

컴퓨터 프로그래밍 C++ 프로젝트: ASCII art로 표현하는 회전 가능한 3d 공간

강명석 (Computer Science and Engineering, 2024-10387)

이 문서는 서울대학교(SNU, Seoul National University)에서 2024년 2학기에 열린 「컴퓨터 프로그래밍」 강좌에서 요구하는 C++ 프로젝트 그리고 그것의 코드를 설명하기 위해 쓰였습니다.

목차

I. Proposal	프로젝트 개요
II. Objects	주요 객체 및 객체 간 관계
III. Design Considerations	고려 사항
IV. Parameters & methods	객체 parameter 및 method 리스트
V. Future Enhancements	개선 사항
VI. Note	개발 노트

I . Proposal

1. 개발 목표

이 프로젝트는 3d 공간에 큐브, 사각형 그리고 삼각형 등의 입체와 평면들을 생성하고, 생성한 입체를 아스키 아트로 콘솔에 출력하는 것을 목표로 합니다.
프로젝트의 소스는 github.com/KMSstudio/ascii3d 에서 볼 수 있습니다.

2. 프로젝트 사용법

사용 예시는 유튜브 영상 youtu.be/Yqwu8YJYayA에서도 확인할 수 있습니다.

A. Command window

이 창에서는 명령어를 이용하여 Space의 속성을 조회하거나, 변경할 수 있습니다. 명령어는 대소문자를 구분하지 않습니다.

C o m m a n d s	
HELP	H 사용할 수 있는 명령어 리스트를 보여줍니다.
LIST	L Camera, Screen 그리고 Object의 속성을 전부 나열합니다.
CREATE (N)	C 새로운 물체를 공간에 추가합니다. N인 인덱스 번호입니다. -1을 입력할 때 비어있는 아무 곳에 물체를 넣습니다.
ALTER [N]	A N 번 인덱스에 있는 물체를 삭제하고 새로운 물체를 만들어 넣습니다.
DROP [N]	D N 번 인덱스에 있는 물체를 삭제합니다.
QUIT SHOW	Q 현재 Command window를 나가고 화면을 Show window로 전환합니다.
EXIT TERM	X 프로그램을 종료합니다.

B. Show window

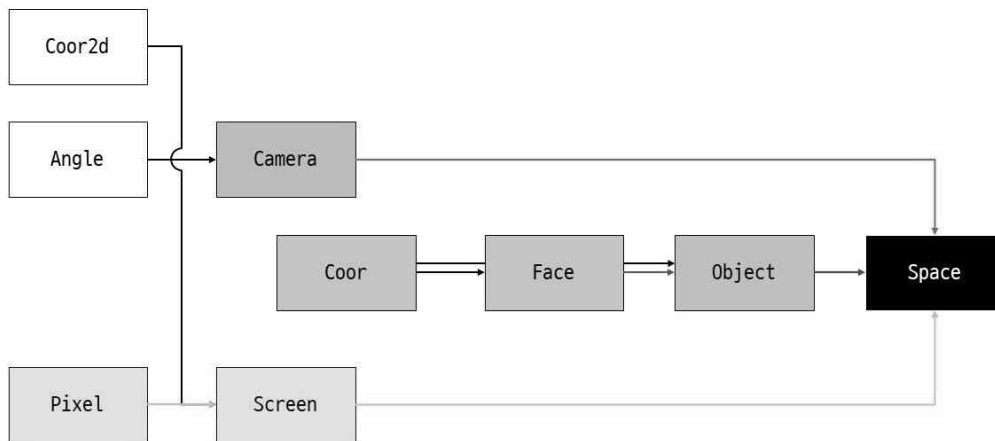
Show window 창에서는 Space를 ASCII art로 출력합니다. 공간을 회전하거나, 카메라를 이동시킬 수 있습니다. 명령어는 대소문자를 구분하지 않습니다.

C o m m a n d s	
A	공간을 좌측으로 회전시킵니다.
W	공간을 위로 회전시킵니다.
S	공간을 아래로 회전시킵니다.
D	공간을 우측으로 회전시킵니다.
L	공간을 시계방향으로 회전시킵니다.
J	공간을 반시계 방향으로 회전시킵니다.
I	카메라를 더 가까이 가져갑니다.
J	카메라를 더 멀리 가져갑니다.
Q	Show window를 종료하고 Command window를 엽니다.
X	프로그램을 종료합니다.

II Objects

소유관계

$A \rightarrow B$ 는 B가 A를 매개변수로써 소유하고 있음을 나타냅니다.



객체 리스트

Objects		
Angle	3차원상의 라디안 각	base.hpp
Coord2d	2차원상의 정수 점	base.hpp
Pixel	스크린의 한 픽셀. 정수점에 대응	screen.hpp
Screen	스크린	screen.hpp
Camera	카메라	camera.hpp
Coord	3차원상의 점	face.hpp
Face	면	face.hpp
Body	물체	body.hpp
Space	공간이자 컨트롤러	space.hpp

III. Design Considerations

Face::clone()의 존재 이유

Face 객체는 사실 객체 하나만 놓고 보면 매개변수가 전부 원시 타입이므로, `Face* fp = f.clone();`가 더 간단한 문법 `Face* fp = new Face(f);`로 대체될 수 있을 것처럼 보인다. 그러나 이 부분은 Body 클래스가 Face 객체의 다형성을 보존하며 DeepCopy 되기 위해 존재하는 것이므로 반드시 구현되어 있어야 한다.

근본적으로 Space 객체는 `Space::show()`에서 자신이 가지고 있는 `std::vector<Body*> body;`를 `std::vector<Body*> showBody;`로 옮겨와야 한다. 이때 Body*값을 그대로 가져와서는 안 되므로 Body를 DeepCopy한다.

DeepCopy될 Body는 `std::vector<Face*> face;`를 매개변수로 가지고 있다. 마찬가지로 Face*값을 그대로 사용할 수는 없으므로 Face를 DeepCopy하게 된다.

이때, Face*는 다형성을 가진다. 실질적으로 face 벡터 안에는 Face를 상속한 Square, Triangle의 주소가 있는 것이다. 따라서 DeepCopy를 `push_back(new Face(*f));`처럼 진행하면 다형성이 깨지게 되므로 해서는 안 된다.¹⁾

이 문제를 해결하기 위해 프로그램은 `Face::clone()` 가상함수를 만들어 사용하게 된다. Face를 상속받는 객체에서도 적절히 clone 함수를 만든 뒤, `push_back(f->clone());`과 같이 사용해 다형성을 보존한다.

객체 Coord의 존재 위치

객체 Coord는 3d 표현에 있어 매우 기본적인 입자인데, base.hpp가 아닌 face.hpp에 작성한다. 이것은 메소드 `Coord::project`가 Screen과 Camera를 매개변수로 받기 때문이다. screen.hpp와 camera.hpp가 base.hpp를 참조하고 있으므로, Coord를 base.hpp에 기술하면 순환 참조가 되어 사용하지 못한다.

객체 Space와 project 메소드에서 unit의 존재 의미

unit은 삼차원 공간인 space와 이차원 공간인 screen의 변환에 사용되는 상수다. unit의 정의는 다음과 같다.

“Space를 가득 채우는 어떤 Cube가 있다고 하자. 이 공간은 Camera에 의해 Screen에 투영된다. 이때 투영된 상이 전체 Screen 면적의 $p(0 \leq p \leq 1)$ 만큼을 차지한다.”

식으로는 $unit = p \sqrt{\frac{x_c y_c}{x_s y_s}} \cdot (z_c + \text{depth})$ 로 나타낼 수 있다. x_c 는 공간(Cube)의 x크기, x_s 는 스크린(Screen)의 x크기이고, depth는 카메라의 초기 깊이이다. 프로그램에서는 $p = 0.5$ 로 설정하였다.

1) 정확히는 다형성이 깨지면서 override 했던 `Square::project`, `Triangle::project`가 전부 `Face::project`로 되어 버리기 때문이다.

객체 `Square::project`에서 `fillGap`의 존재 의미

`fillGap`은 비어있지 않은 스크린 출력을 위해 존재한다. 값의 의미는 다음과 같다.

“삼차원 공간에서 거리 차가 `fillGap` 이하인 두 점 A, B 가 있을 때, 두 점이 스크린에 표시되는 위치 차는 1픽셀 이하임이 보증된다.”

선분 $(0, 0) \sim (1, 0)$ 을 출력하려고 할 때, 점들을 어떤 간격으로 출력할지에 대한 문제가 있었다. 간격이 너무 촘촘하면 속도가 느려지고, 간격이 너무 넓으면 픽셀이 비어버린다. 이때 간격을 `fillGap`으로 출력하면 중간에 비어있는 픽셀 없이 모든 픽셀을 스크린에 표시할 수 있다. 식으로 아래처럼 계산한다.

$$\text{fillGap} = \frac{\min(z) + \text{depth}}{\text{unit}}$$

이때 `depth`는 `unit`과 달리 현재 카메라의 깊이다. 프로그램에서는 혹시 모를 누락을 위해 이 값에 `SQ_FILL_GAP = 0.5`를 곱하여 실제 `fillGap`으로 사용한다.

Space에서 물체의 회전

객체 `Spcae`에서는 물체들을 회전시킬 때 카메라를 이동시키는 방법을 사용하지 않는다. 대신 객체 `Space`는 물체 전체를 `std::vecotr<Body*> showBody`로 복사한 뒤, 복사한 물체들을 회전시킨다. 이런 회전방법을 사용하는 이유는 만약 물체가 아니라 카메라를 이동시킬 시 `w/a/s/d`를 통한 직관적 이동에 문제가 생길 수 있기 때문이다.

예를 들어, 카메라를 `w`키로 $+\theta\pi/2$ 만큼 이동시킨 다음 명령 `a`를 수행하면 카메라는 좌편으로 이동하는 게 아니라 $+y$ 축을 중심으로 회전하는 것처럼 보인다. 이런 일을 방지하기 위해 좌표계 전체를 이동시키는 방안을 채택하였다.

IV. Parameters & Methods

객체 Angle (base.hpp)

공간의 회전을 지칭합니다. 회전 theta, phi를 정의합니다. 각의 단위는 라디안입니다.

Parameters	
float p;	phi각 ϕ 입니다. public 값입니다.
float t;	theta각 θ 입니다. public 값입니다.
float z;	z축 방향 회전각입니다. public 값입니다.
Methods	
Angle();	임의의 Angle을 생성합니다. 기본 좌표는 p=t=0.
Angle(float p, float t);	주어진 좌표를 가지는 Angle을 생성합니다.

객체 Coor2d (base.hpp)

2d 좌표 객체입니다. Screen과 pixel이 활용할 것이기 때문에, x와 y 값은 정수입니다.

Parameters	
int x;	x 좌표입니다. public 값입니다.
int y;	y 좌표입니다. public 값입니다.
Methods	
Coor2d();	임의의 Coor2d를 생성합니다. 기본 좌표는 x=y=0.
Coor2d(int x, int y);	주어진 좌표를 가지는 Coor2d를 생성합니다.

객체 Pixel (screen.hpp)

Pixel 객체는 카메라가 촬영한 한 픽셀을 지칭합니다. 각 픽셀은 깊이 depth, 출력할 문자열 ch등을 가집니다. 출력할 문자열을 ch가 아니라 depth에 따라 달라지는 문자열로 설정할 수도 있습니다.

Parameters	
char ch;	픽셀의 값입니다.
float depth;	인식된 픽셀의 깊이입니다. z값을 뜻합니다.
bool empty;	픽셀이 비어있는지 확인하는 값입니다.
Methods	
Pixel();	ch의 값은 ' '로, depth의 값은 -1로 지정합니다.
Pixel(char ch, float depth);	ch 값과 depth의 값을 지정합니다.
char get() const;	ch 값을 반환합니다.
int set(const Pixel& pixel);	만약 입력받은 pixel.depth < this.depth 이거나 this.empty==1이라면, ch, depth를 pixel의 것으로 바꿉니다. empty는 0이 됩니다.
int set(char ch, float depth);	
void clear();	

객체 Screen (screen.hpp)

Screen 객체는 카메라가 촬영하는 스크린을 지칭합니다.

Parameters	
<code>std::vector<Pixel> pixels;</code>	각 픽셀을 지정합니다.
<code>Coor2d size;</code>	스크린의 크기입니다. 크기는 원점에서 <code>this->size</code> 까지입니다. <code>this->size</code> 를 불포함합니다.
<code>Coor2d center;</code>	스크린의 중앙입니다.
Methodes	
<code>Screen(Coor2d size);</code>	<code>size</code> 를 지정하고 <code>this->size.x * this->size.y</code> 개의 <code>Pixel</code> 을 할당합니다.
<code>~Screen();</code>	Destructor입니다. <code>std::vector</code> 를 사용했기 때문에, 별도의 메모리 해제 작업을 거치지 않습니다.
<code>Pixel getPixel(const Coor2d& pos) const;</code>	위치 <code>pos</code> 의 픽셀을 가져옵니다.
<code>char prtPixel(const Coor2d& pos) const;</code>	위치 <code>pos</code> 에 있는 픽셀의 출력 문자를 가져옵니다. <code>Pixel::get</code> 을 시행합니다.
<code>void setPixel(const Coor2d& pos, const Pixel& pixel);</code>	위치 <code>pos</code> 의 픽셀을 지정합니다. <code>Pixel::set</code> 을 사용합니다.
<code>void clsPixel(const Coor2d& pos);</code>	위치 <code>pos</code> 의 픽셀을 삭제합니다. <code>Pixel::clear</code> 을 사용합니다.
<code>Coor2d getCenter() const;</code>	중심위치를 반환합니다.
<code>Coor2d getSize() const;</code>	크기를 반환합니다.
<code>void clear();</code>	스크린 전체를 비웁니다.
<code>int print(void) const;</code>	스크린 전체를 출력합니다. 모든 픽셀에 대해 <code>Pixel::get</code> 을 시행한 후, 가져온 문자를 출력합니다.
<code>std::string prtExp() const;</code>	<code>printExport</code> , 스크린 전체를 문자열로써 내보냅니다.

객체 Camera (camera.hpp)

Camera 객체는 공간을 촬영하는 카메라를 지칭합니다.

Parameters	
<code>Angle angle;</code>	카메라의 회전각도입니다. Public입니다.
<code>float depth;</code>	카메라와 <code>Space::center</code> 간의 거리입니다. Public.
<code>float depthMin;</code>	가능한 최소거리입니다.
<code>float depthMax;</code>	가능한 최대거리입니다.
Methodes	
<code>Camera(float depth = 100, float depthMin = 20, float depthMax = 200);</code>	
Camera를 생성합니다. 회전각을 (0, 0)으로, 나머지는 인자값으로 설정합니다.	
<code>int act(char move);</code>	

카메라를 움직입니다. 가능한 움직임은 6가지가 있습니다. (a/w/s/d/i/j) 그러나 실제로 사용하는 움직임은 i와 j뿐입니다. 움직임에 대한 설명은 I.2.B 참고.	
<code>void reset(float depth = 100);</code>	카메라의 위치를 초기화합니다. 회전각을 (0, 0)으로 만들고, depth를 설정합니다.
<code>void setDepthMin(float depthMin);</code>	
<code>float getDepthMin() const;</code>	
<code>void setDepthMax(float depthMax);</code>	
<code>float getDepthMax() const;</code>	
<code>Angle getAngle() const;</code>	
<code>float getDepth() const;</code>	

객체 Coor (face.hpp)

공간에 존재하는 한 좌표를 지칭합니다.

Parameters	
<code>float x, y, z;</code>	3차원 좌표입니다. public값입니다.
Methodes	
<code>Coor();</code>	임의의 Coor를 생성합니다. 기본 좌표는 x=y=z=0입니다.
<code>Coor(float x, float y, float z);</code>	주어진 좌표를 가지는 Coor를 생성합니다.
<code>float abs(void) const;</code>	벡터의 크기를 반환합니다.
<code>Coor unit(void) const;</code>	방향이 같은 단위벡터를 생성합니다.
<code>Coor rotate(const Angle angle) const;</code>	(0, 0, 0)을 중심으로 angle만큼 회전시킵니다.
<code>Coor rotate(const Coor& center, const Angle angle) const;</code>	center를 중심으로 anlge만큼 회전시킵니다.
<code>int position(const Screen& screen, const float cameraDepth, const float unit, Coor2d& pos) const;</code>	주어진 screen와 cameraDepth에 대해, 좌표가 표시되는 screen의 픽셀 위치를 계산해 pos에 저장합니다. 좌표가 카메라에 잡히지 않는다면 -1을 반환합니다.
<code>int project(const Camera& camera, const char ch, const float unit, Screen& screen);</code>	주어진 screen, camera에 대해 해당 좌표의 픽셀 위치를 계산한 다음 screen을 업데이트합니다. 이때 문자는 ch입니다. unit은 2d와 3d간 변환에 사용되는 비로, Space에서 계산한 값입니다.
Operators	
<code>Coor operator+(const Coor& other) const;</code>	두 좌표를 더합니다.
<code>Coor operator-(const Coor& other) const;</code>	두 좌표를 뺍니다.
<code>Coor operator*(float scalar) const;</code>	좌표에 실수를 곱합니다.
<code>Coor operator/(float scalar) const;</code>	좌표에 실수는 나눕니다.

Coor operator-() const;	좌표에 -1을 곱합니다.
-------------------------	---------------

객체 Face (face.hpp)

인터페이스 Face는 기본적인 면을 구성합니다. 이후 Face를 상속하는 객체가 project 메소드와 coorSize를 정의해야 합니다.

Parameters	
char ch;	면의 출력문자입니다.
std::vector<Coor> coor;	Coor의 집합입니다. 면을 정의하는 점들입니다.
Methodes	
Face(char ch, int coorSize);	Face를 생성합니다.
~Face() = default;	
virtual Face* clone() const = 0;	자신과 같은 객체를 생성한 후 주소를 반환합니다. Body의 DeepCopy를 위해 사용됩니다.
void rotate(const Angle angle);	모든 점을 (0, 0, 0)을 중심으로 angle만큼 회전시킵니다.
void rotate(const Coor& center, const Angle angle);	모든 점을 center를 중심으로 angle만큼 회전시킵니다.
virtual int project(const Camera& camera, const float unit, Screen& screen) const;	모든 점을 project합니다. unit은 Space에서 계산된 값입니다.

객체 something:Face (face.hpp)

Objects	
Square	사각형입니다. 한 점과 두 벡터로 정의됩니다. 사각형은 $s + (av_1 + bv_2)$ ($0 \leq a, b \leq 1$) 입니다.
Triangle	삼각형입니다. 한 점과 두 벡터로 정의됩니다. 삼각형은 $s + (av_1 + bv_2)$ ($0 \leq a, a + b \leq 1$) 입니다.

객체 Body (body.hpp)

인터페이스 Body는 기본적인 물체를 구성합니다. 이후 Body를 상속하는 객체가 face의 크기와 내용을 정의해야 합니다.

Parameters	
std::vector<Face*> face;	면의 집합입니다. 다형성(polymorphism)을 지원받기 위해 면을 포인터 형태로 저장합니다.
Coor coor[2];	Body의 크기입니다. coor[0]-coor[1]까지의 공간을 의미합니다.
Coor center;	Body의 중앙입니다. config로 물체를 회전시킬 경우, 이

점을 기준으로 회전합니다.	
M e t h o d e s	
void rotate(const Angle angle, const int byCenter = 0);	모든 점을 (0, 0, 0)을 중심으로 angle만큼 회전시킵니다. 만약 byCenter가 1이라면 this->center를 중심으로 회전시킵니다.
void rotate(const Coor& center, const Angle angle);	모든 점을 center를 중심으로 angle만큼 회전시킵니다.
virtual int project(const Camera& camera, const float unit, Screen& screen);	모든 면을 project합니다. unit은 Space에서 계산된 값입니다.

객체 something:Body (body.hpp)

O b j e c t s	
Cube	직육면체입니다. 한 점과 세 벡터로 정의됩니다. 직육면체는 $s + (av_1 + bv_2 + cv_3)$ ($0 \leq a, b, c \leq 1$) 입니다.
Facebody	면입니다. 생성될 때 Face*를 받고 이것을 DeeoCopy해 사용합니다. 면 하나를 Body처럼 사용하기 위해 만들어졌습니다.

객체 Space (space.hpp)

Space 객체는 공간 전체를 지칭합니다.

P a r a m e t e r s	
Body* body[16];	공간에 존재하는 body의 리스트입니다. 기본상태는 0x0입니다.
Body* showBody[16];	Space::show();에서 사용하는 body의 복사본입니다.
Camera* camera;	카메라입니다.
Screen* screen;	스크린입니다. 모든 body가 투영됩니다.
Coor size;	Space의 크기입니다. 공간은 -size에서 size까지의 크기를 가집니다.
float unit;	screen에 투영을 진행할 때 사용되는 상수입니다. camera와 screen 값이 모두 있다면, 자동으로 계산됩니다.
M e t h o d e s	
Space(const Coor& size);	임의의 Space를 생성합니다. 모든 포인터값은 0x0입니다.
~Space();	
void setScreen(const Coor2d& screenSize);	새로운 Screen 객체를 만들어 할당합니다.

<code>void setCamera(float depth, float minDepth, float maxDepth);</code>	
	새로운 Camera 객체를 만들어 할당합니다.
<code>int _calc();</code>	screen와 camera가 있을 때 unit을 계산합니다.
<code>void _move(const char move);</code>	showBody를 입력에 따라 회전시킵니다. Space::show()에서 호출합니다.
<code>void _config(const char config);</code>	입력에 따라 객체의 속성을 출력하거나 변경합니다. Space::config()에서 호출합니다.
<code>void Space::_make(int index=-2);</code>	새로운 물체를 생성합니다. <code>std::cout</code> , <code>std::cin</code> 을 사용하여 사용자에게 직접 입력을 받습니다. Space::_config()에서 호출합니다.
<code>int show(int verbose = 0);</code>	
	보유한 body를 showBody로 로드해 출력합니다. verbose가 1이라면 간략한 정보를 함께 표시합니다. 반환값 0은 함수 종료, -1은 프로그램 종료를 의미합니다.
<code>int config();</code>	
	계속 입력을 받고 그에 맞춰 _config를 호출합니다. 반환값 0은 함수 종료, -1은 프로그램 종료를 의미합니다.
<code>int make(const Body& newBody, int index = -1);</code>	
	새로운 Body를 body에 추가합니다. 0부터 15 사이의 index를 지정할 수 있고, index = -1일 경우 비어있는 곳에 Body를 추가합니다.

V. Future Enhancements

각 Body의 특정 점 편집

AutoCAD 또는 Fusion360과 같은 프로그램의 경우, Cube에서 한 정점만 잡아 늘인다거나, 한 정점만 삭제할 수 있는 기능을 지원하고 있다. 이 프로그램에서도 이러한 기능을 지원하게 개선할 수 있을 것이다. 각 Body의 Face를 전부 Triangle로 만들거나, Body에 Face 대신 Coor을 만드는 방향으로 구현할 수 있을 것으로 예상된다.

거리에 따라 더 어두워지는 Pixel

현재 Screen의 출력은 z 거리와 무관하게 ch 값을 출력하는 방향으로 구현돼 있다. 이때, 입체감을 위해 출력값이 z 거리에 따라 달라지도록 개선하는 것을 고려할 수 있다. 픽셀이 표시하는 공간과 카메라의 거리에 따라 ch를 더 밝기가 낮은 ch로 만들거나 ('@' → '#'), 콘솔에서 출력하는 문자의 색상을 변경하는 방식으로 (7 → f → 8 → 0) 구현할 수 있을 것이다.

Space의 파일 출력 기능

마찬가지로 AutoCAD 또는 Fusion360과 같은 프로그램의 경우, 만든 프로젝트를 파일로 저장한 다음 다시 불러올 수 있다. 이처럼, 본 프로그램에서도 Space가 가진 body들을 내보내고, 불러오는 기능을 추가할 수 있다. 클래스의 매개변수들을 BIN 파일로 그대로 저장하는 방법, Space에 매개변수도 있는 Body들과 Camera, Screen의 정보를 텍스트로 변환해서 저장하는 방법을 고려할 수 있다.

다양한 Body 객체 지원

현재 Space 공간에 추가할 수 있는 객체는 Cube와 Facebody이다. 사용할 수 있는 객체가 적기에, Cone, cylinder 또는 Arch 등 다른 Body 객체를 추가하는 방향으로 프로그램을 개선할 수 있다. 단순히 Body 객체를 상속하는 객체를 만듦으로써 구현할 수 있으므로, 구현 또한 간단할 것으로 예상된다.

다양한 Face 객체 지원

현재 사용할 수 있는 Face 객체는 Square과 Triangle뿐이다. 사실 일반적으로 Body 객체가 활용할 Face는 Triangle과 Square가 거의 전부겠지만, 사용자가 직접 Face를 Space에서 추가할 수 있다는 점, 그리고 cylinder같이 Triangle만으로 표현하기에 복잡할 수 있는 물체를 구현할 계획이 있다는 점을 고려할 때, oval, hexagon과 같은 객체를 추가로 구현할 수 있다.

VI. Note

D a t e	T a s k
24-09-14	프로젝트 목적과 필요한 객체의 목록 작성
24-09-15	구체적인 객체의 관계 작성 base, screen, camera 작성
24-09-16	camera.angle과 camera.depth를 public으로 변경하고 getAngle, getDepth 메소드 추가 screen에 getCenter, getSize 메소드 추가 face.hpp 작성
24-09-16	face.hpp 수정 및 기작성 클래스 구조개선 body.hpp 작성 screen.hpp 작성
24-09-17	space.hpp 작성 ascii3d.hwpix 문서 작성 버그 수정
24-09-18~23	버그 수정 Space::_make 작성

Reference

- [1] servetgulnaroglu, “cube.c,” GitHub, github.com/servetgulnaroglu/cube.c, commit 7039318, Accessed: Sep. 16, 2024.
- [2] 김홍종, 미적분학, SNU Press, 2023.