÍ CENOU
- SNADNÁ PARALELIZOVATELNOST - ROZHODNUTÍ NA 1 ÚROVNI JSOU NA SOBĚ NEZÁVISLÁ
- PŘEDPOKLAD: KONVEXNOST OBALŮ, STEJNÉ PRAVDĚPODOBNÉ SMĚRY PAPRSKŮ

PROŘEZÁVÁNÍ CSG STROMU

- MOŽNOST AUTOMATICKÉ ODRAVY CHYBY KONSTRUKTÉRA, AUTOMATICKÁ OPTIMALIZACE STROMU ODAŘEZÁNÍM OBALU
- ELEMENTÁRNÍ TĚLESA MUSÍ MÍT OBALY, UMĚLÉ UZLY MAJÍ NEDEFINOVANÉ OBALY
- PROPAGACE OBALŮ Z LISTŮ DO KOŘENE
  ↳ KONSTRUKCE ČI ODRAVY MINĚZÁVISLÝCH OBALŮ
  ↳ PRO JEDNOTLIVÉ MNOŽINOVÉ OPERACE VE UMĚLÉM UZLU JE TŘEBA STANOVIT TRIVIÁLNÍ OPERACE S OBALY:
  MINŘ. $B(A - B) = B(A)$
  ↳ TAK BOUNCINGUJI OBALY AŽ KE KOŘENI
- PAK SE STROM PROCHÁZÍ OD KOŘENE DO LISTŮ A OMEZUJÍ SE OBALY PODTĚLES - PROŘEZÁVÁNÍ
  ↳ TĚLESA, CO NEOVLIVŇUJÍ TVAR VÝSLEDKU LZE ZE STROMU VYMECHAT
  ↳ NĚKTERÝM TĚLESŮM SE Z MENŠÍ OBALY DOKE NA RELEVANTNÍ ČÁSTI

SPACE SUBDIVISION - DĚLENÍ PROSTORU

- REDUKCE POČTU TESTŮ PAPRSEK TĚLESO
- PROSTOR SCÉNY SE ROZDĚLÍ NA DISJUNKTNÍ OBJEMY, KAŽDÁ OBLAST MÁ ODKAZY NA TĚLESA, CO DO NÍ ZASAHUJÍ
- POČÍTÁ SE PRŮCHOD PAPRSKU OBJEMY, A PRŮNIK SE TESTUJÍ POUZE TĚLESA V ZASAŽENÝCH OBJEMECH

- UNIFORMNÍ
- ADAPTIVNÍ

- UNIFORMNÍ SPACE SUBDIVISION – VOXEL GRID
  - PRAVIDELNÉ DĚLENÍ PROSTORU NA MALÉ KVÁDRY ČI KRYHHLE
  - SPOUSTA BUNĚK ZŮSTANE PRÁZDNÝCH, ~~TĚLESO MOHOU ZASAHOVAT~~
    A TĚLESO MŮŽE ZASAHOVAT DO VELKÉHO MNOŽSTVÍ BUNĚK
- 3D DDA PRŮCHOD
  - PAPRSEK $P_0 + t \cdot \vec{t_1}$

1) INICIALIZACE
   PŘEDEM POČÍT HODNOT D_x D_y D_z – VZDÁLENOST MEZI 2 SOUSEDNÍMI BUŇKAMI VE SMĚRU $\vec{t_1}$
   L_x L_y L_z – VZDÁLENOST M PAPRSKU K NEJBLIŽŠÍ STĚNĚ V DANÉM SMĚRU
   t ... PARAM
   $[i, j, k]$ – POČ. BUŇKA
2) ZPRACOVÁNÍ AKTUÁLNÍ BUŇKY $[i\ j\ k]$
   → MOŽ. MNOŽENÍ PRŮSEČÍKŮ S TĚLESY V DANÉ BUŇCE
3) KROK DO SOUSEDNÍ BUŇKY, VE SMĚRU, KDE JE L NEJMENŠÍ

- ADAPTIVNÍ SPACE SUBDIVISION → OCT TREE
  - ZOBECNĚNÍ QUADTREE DO 3D
  - OSMIČESNÝ STROM – SOUROZENECKÁ VLASTNOST
  - DĚLÍ SE BUŇKY, KTERÉ OBSAHUJÍ MNOHO TĚLES – NENÍ JASNÉ, JAK STANOVIT MIRANICI, ALE JAKMILE JE HRANICE DEVNÉ STANOVENA, JE KONSTRUKCE DETERMINISTICKÁ
  - TŘEBA UMOŽNÍ UZLY S POTENCIÁLNĚ NEKONEČNÝM POČTEM ODKAZŮ NA TĚLESA – DO 1 BODU V PROSTORU MŮŽE ZASAHOVAT LIBOVOLNÉ MNOŽSTVÍ TĚLES
  - SPOTŘEBUJE MÉNĚ PAMĚTI, ALE SLOŽITĚJŠÍ PROCHÁZENÍ NEŽ GRID
- ADAPTIVNÍ SPACE SUBDIVISION – KD-TREE
  - BINÁRNÍ STROM
  - V UZLU SE TYPICKY UKLÁDÁ ODKAZ NA 1 OBJEKT + UMÍSTĚNÍ UZLY REPREZENTUJÍ DĚLENÍ OBJEKTU V 1 ZE SMĚRŮ x či z
  - STATICKÝ – DĚLENÍ BUNĚK PŘÍMO V POLOVINĚ A SMĚRY SE PRAVIDELNĚ STŘÍDAJÍ
    JINAK SAM KONSTRUKCE – SHORA DOLŮ
    → KONSTRUKCE DO ŠÍŘKY S VYUŽITÍM HEAD LISTU, KTERÉ MÁ JEŠTĚ SAMOSTATNĚ DĚLIT

TEXTURY

- MODULACE NĚKTERÉ VELIČINY NA POVRCHU TĚLESA
  - ↳ BARVY
  - ↳ NORMÁLY – BUMP MAP
  - ↳ PARAMETRY MATERIÁLU
- 2D TEXTURA

  $[x, y, z] \rightarrow [u, v] \rightarrow$ VELIČINA

  - SLOŽITÝ VÝPOČET MAPOVÁNÍ, SINGULARITY
- 3D TEXTURA

  $[x, y, z] \rightarrow$ VELIČINA

  ↳ SOUŘADNÉ SYSTÉMY OBJEKTU, ABY SE TEXTURA PŘI ANIMACI MÝBALA S TĚLESEM

  ↳ REPREZENTUJE VNITŘNÍ STRUKTURU MATERIÁLU – MRAMOR, DŘEVO

IMPLEMENTACE TEXTUR

- BITMAPA – PŘEDPOČÍTÁNÍ
- PROCEDURÁLNĚ GENEROVANÁ TEXTURA
- HYBRIDNÍ – PŘEDVÝPOČET PRO SLOŽITÝ VÝPOČET

- BUMP MAP
  - ABY MUSELA GEOMETRIE OBJEKTU VYPADAT JÉDE
  - NORMÁLA URČUJE OSVĚTLENÍ – JEJÍ MODULACE UDĚLÁ POVRCH HRBOLATÝM
  - ŠUMOVÁ FCE $B(u, v)$ – POPISUJE VÝŠKU RELATIVNĚ K POVRCHU TĚLESA

$$\vec{N}' = N + \frac{\frac{\partial B}{\partial u}(u,v) \cdot (\vec{N} \times \vec{V}) - \frac{\partial B}{\partial v}(u,v)\,(\vec{N} \times \vec{U})}{|N|}$$

↳ 2D TEXTURA ?

ŠUMOVÉ FUNKCE

- PRO VIZUÁLNĚ UVĚŘITELNÉ NAPODobení PŘÍRODNÍCH JEVŮ
- NÁLEŽITÝ DETERMINISTICKÝ VÝPOČET – PARALELISMUS A ANIMACE
- POŽADOVÁNÍ VOLTROU MAS SPEKTRÁLNÍMI ~~VLASTNOSTMI~~ VLASTNOSTMI ŠUMU – RYCHLOSTÍ ZMĚN, FREKVENCÍ NÁHODNÉHO SKURU

BÍLÝ ŠUM

- NEKORELOVANÁ NÁHODNÁ VELIČINA
- NUTNO ZAJISTIT DETERMINISMUS – SCRAMBLING, HASHING FUNKCE

SPOJITÝ ŠUM

- NÁHODNÁ FUNKCE S MALOU DERIVACEMI, NAPODOBÍ, NEBO SE NEMĚNÍ SPOJITÁ VELIČINA
- ~~PRO~~ MYŠLENKY SE VYGENERUJE PRAVIDELNÁ MŘÍŽKA S NÁHODNÝMI HODNOTAMI V UZLECH, TY SE PAK INTERPOLUJÍ DO VŠECH OSTATNÍCH BODŮ $\mathbb{R}^2$ ČI $\mathbb{R}^3$

PŘI KONSTRUKCI MŘÍŽEK JE TŘEBA ZVÁŽIT:

1. JAK HUSTOU ~~MÁME~~ MŘÍŽKU ZVOLIT → FREKVENCE MÍSNÉHO ŠUMU
2. JAKÉ NÁHODNÉ HODNOTY BUDOU V UZLECH MŘÍŽKY
   - NORMÁLNÍ, UNIFORMNÍ ROZDĚLENÍ
   - NĚKTERÉ INTERPOLAČNÍ TECHNIKY VYŽADUJÍ SPECIÁLNÍ FORMÁT DAT V UZLECH - NAPŘ NÁHODNÉ GRADIENTY ČI VEKTORY
3. ZAJISTIT DETERMINISMUS HODNOT V MŘÍŽCE
4. JAK INTERPOLOVAT ČI APROXIMOVAT HODNOTY Z MŘÍŽKY
   - PERLINŮV ŠUM
   - B-SPLINE INTERPOLACE
   - HERMITOVSKÉ INTERPOLACE

PERLINŮV ŠUM

- EFEKTIVNÍ IMPLEMENTACE, NE MOC DOBRÁ KVALITA ŠUMU
- ZÁKLADEM PRAVIDELNÁ MŘÍŽKA NÁHODNĚ DEFINOVANÝCH BODŮ A POTOM HERMITOVA INTERPOLACE POMOCÍ JEDNOTKOVÝCH KUBIKŮ - SPLINE FUNKCÍ - PERLIN VYMYSLEL SPLINE FCI, CO SE DÁ SNADNO POČÍTAT A MÁ ROZUMNÉ VÝSLEDKY
- ZÁKLADEM IMPLEMENTACE ISO
  - NÁHODNÉ FUNKČNÍ HODNOTY A JEDNOTKOVÉ VEKTORY (DIFERENCIÁLY) V UZLECH $[a, b, c]$
  - INTERPOLAČNÍ KUBICKÉ SPLINY
  - INTERPOLACE HODNOT MIMO UZLOVÉ BODY

$$a(x, y, z) = \sum_{i=\lfloor x \rfloor}^{\lfloor x \rfloor + 1} w(x-i) \sum_{j=\lfloor y \rfloor}^{\lfloor y \rfloor + 1} w(y-j) \sum_{k=\lfloor z \rfloor}^{\lfloor z \rfloor + 1} \cdot u_{ijk}$$

↳ TO SE UDĚLÁ PRO SLOŽKY a, b, c, d A PAK

$$k_{ijk}(x, y, z) = d_{ijk} + a_{ijk} x + b_{ijk} y + c_{ijk} z$$

SPAR SE CONVOLUTION

- KONVOLUCE NA ŘÍDKÉ MNOŽINĚ
- ZALOŽENO NA PŘEDEM DANÉM PRAVIDELNÉM NÁHODNÝCH HODNOTÁCH, CO ALE NEJSOU UMÍSTĚNY DO PRAVIDELNÉ MŘÍŽKY

KONVOLUCE

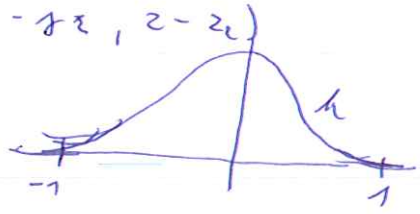
$$n(x, y, z) = \int_{\mathbb{R}^3} \gamma(u, v, w)\, h(x-u, y-v, z-w)\, du\, dv\, dw$$

KDE γ JE POISSONŮV ŠUM

$$\gamma(x, y, z) = \sum_k a_k \cdot \delta(x - x_k, y - y_k, z - z_k)$$

A h JE KONVOLUČNÍ JÁDRO (FILTR)

↳ FCE S KONEČNÝM SUPPORTEM - MÍSTEM NENULOVÉ HODNOTY A MAXIMEM V POČÁTKU



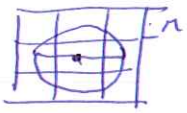
γ JE FCE, CO JE SKORO VŠUDE NULOVÁ, JEN V KRÁČOVÝCH BODECH MÁ HODNOTU „∞ * a_k" – SOUČET KONEČNÉHO POČTU DIRACOVÝCH IMPULSŮ

↳ VZOREČEK SE DÁ ZJEDNODUŠIT NA

$$n(x,y,z) = \sum_k a_k \cdot h(x - x_k, y - y_k, z - z_k)$$

- ČÍM HUSTŠÍ JE UNIFORMNÍ NAHODILÝ VZOREK, TÍM KVALITNĚJŠÍ JE ŠUM (CCA 8-10 VZORKŮ NA PLOCHU FILTRU)
- VELIKOST NOSIČE FILTRU OVLIVŇUJE FREKVENCI UNIFORMNÍHO ŠUMU – MENŠÍ POLOMĚR → VĚTŠÍ FREKVENCE

IMPLEMENTACE
- PROSTOR SE ROZDĚLÍ NA BUŇKY O VELIKOSTI POLOMĚRU NOSIČE KONVOLUČNÍHO FILTRU
- PRO BUŇKU SE – NAPŘ. Z JEJÍCH SOUŘADNIC – URČÍ DETERMINISTICKÝ SEED PRNG
- PRO BUŇKU SE GENERUJÍ VZORKY
- PŘI VÝPOČTU SE VEZMOU PROCHÁZET 9 OKOLNÍCH BUNĚK – DO NICH MŮŽE ZASAHOVAT KONVOLUČNÍ FILTR UMÍSTĚNÝ UPROSTŘED BUŇKY



KOMBINACE (SUPERPOZICE, SOUČET) ŠUMOVÝCH FCÍ
- TURBULENCE
- TŘEBA SKLÁDAT RŮZNÉ ŠUMY FCE – S RŮZNÝMI FREKVENCEMI A AMPLITUDAMI

  SKLÁDÁNÍ SE ŠUMY S FREKVENCEMI A AMPLITUDAMI V PODOBĚ GEOM. ŘADY – STAČÍ SEČÍST PRVNÍCH 3-6 ČLENŮ ŘADY
- TŘEBA, ABY ŠUMY BYLY DEKORELOVANÉ → VYHNOU SE INTERFERENCÍM

APLIKACE ŠUMOVÝCH FCÍ

IMITACE DŘEVA
- IDEÁLNÍ VETOKRUHY MOHOU PRAVIDELNÝ SYSTÉM SOUSTŘEDNÝCH VÁLCOVÝCH PLOCH SE SPOLEČNOU OSOU
- PRŮBĚH ZMĚN BARVY JE DÁN VZDÁLENOSTÍ OD STŘEDU KMENE
  ↳ VZDÁLENOST O OSY JE TŘEBA MODIFIKOVAT SPOJITOU ŠUMOVOU FCÍ, ABY VETOKRUHY PŮSOBILY PŘIROZENĚJI (NEPRAVIDELNĚJI)

IMITACE VRÁSNĚNÍ
- MODIFIKUJE SE VZDÁLENOST OD IDEÁLNÍ ROVINY PŘI VODNÍCH VRSTEV
- TYPICKY SE POUŽÍVÁ TURBULENCE

POMERANČOVÁ KŮRA
- MODIFIKACE NORMÁLY SPOJITÝM ŠUMEM
- 3D TEXTURA

ANTIALIASING A SAMPLING

- ALIAS – NEŽÁDOUCÍ JEV ZPŮSOBENÝ NEDOSTATEČNÝM VZORKOVÁNÍM V DISKRÉTNÍM PROSTŘEDÍ
- FATÁLNÍ DEZINFORMACE, KDYŽ SE FREKVENCE VZORKOVÁNÍ BLÍŽÍ FREKVENCI SIGNÁLU
- ALIAS ČASU = INTERFERENCE PERIODICKÉHO POHYBU SE SNÍMKOVACÍ FREKVENCÍ – ŘEŠENÍ → EXPONOVAT KAŽDÝ SNÍMEK V ČASE → → ROZMAZAT HO

SUPER SAMPLING – TEORIE

- MÁME: • SPOJITOU OBRAZOVOU FCI $f(x, y)$
  - FILTROVACÍ VÁHOVOU FCI $h(x, y)$
    - ↳ URČUJE, JAKOU VÁHU PRO VÝSLEDNOU (IZPRŮMĚROVANOU) BARVU PIXELU MÁ TA DANÁ ČÁST PROTNUTÍ PIXELU
    - ↳ INTEGRÁL $h(x, y)$ PŘES $\mathbb{R}^2$ JE 1
    - ↳ MŮŽE TO BÝT NAPŘ. CHARAKTERISTICKÁ FCE PIXELU: $h(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{V PIXELU} \\ 0 & \text{JINDE} \end{cases}$

KONVOLUCE – KLOUZAVÝ VÁŽENÝ PRŮMĚR OBRAZOVÉ FCE

$$\boxed{I(i, j) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot h(x - i, y - j)\, dx\, dy}$$

- POKUD JE h KLADNÁ (LZE BÝT NEMUSÍ, POUŽÍVÁ SE NAPŘ. I SIN) VÝSLEDEK KONVOLUCE JE KONVEXNÍ KOMBINACE NEKONEČNĚ MNOHA BODŮ
- BOX FCE – POKUD MÁ CELÝ PIXEL STEJNOU VÁHU – APROXIMUJE SENZORU FOTOAPARÁTU: $\int_{i}^{i+1}\int_{j}^{j+1} f(x, y)\, dx\, dy$
- NUMERICKÁ KVADRATURA = ODHAD URČITÉHO INTEGRÁLU
  - ↳ NUMERICKÉ ŘEŠENÍ – POUŽÍVÁ SE VZORKOVÁNÍ – SAMPLING – FCE SE VYHODNOTÍ V KONEČNÉM POČTU BODŮ INTERVALU A PRŮMĚROVÁNÍM SE SPOČÍTÁ ODHAD INTEGRÁLU

$$\boxed{I(i, j) = \frac{\sum_k f(x_k, y_k) \cdot h(x_k, y_k)}{\sum_k h(x_k, y_k)}}$$

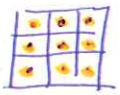
- SUPER SAMPLING MUSÍ VYŘEŠIT 2 VĚCI
  1) SYSTÉM ROZLOŽENÍ VZORKŮ NA PLOŠE PIXELU
     - ↳ POKUD JE ZALOŽENÉ NA NÁHODĚ, MLUVÍME O STOCHASTICKÉM ČI MONTE-CARLO VZORKOVÁNÍ
  2) POSTUP PRŮMĚROVÁNÍ – UNIFORMNÍ ČI NEUNIFORMNÍ VÁHY

VZORKOVÁNÍ = ROZMÍSTĚNÍ VZORKŮ NA PLOCHU PIXELU
- ↳ ZOBRAZENÍ $k \to [x_k, y_k]$ $\quad k \in [0, N)$ PRO N VZORKŮ

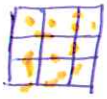
POŽADAVKY NA VZORKOVÁNÍ
- UNIFORMITA
- NEPRAVIDELNOST
- EFEKTIVITA VÝPOČTU
- NESTRANNOST

VZORKOVACÍ PRŮSMYKY

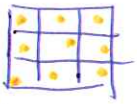
- UNIFORM SAMPLING (PRAVIDELNÉ)



  - JEDNODUCHÁ IMPLEMENTACE
  - PRAVIDELNOST → INTERFERENCE !

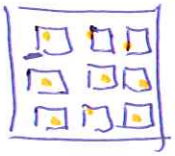


- RANDOM SAMPLING
  - KAŽDÝ VZOREK VYBÍRÁM NÁHODNĚ NEZÁVISLE NA OSTATNÍCH Z CELÉ PLOCHY PIXELU
  - NESTRANNÝ ODHAD INTEGRÁLU - KONVERGUJE KE SPRÁVNÉ HODNOTĚ INTEGRÁLU PRO NEKONEČNÝ POČET POKUSŮ - ~ OPAKOVÁNÍ VÝPOČTU
  - JEDNODUCHÝ VÝPOČET, SNADNÁ PARALELIZOVATELNOST
  - NEVÝHODA - ŠUM A SHLUKY



- JITTERING (ROZTŘESENÍ)
  - SNAHA O MEZIT SHLUKY PŘI ZACHOVÁNÍ NESTRANNOSTI
  - POPULÁRNÍ
  - PIXEL SE ROZDĚLÍ NA MENŠÍ [ ], Z KAŽDÉHO TAKOVÉHO JE NÁHODNĚ VYBRÁN 1 VZOREK
  - TŘEBA ZAJISTIT, ABY BYLA PODOBNOST SÍTĚ VELKÉ - MŮŽE TO BÝT OBTÍŽNÉ
  - SNADNÝ VÝPOČET, POTÁŽÍ ŠUM

- SEMI JITTERING
  - ÚPLNĚ REDUKUJE MOŽNOST SHLUKŮ A CENU ZTRÁTY NESTRANNOSTI ODHADU
    - ↳ NEPOKRÝVÁ CELOU PLOCHU PIXELU - VZORKY SE VYBÍRAJÍ ZE SUB PIXELŮ, KTERÉ ALE NEPOKRÝVAJÍ CELOU PLOCHU PIXELU
    - ↳ NÁHODNĚ



N ROOKS - N VĚŽÍ
- ŘÍDKÉ VZORKOVÁNÍ - JAKO JITTERING, ALE VYBEROU SE JEN NĚKTERÉ (JAKO ŠACHOVÉ VĚŽE ROZMÍSTÍME) SUB PIXELY A Z TĚCH SE NÁHODNĚ VYBÍRAJÍ VZORKY
- NESTRANNÝ ODHAD - KAŽDÝ BOD MÁ STEJNOU PRAVDĚPODOBNOST BÝT VYBRÁN
- REDUKUJE ZÁVISLOST POČTU VZORKŮ NA DIMENZI
- ALE TŘEBA PERMUTOVAT DIAGONÁLU - COŽ JE STALÝ ALG !

QUASI - MONTECARLO VZORKOVÁNÍ
- POSLOUPNOST VZORKŮ URČENA DETERMINISTICKÝM VÝPOČTEM
- DOBRÁ ROVNOMĚRNOST ROZMÍSTĚNÍ VZORKŮ NA PLOŠE
- HALTONOVA POSLOUPNOST

$$x(n) = [g_{b_1}(n), g_{b_2}(n)] \qquad g_b(n) = \sum_{r=0}^{L-1} d_r(n)\, b^{-r-1}$$

PRIMES b_1 b_2

NEKONEČNÁ POTŘEBUJE 2 PRIMES

- HAMMERSLEYOVA POSLOUPNOST

$$x(n) = \left[\frac{n}{N},\ g_n(n)\right]$$ N... POČET VZORKŮ

- KOMEČMÁ, ALE STAČÍ 1 PRIME

POISSONOVO DISKOVÉ VZORKOVÁNÍ

- NÁHODNĚ ROZMÍSTĚNÉ VZORKY, CO JSOU OD SEBE ALESPOŇ d DALEKO
- ZABRÁNÍ SHLUKŮM V NÁHODNÉM VZORKOVÁNÍ
- PRO N VZORKŮ JE TĚŽKÉ URČIT d -> POUŽÍVÁ SE REJECTION SAMPLING
- NEMOŽNOST ROZUMNÉHO ADAPTIVNÍHO ZJEMŇOVÁNÍ

MITCHELLŮV ALG. NEJLEPŠÍHO KANDIDÁTA

- VHODNÝ PRO ADAPTIVNÍ VZORKOVÁNÍ
- NEPOTŘEBUJE PŘEDEM URČENOU KONSTANTU d
- PŘEDEM URČENÁ KONSTANTA q URČUJE, KOLIK VZORKŮ SE V KAŽDÉM KROKU ~~OD~~ VYGENERUJE
  - k-TÝ KROK -> $k \times q$ VZORKŮ
  - Z TĚCH SE VYBERE KANDIDÁT, CO JE NEJDÁLE OD VŠECH DŘÍV VYGENEROVANÝCH VZORKŮ A TEN SE ZAPADÍ MEZI VYGENEROVANÉ VZORKY
- q CCA 5
- ČASOVĚ NÁROČNÉ -> NEPOČÍTAT VZORKOVÁNÍ ZNOVU PRO KAŽDÝ PIXEL, PŘEDGENEROVAT SI NĚKOLIK SOUSTAV A MY ZHUŠŤOVAT A OTÁČET -> VYHNOUT SE INTERFERENCÍM

ADAPTIVNÍ VZORKOVÁNÍ

- JE ZBYTEČNÉ MUSÍME VZORKOVAT JEDNOBAREVNÝ PIXEL
- URYCHLOVACÍ TECHNIKA ZMENŠUJÍCÍ ~~VYBRANÝ~~ POČET PRIMÁRNÍCH PAPRSKŮ
- IMPORTANCE SAMPLING -> ČÁSTI INTEGROVANÉ FCE, CO MAJÍ VELKOU VARIANCI, BY MĚLY BÝT VZORKOVÁNY HUSTĚJI
  - VÁHA VZORKU BY ALE MĚLA BÝT ÚMĚRNÁ PLOŠE, KTEROU VZOREK REPREZENTUJE
- PROBLÉM - DOPŘEDU NEVÍME, KDE JE OBRAZOVÁ FCE ČLENITÁ
- MODIFIKACE KLASICKÝCH METOD
  - POSTUPNÉ ZJEMŇOVÁNÍ
  - POŠLE SE MALÝ POČET PAPRSKŮ, UVIDÍ SE, JAK JE DALEKO PŘEDPOKLÁDÁME, ŽE SE V PIXELU DĚJE NĚCO ZAJÍMAVÉHO, PŘÍPADNĚ SE POŠLOU DALŠÍ VZORKY
- JAK ZJISTIT, ŽE SE V PIXELU DĚJE NĚCO ZAJÍMAVÉHO:
  - SROVNÁNÍ BAREV VZORKŮ
  - SROVNÁNÍ JD TĚLESA, JD KTERÉHO VZOREK NARAZILY
  - ZRCADLO -> REKURZE -> MASKY
- WHITTEDOVO ADAPTIVNÍ VZORKOVÁNÍ - POTLAČOVÁ PETKA - 2 VZORKY NA PIXEL, PAK PŘÍPADNĚ ZJEMNĚNÍ
  - TŘEBA SPRÁVNĚ PŘIŘADIT NÁM VŠEM VZORKŮM

DISTRIBUOVANÝ RAY TRACING

- VYUŽITÍ NUMERICKÉ INTEGRACE (VZORKOVÁNÍ) K VYLEPŠENÍ VÝSLEDKU
- CO LZE VYLEPŠIT
  - MĚKKÉ STÍNY
  - NEOSTRÉ ODRAZY
  - ROZMAZÁNÍ POHYBEM
  - SIMULACE HLOUBKY OSTROSTI OBJEKTIVU
  - ROZKLAD BÍLÉHO SVĚTLA

↳ MATEMATICKY JDE O ZAVEDENÍ NOVÝCH PROMĚNNÝCH DO OBRAZOVÉ FCE A INTEGRACI PŘES JEJICH MĚNÍCÍ SE HODNOTY

1) NEOSTRÝ ODRAZ SVĚTLA (GLOSSY REFLECTION)

- DOKONALÉ ZRCADLO → OSTRÝ OBRAZ
- BĚŽNÉ POVRCHY → NEOSTRÝ ODRAZ – MĚLY BYCHOM SLEDOVAT VŠE NEDOKONALE ODRAŽENÉMU PAPRSKU

OSTRÝ ODRAZ $l(v) = l(R)$ – ODRAŽENÉ = DOPADAJÍCÍ

GLOSSY:

$$\boxed{l(v) = \iint_{\text{SFÉRE}} l(R(\varphi, \theta)) \cdot BRDF(\alpha, \beta, \varphi, \theta)\, d\varphi\, d\theta}$$

- ZAVÁDÍ SE 2 NOVÉ PROMĚNNÉ φ A θ – ODKLON OD LÍNIE DOKONALÉHO ODRAZU
- BRDF → VÁHOVÁ FCE = FCE ODRAZIVOSTI – NAPŘ. PHONG
- ANALOGICKY SE DAJÍ POČÍTAT NEOSTRÉ LOMY – VZORKOVÁNÍ KOLEM ÚHLU LOMU

2) MĚKKÉ STÍNY

- SIMULACE PLOŠNÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ
- POKUD JE ZDROJ SVĚTLA UNIFORMNÍ – STAČÍ SPOČÍTAT, JAKOU ČÁST ZDROJE SVĚTLA PRO DANÝ OSVĚTLOVANÝ BOD ZAKRÝVÁ PŘEKÁŽKA

  $L(A) = L_L \cdot S[\%]$ – KOEF, MULTIPLIKATOR PRO PŘIDÁNÍ PŘÍSPĚVKU SVĚTLA OD SVĚTELNÉHO ZDROJE

- NEHOMOGENÍ SVĚTELNÝ ZDROJ:
  - SVÍTIVOST SE MĚNÍ NA PLOŠE ZDROJE – FCE $l_e(u, v)$
  - ZAVEDE SE FCE VIDITELNOSTI 2 BODŮ VE SCÉNĚ – SEKUNDÁRNÍ PAPRSKY V RAY TRACINGU

$$VIS(A, u, v) = \begin{cases} 1 & \text{VIDITELNÝ} \\ 0 & \text{NEVIDITELNÝ} \end{cases}$$

(A – OSVĚTLOVANÝ BOD; u, v – NA PLOŠE ZDROJE)

$$\boxed{l(A) = \iint l_e(u, v) \cdot VIS(A, u, v)\, du\, dv}$$

↳ INTEGRUJE SE PŘES PLOCHU SVĚTELNÉHO ZDROJE

3) ROZMAZÁNÍ POHYBEM (MOTION BLUR)

- NAZNAČIT RYCHLE SE POHYBUJÍCÍ OBJEKTY VE SCÉNĚ
- SIMULACE ZÁVĚRKY KAMERY OTEVŘENÉ V NĚJAKÉM ČASOVÉM INTERVALU
- DO OBRAZOVÉ FCE SE PŘIDÁ ČAS t – PROMĚNLIVOST SCÉNY V ČASE

$$\boxed{h_{BLUR} = \int_{t_1}^{t_2} h(t)\, dt}$$

4) SIMULACE HLOUBKY OSTROSTI

- HLOUBKA OSTROSTI – ROZDÍL VZDÁLENOSTI NEJBLIŽŠÍHO A NEJVZDÁLENĚJŠÍHO BODU, CO JE ZOBRAZEN OSTŘE
- ZAVEDE SE ROVINA OSTŘENÍ – JEDINÁ PLOCHA VE SCÉNĚ, KTERÁ SE BUDE NA PLOŠE PRŮMĚTNY ZOBRAZOVAT ÚPLNĚ OSTŘE
- DO PLOCHY OSTROSTI SE UMÍSTÍ VRCHOL POMYSLNÉHO KVÁDRU A KUŽELE A VZORKOVAT SE BUDE NA JEHO PODSTAVĚ

$$\boxed{h(x,y) = \iint_{\substack{\text{PODSTAVA} \\ \text{KUŽELE } [x,y]}} l(v_{xy})\, dx\, dy}$$

SOUŘADNICE BODU V PODSTAVĚ

POLOHA BODU PROMÍTNUTÉHO Z PRŮMĚTNY DO ROVINY OSTŘENÍ

$$v_{xy} = T_{xy} - [x, y, 0]$$

5) ROZKLAD SVĚTLA PODLE VLNOVÉ DÉLKY

- INDEX LOMU BĚŽNÝCH MATERIÁLŮ JE ZÁVISLÝ NA VLNOVÉ DÉLCE DOPADAJÍCÍHO SVĚTLA – KRÁTKÉ VLNOVÉ DÉLKY (MODRÁ) SE LÁMOU VÍC
- JE TŘEBA SLEDOVAT PAPRSKY RŮZNÝCH VLNOVÝCH DÉLEK (6–12 VLNOVÝCH DÉLEK) MÍSTO 1 SPOLEČNÉHO PAPRSKU PRO VŠECHNY VLNOVÉ DÉLKY
- 1. LOM PAPRSEK ROZŠTĚPÍ NA RŮZNÉ VLNOVÉ DÉLKY – DÁL UŽ SE ŠTĚPIT NEBUDE
- VÝSLEDNÁ BARVA SE Z INTENZIT VLNOVÝCH DÉLEK POČÍTÁ POMOCÍ TRICHOMATICKÝCH SPEKTRÁLNÍCH FUNKCÍ

$$\boxed{R(x,y) = \int_{\text{SPEKTRUM}} h(x,y,\lambda) \cdot R(\lambda)\, d\lambda}$$

↳ PRO R, G A B

IMPLEMENTAČNÍ POZNÁMKY

- APROXIMACE INTEGRÁLŮ SE PROVÁDÍ METODOU MONTE CARLO – VZORKOVÁNÍM
  - UNIFORMNÍ VZORKOVÁNÍ
    - VÁHOVOU FCI SE PŘÍMO PŘENÁSOBÍ VÝSLEDEK
  - IMPORTANCE SAMPLING – VZORKOVÁNÍ PODLE VÁHY – PAK UŽ JEN ARITMETICKÝ PRŮMĚR VZORKŮ