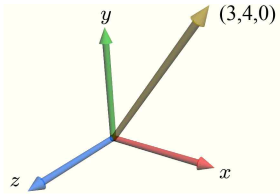
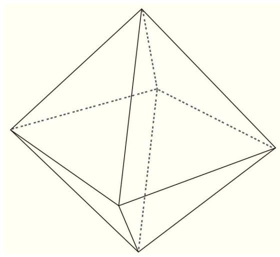
1. 3차원 직교정규 기저 (basis): 첫 번째 기저 벡터는 아래 그림과 같이 (3,4,0) 방향을 향하고, 두 번째는 하나의 주축을 향하며, 세 번째는 그 둘의 벡터곱으로 정의된다. 이 기저를 계산하라.



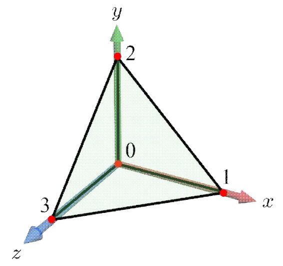
2. 두 개의 점 p_0와 p_1이 있다. p_0의 좌표는 (2,0)이고 p_1의 좌표는 (5,0)이다. p_0에 벡터 (-1,2)가 저장되어 있고, p_1에는 벡터 (2,5)가 저장되어 있다. p_0와 p_1을 잇는 선분을 따라 두 벡터를 선형보간할 때, 선분 위의 점 (4,0)에 놓일 벡터를 계산하라.

3. 아래 그림의 메시는 8개의 삼각형으로 구성되어 있다. 인덱스 배열 없이 이 메시를 표현하는 경우, 정점 배열은 (   )개의 원소를 가진다. 반면, 인덱스 배열을 사용하여 이 메시를 표현하는 경우, 정점 배열과 인덱스 배열은 각각 (   )개와 (   )개의 원소를 가진다. 괄호 안을 채워라.



4. 원점에 중심을 가지는 구를 폴리곤 메시로 모델링하기 위해 위도와 경도 모두 10° 간격으로 정점을 정의한다고 가정하자. 이 메시의 정점은 모두 몇 개인가?

5. 아래 그림과 같은 메시를 표현하는 정점 배열과 인덱스 배열을 채워라.



vertex array

0	(0,0,0)
1	(1,0,0)
2	
3	(0,0,1)

index array

0
2
1
3
2
0

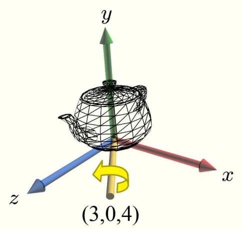
6. 한 물체의 오브젝트 공간 기저를 $\{u,v,n\}$으로 표기하자. 회전 후에 $u=(0,0,-1)$, $v=(1/\sqrt{2},1/\sqrt{2},0)$이 되었다. 이 회전의 역변환 행렬을 계산하라.

7. 아래 행렬은 회전 R에 이은 이동 T를 결합한 것이다. R과 T의 행렬을 각각 정의하라.

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

8. 하나의 3차원 점을 임의의 축을 중심으로 θ만큼 회전시키는 순차적 과정을 설명하라. 이 과정은 회전축을 주축 중 하나로 변환하는 단계, 그리고 벡터곱(cross product) 연산을 포함해야 한다.

9. 다음 그림의 주전자는 $(3,0,4)$를 중심으로 $90°$ 회전될 것이다. 이 같은 임의의 축 중심 회전은 세 개의 변환으로 분해된다: (1) $(3,0,4)$를 x축으로 회전, (2) x축 중심으로 $90°$ 회전, (3) (1)의 역변환. 이 세 단계의 행렬을 각각 계산하라. [힌트: (1)을 위해 $R_y(\theta)$를 사용하면 편리하다.]



$$R_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\theta & -sin\theta \\ 0 & sin\theta & cos\theta \end{pmatrix}$$

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

10. 두 개의 3차원 비표준 직교정규 기저 $\{a,b,c\}$와 $\{d,e,f\}$가 주어졌을 때, $\{a,b,c\}$에서 정의된 벡터를 $\{d,e,f\}$에서 정의된 벡터로 변환하는 3×3 행렬을 계산하라.

11. 세 개의 직교정규 벡터 a, b, c를 기준으로 하는 축소확대 변환: a, b, c 방향으로의 축소확대 인자는 각각 s_a, s_b, s_c로 표기한다. 한편, a, b, c 중 어느 것도 표준 기저 벡터(e_1, e_2, e_3)와 일치하는 것은 없고, a, b, c 간에는 $a\times b=c$의 관계가 성립한다. 우리가 구하고자 하는 축소확대 행렬은 세 개의 3×3 행렬의 곱으로 표현된다. 각각의 행렬을 계산하라.

12. 월드 공간의 기저 벡터와 원점은 다음과 같다: $e_1=(1,0,0)$, $e_2=(0,1,0)$, $e_3=(0,0,1)$, **O** $=(0,0,0)$. 한편, 월드 공간의 $(5,0,0)$에 원점이 있고 기저가 $\{(0,1,0),(-1,0,0),(0,0,1)\}$인 좌표계를 S라고 표기하자. 월드 공간의 점을 S로 변환하는 행렬을 정의하라.

13. 카메라 파라미터가 다음과 같이 주어졌다: **EYE** $=(0,0,-\sqrt{3})$, **AT** $=(0,0,0)$, **UP**$=(0,0,1)$.

(a) 카메라 공간의 기저와 원점은 무엇인가?

(b) 뷰 변환은 이동에 이은 회전으로 정의된다. 두 행렬을 계산하라.

14. 월드 공간에서 두 개의 카메라 파라미터 군 $\{$**EYE,AT,UP1**$\}$과 $\{$**EYE,AT,UP2**$\}$가 주어졌다. 각 좌표는 다음과 같다: **EYE** $=(18,8,0)$, **AT** $=(10,2,0)$, **UP1** $=(0,8,0)$, **UP2** $=(-13,2,0)$. 이를 기반으로 정의된 두 개의 카메라 공간이 일치하는지 아닌지 기술하라.

15. 두 개의 카메라 공간 S_1과 S_2가 주어졌을 때, S_1의 점을 S_2로 변환하는 한 가지 방법은, S_1의 점을 먼저 월드 공간으로 변환한 후 이 월드 공간 점을 S_2로 변환하는 것이다.

(a) S_1은 다음과 같은 카메라 파라미터에 의해 정의된다: **EYE** $=(0,0,3)$, **AT** $=(0,0,-1)$, **UP** $=(-1,0,0)$. S_1의 점을 월드 공간으로 변환하는 행렬을 계산하라.

(b) S_2는 다음과 같은 카메라 파라미터에 의해 정의된다: **EYE** $=(0,0,-3)$, **AT** $=(0,0,0)$, **UP** $=(0,1,0)$. 월드 공간의 점을 S_2로 변환하는 행렬을 계산하라.

16. 뷰포트(viewport)의 모퉁이 점이 $(10,20,1)$과 $(100,200,2)$로 주어졌다. 뷰포트 변환은 축소확대에 이은 이동으로 구성된다.

(a) 축소확대 행렬을 계산하라.

(b) 이동 행렬을 계산하라.

17. GL 프로그램이 glViewport(10, 20, 200, 100)과 glDepthRange(0, 1)을 호출하였다. 뷰포트 변환은 축소확대에 이은 이동으로 구성된다.

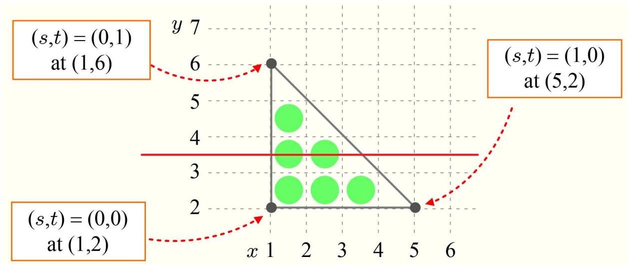
(a) 축소확대 행렬을 계산하라.

(b) 이동 행렬을 계산하라.

18. 아래는 투영 변환 행렬인데, $n=1$, $f=2$, $fovy=\pi/2$이며, 뷰 프러스텀의 나비와 높이는 같다. 카메라 공간의 점 $(0,2,-2)$와 $(0,0,-1)$에 투영 변환 및 원근 나눗셈을 적용한 후 그 중간점을 계산하라. 한편, $(0,2,-2)$와 $(0,0,-1)$의 중간점인 $(0,1,-1.5)$에 투영 변환 및 원근 나눗셈을 적용하라. 두 결과는 같은가 다른가? 그 이유를 설명하라.

$$\begin{pmatrix} \frac{cot\frac{fovy}{2}}{aspect} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & cot\frac{fovy}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{f+n}{f-n} & -\frac{2nf}{f-n} \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

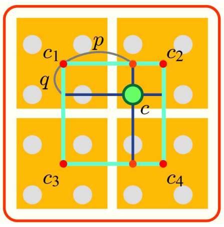
19. 아래 그림은 스크린 공간 삼각형과 교차하는 스캔라인을 보여주는데, 스캔라인의 y좌표는 3.5이다.



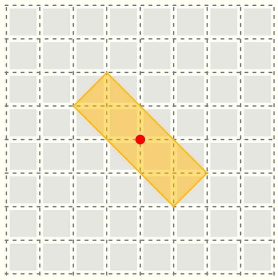
(a) 삼각형 두 변이 스캔라인과 교차하는 점에서의 텍스처 좌표를 계산하라.

(b) 스캔라인 상에 놓인 두 프래그먼트의 텍스처 좌표를 계산하라.

20. 아래 그림은 네 개의 텍셀을 가진 텍스처 공간에 16개의 픽셀이 투영된 것을 보여준다. 각 텍셀의 색상을 c_i라고 할 때, 겹선형보간으로 결정되는 픽셀 색상 c를 정의하라.



21. 한 픽셀이 8×8 해상도의 텍스처 공간에 투영되었다. 아래 왼쪽 그림의 동그라미는 픽셀, 직사각형은 그 픽셀의 발자국(footprint)을 나타낸다.



level 0

9	9	9	9	9	7	0	1
9	9	9	9	7	9	8	3
6	5	8	9	2	3	2	1
5	8	8	7	7	0	4	1
7	8	1	1	1	1	3	3
8	5	1	5	1	1	0	2
4	9	9	9	1	2	4	8
8	3	9	9	4	1	0	0

level 0

9	9	8	3
6	8	3	2
7	2	1	2
6	9	2	3

level 1

(a) 텍스처 색상은 회색조이며, 오른쪽 그림은 밉맵의 0번과 1번 레벨 텍스처를 보여주는데, 숫자는 텍셀 밝기를 나타낸다. 이와 같은 방식으로 2번과 3번 레벨 텍스처를 그려라.

(b) 삼선형보간 기법으로 밉맵을 필터링하고, λ 계산을 위해 픽셀 발자국의 '긴' 변 길이를 사용한다고 가정하자. 어떤 레벨이 선택되는가? 또한, 각 레벨에서의 필터링 결과를 계산하라.

(c) 삼선형보간 기법으로 밉맵을 필터링하고, λ 계산을 위해 픽셀 발자국의 '짧은' 변 길이를 사용한다고 가정하자. 어떤 레벨이 선택되는가? 또한, 각 레벨에서의 필터링 결과를 계산하라.

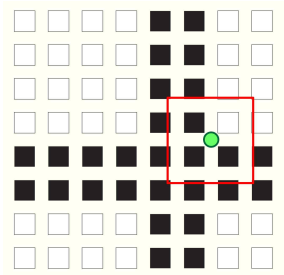
22. 의료 영상 분야에서는 종종 3차원 텍스처링이 필요하다. $2^l \times 2^l \times 2^l$ 해상도를 가지는 3차원 이미지를 생각해보자.

(a) 이를 이용해 어떻게 밉맵을 만들 것인가?

(b) 이 밉맵은 총 몇 개의 레벨을 가지는가?

(c) 밉맵 최상위 레벨 텍스처의 해상도는 얼마인가?

23. 다음 그림은 두 색상으로 구성된 텍스처로, 검은색 텍셀은 0, 밝은 회색 텍셀은 0.8 값을 가진다. 동그라미로 표시된 픽셀이 4개 텍셀의 한가운데로 투영되었는데, 이 픽셀의 발자국은 변의 길이가 $2\sqrt{2}$인 정사각형이다.



(a) 밉맵의 모든 레벨은 근접점 샘플링으로 필터링되고, 그 결과는 선형보간된다. 근접점 샘플링 시, 픽셀로부터 같은 거리에 있는 텍셀이 여러 개 존재한다면 위의 혹은 오른쪽 위의 텍셀을 선택한다. 픽셀의 최종 텍스처링 색상은 무엇일까?

(b) 밉맵의 모든 레벨이 겹선형보간으로 필터링되고 그 결과가 선형보간된다면, 픽셀의 최종 텍스처링 색상은 무엇일까?

24. 아래의 퐁 모델은 하나의 방향성 광원을 가정하여 정의되었다.

$$\max(n \cdot l, 0) s_d \otimes m_d + (\max(r \cdot v, 0))^{sh} s_s \otimes m_s + s_a \otimes m_a + m_e$$

(a) 여러 개의 방향성 광원을 다룰 수 있도록 위 식을 수정하라.

(b) 방향성 광원을 점 광원으로 대체해 보자. 물체 표면의 한 점에 입력되는 빛의 세기는 그 점과 광원 사이의 거리 제곱에 반비례한다. 이에 맞춰 위 식을 수정하라.

25. 스페큘러 반사 구현을 위해서는, 노멀 n과 빛 벡터 l을 이용해 반사 벡터 r을 계산해야 한다. n과 l의 내적을 이용해 r을 정의하라.

26. 하나의 픽셀을 놓고 네 개의 삼각형이 경쟁하고 있다. 이들은 해당 픽셀 위치에서 서로 다른 z 값을 가지고 있다. 삼각형들이 임의의 순서로 처리된다면, 이 픽셀에 대해 평균 몇 번의 z-버퍼 쓰기 연산이 수행되는가?

27. 하나의 픽셀을 놓고 경쟁하는 세 개의 삼각형이 이 픽셀 위치에서 다음과 같은 $RGBA$ 색상과 z값을 가지고 있다: $\{(1,0,0,0.5),0.25\}$, $\{(0,1,0,0.5),0.5\}$, $\{(0,0,1,1),0.75\}$. 삼각형은 뒤에서부터 앞으로 차례차례 처리된다. 픽셀의 최종 색상을 계산하라.

28. 게임 등에서는 야외 장면의 현실감을 높이기 위해 종종 안개(fog)를 사용한다. 안개 중 가장 간단한 것은 이른바 선형 안개(linear fog)로, 뷰 프러스텀 내부에 안개가 고루 분포하게 만드는 것이다. 전방 평면(near plane)에서 후방 평면(far plane)으로 갈수록 안개가 짙어져서, 전방 평면에 위치한 물체는 완벽하게 보이고 후방 평면에 위치한 물체는 완전히 안개에 가려 보이지 않게 해야 한다. 이러한 선형 안개를 위해 다음과 같은 블렌딩 기법을 사용한다.

$$c = f c_f + (1-f) c_o$$

여기에서 c는 안개가 혼합된 최종 색상이고, f는 카메라로부터 거리가 멀어질수록 안개가 짙어지는 정도를 나타내며, c_f는 안개의 색상이고, c_o는 프래그먼트의 색상이다. 전방 평면까지의 수직 거리 N과 후방 평면까지의 수직 거리 F를 이용하여 f를 정의하라.

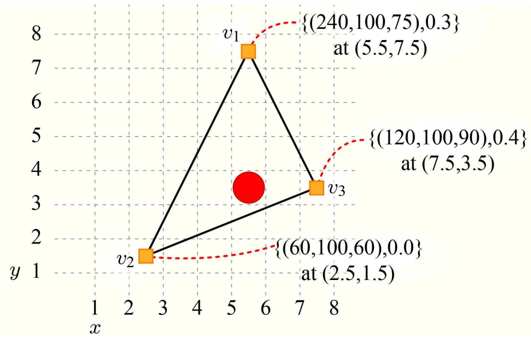
29. 오브젝트 공간의 기저를 $\{u,v,n\}$으로 표기하자. 물체가 n을 중심으로 θ_n만큼 회전한 후, 다시 u를 중심으로 θ_u만큼 회전했다고 하자. 오브젝트 공간 오일러 변환 $R_u(\theta_u)R_n(\theta_n)$을 월드 공간 회전 행렬의 결합으로 표현하라. 월드 공간의 x, y, z축을 중심으로 하는 회전은 각각 R_x, R_y, R_z로 표기한다.

30. 벡터 $(0,1,0)$을 또 다른 벡터 $(1,0,1)$ 중심으로 $90°$ 회전시키자.

(a) $(1,0,1)$ 중심 $90°$ 회전을 쿼터니언으로 표현하라. [힌트: 쿼터니언의 허수부는 sine 함수를 가지고 있고, 실수부는 cosine 함수를 가지고 있다.]
(b) 회전 대상인 $(0,1,0)$을 쿼터니언으로 표현하라.
(c) q 와 p 를 각각 위 (a)와 (b)항의 쿼터니언이라고 할 때, $\mathrm{q\,p\,q}^*$ 는 $(0,1,0)$을 $(1,0,1)$ 중심으로 $90°$ 회전시키는 것을 의미한다. $\mathrm{q\,p}$ 와 q^* 를 계산하라. [힌트: $ij=k$.]

31. 단위 벡터 u 를 중심으로 θ만큼의 회전을 표현하는 쿼터니언을 q 라 표기하자. q 와 $-\mathrm{q}$ 는 동일한 회전을 표현함을 증명하라.

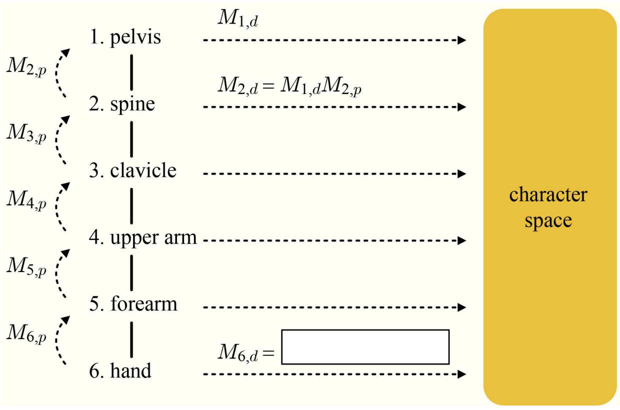
32. 스크린 공간에 다음과 같은 삼각형이 있다. 정점별 속성은 $\{(R,G,B),z\}$이다.



(a) 세 정점 v_1, v_2, v_3를 기준으로, $(5.5,3.5)$에 놓인 픽셀의 무게중심 좌표를 계산하라.

(b) 이 무게중심 좌표를 이용해 $(5.5,3.5)$의 R과 z를 계산하라.

33. 아래 그림은 드레스 포즈 골격의 계층 구조 및 이와 관련된 변환을 보여준다.

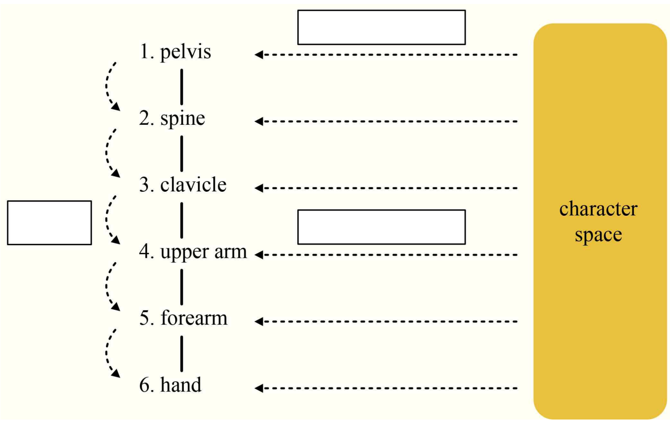


(a) $M_{2,p}$가 무엇인지 설명하라.

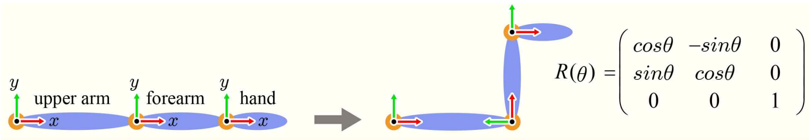
(b) $M_{2,d}$가 무엇인지 설명하라.

(c) $M_{6,d}$의 빈칸을 채우라.

(d) 아래 그림은 위 그림의 역변환을 보여준다. 빈칸을 채워라.



34. 아래에서 왼쪽 그림은 팔의 드레스 포즈를 보여준다. 문제를 간단하게 만들기 위해서, 위팔의 뼈 공간을 캐릭터 공간이라 하자. 아래팔과 손의 뼈 공간 원점은 캐릭터 공간 기준으로 각각 $(12,0)$과 $(22,0)$이다. 드레스 포즈의 아래팔이 $90°$, 손이 $-90°$ 회전하여 오른쪽에 보인 애니메이션 포즈를 만들었다.



(a) 드레스 포즈에서 아래팔과 손의 부모 변환 행렬 $M_{f,p}$와 $M_{h,p}$를 계산하라.

(b) $M_{f,p}$와 $M_{h,p}$를 이용하여, 아래팔과 손에 속한 정점을 캐릭터 공간으로 변환하는 행렬 $M_{f,d}$와 $M_{h,d}$를 계산하라.

(c) $M_{f,d}^{-1}$과 $M_{h,d}^{-1}$을 계산하라.

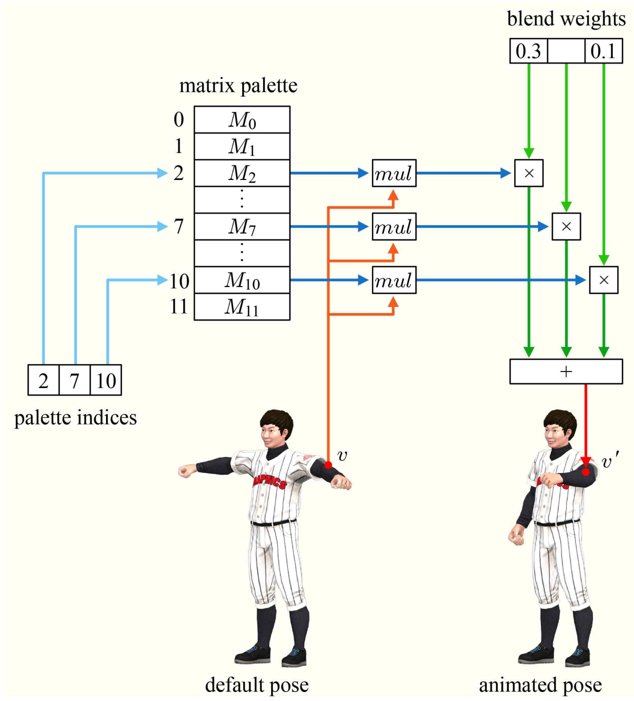
(d) 아래팔과 손의 애니메이션을 묘사하는 지역 변환 행렬 $M_{f,l}$과 $M_{h,l}$을 계산하라.

(e) 아래팔에 속한 정점을 애니메이션하고 이를 다시 캐릭터 공간으로 변환하는 행렬 $M_{f,a}$를 계산하라.

(f) 손에 속한 정점을 애니메이션하고 이를 다시 캐릭터 공간으로 변환하는 행렬 $M_{h,a}$를 계산하라.

(g) 아래팔의 뼈 공간에서 $(8,0)$의 좌표를 가지는 정점을 v라고 표기하자. 이는 아래팔과 손에 의해서만 영향 받는다. 두 뼈의 블렌딩 가중치는 동일하다. 스키닝 알고리즘을 사용하여 애니메이션 포즈에서 v의 캐릭터 공간 좌표를 계산하라.

35. 아래 그림은 스키닝 알고리즘이 어떻게 구현되는지 보여준다.



(a) 위 캐릭터는 총 몇 개의 뼈를 가지고 있는가?

(b) 한 정점에 영향을 주는 뼈의 개수는 몇 개인가?

(c) 오른쪽 위 빈칸을 채우라.

(d) 행렬 팔레트의 각 원소 M_i는 두 개 행렬의 결합인데, 하나는 애니메이션 전 과정에 걸쳐 고정불변이고, 다른 하나는 매 프레임 갱신된다. 이들 행렬의 역할이 무엇인지 기술하라.

36. 정점 배열 데이터.

(a) 캐릭터에 탄젠트 공간 노멀 매핑을 적용하려고 한다. 정점 배열에 저장해야 하는 데이터를 모두 나열하라.

(b) 위의 캐릭터에 스키닝 애니메이션도 적용하려고 한다. 정점 배열에 저장해야 하는 데이터를 모두 나열하라.

37. 아래는 탄젠트 공간 노멀 매핑을 위한 정점 쉐이더이다. 빈칸을 채우라.

```
#version 300 es

uniform mat4 worldMat, viewMat, projMat;
uniform vec3 eyePos, lightDir;

layout(location = 0) in vec3 position;
layout(location = 1) in vec3 normal;
layout(location = 2) in vec2 texCoord;
layout(location = 3) in vec3 tangent;

out vec3 v_lightTS, v_viewTS;
out vec2 v_texCoord;

void main() {
    vec3 worldPos = (worldMat * vec4(position, 1.0)).xyz;
    vec3 Nor = normalize(transpose(inverse(mat3(worldMat))) * normal);
    vec3 Tan = ______________________________;
    vec3 ____________________;
    mat3 tbnMat = transpose(mat3(Tan, Bin, Nor)); // row major

    v_lightTS = tbnMat * normalize(lightDir);
    v_viewTS = ________________________;

    v_texCoord = texCoord;
    gl_Position = projMat * viewMat * vec4(worldPos, 1.0);
}
```

38. 정점 배열에 저장된 정점별 탄젠트 공간의 기저 $\{T, B, N\}$이 정점 쉐이더에게 제공되었다. 탄젠트 공간 노멀 벡터를 월드 공간으로 변환하는 행렬을 구하라.

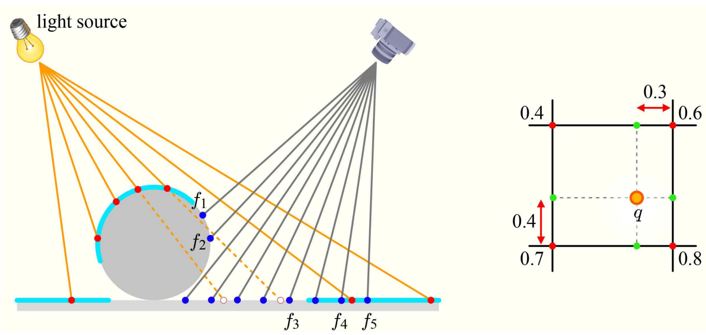
39. 아래는 탄젠트 공간 노멀 매핑을 위한 프래그먼트 쉐이더이다. 빈칸을 채우라.

```
#version 300 es

precision mediump float;

uniform sampler2D colorMap, normalMap;
uniform vec3 srcDiff; // Sd

in vec3 v_lightTS;
in vec2 v_texCoord;

layout(location = 0) out vec4 fragColor;

void main() {
    // normal map access
    vec3 normal = ____________________;

    vec3 light = __________;

    // diffuse term
    vec3 matDiff = ____________________;
    vec3 diff = max(dot(normal, light), 0.0) * srcDiff * matDiff;

    fragColor = vec4(diff, 1.0);
}
```

40. 쉐도우맵 필터링.

(a) 왼쪽 그림에서, 첫 번째 패스에서 광원 기준으로 샘플한 점과, 두 번째 패스에서 카메라 기준으로 샘플한 점을 구분하자. 근접점 샘플링을 통해 쉐도우맵을 필터링하되 바이어스는 사용하지 않는다는 가정 하에, f_1부터 f_5까지 5개의 프래그먼트 각각에 대해 빛을 받는지 혹은 그림자가 지는지 판단하라.

(b) 오른쪽 그림에서 q는 쉐도우맵에 투영된 프래그먼트인데 그 깊이 값은 0.5이다. 또한, q를 둘러싼 네 개의 텍셀에 대해서도 깊이 값이 표시되었다. 이 경우 PCF가 리턴하는 값은 얼마인가?



41. 퐁 모델의 스페큘러 항에서 반사 벡터는 $2n(n \cdot l) - l$로 정의된다(여기서 n은 노멀, l은 빛 벡터이다). 반면, 광선 추적법에서 반사 광선의 방향은 $I - 2n(n \cdot I)$로 정의된다(여기서 I는 1차 광선의 방향이다). 왜 이런 차이가 발생하는가?

42. 반지름이 2이고 원점을 중심으로 가지는 구에 대해 광선 추적법을 적용해 보자.

(a) 1차 광선의 시작점은 $(10, 1, 0)$이고 방향 벡터는 $(-1, 0, 0)$이다. 이 광선을 t의 매개변수 방정식으로 표현하라.

(b) 구의 함수는 $x^2 + y^2 + z^2 - 2^2 = 0$이다. 이 함수와 광선의 매개변수 방정식을 이용하여 구와 광선의 교차점을 계산하라.

(c) 반사 광선을 계산하기 위해서는 교차점에서의 노멀이 필요하다. 본 문제에서는 노멀을 쉽게 계산할 수 있다. 어떻게 계산할 것인가?

(d) 반사 광선의 방향은 $I - 2n(n \cdot I)$로 정의된다(여기서 I는 1차 광선의 방향이다). $I - 2n(n \cdot I)$를 계산하라.

43. 큐브맵에 사용할 여섯 개의 이미지를 렌더링을 통해 얻고자 한다. 각 이미지는 뷰 변환과 투영 변환을 이용해 생성된다.

(a) 여섯 개의 이미지를 생성하는 데 서로 다른 뷰 변환이 사용되는가? 맞는지 틀리는지 답하고 그 이유를 설명하라.

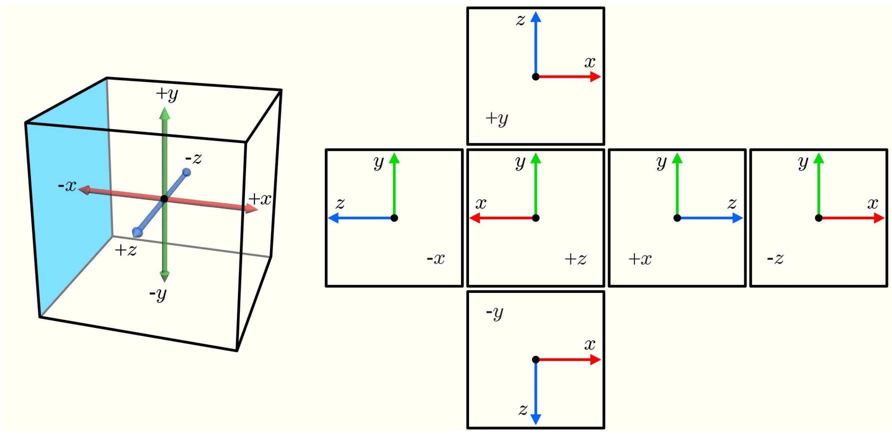
(b) 여섯 개의 이미지를 생성하는 데 서로 다른 투영 변환이 사용되는가? 맞는지 틀리는지 답하고 그 이유를 설명하라.

44. 아래 그림은 큐브맵의 여섯 개 이미지를 펼쳐 놓은 것이다. 반사 벡터 R을 계산한 결과 그 방향은 $(0.5, 0.4, -0.2)$였다.

(a) 반사 벡터는 어느 면과 교차하는가?

(b) 해당 면에서 교차점의 좌표를 계산하라.

(c) 이 교차점을 이용해 해당 면에 저장된 텍스처에 접근해야 한다. 교차점으로부터 텍스처 좌표를 계산하라.



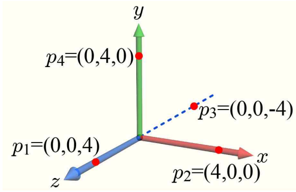
45. 3차 베지어 곡선의 식은 $(1-t)^3 p_0 + 3t(1-t)^2 p_1 + 3t^2(1-t)p_2 + t^3 p_3$이다. 4차 베지어 곡선의 식을 작성하라.

46. 세 개의 2차원 점이 주어졌다: $\{(1,0), (0,1), (-1,0)\}$

(a) 이 점 모두를 지나는 2차 베지어 곡선이 있는데, $(0,1)$에서의 매개변수 t는 0.5이다. 이 베지어 곡선의 컨트롤 포인트를 계산하라.

(b) 이 베지어 곡선에서 $t = 0.75$인 점의 좌표를 계산하라.

47. 2차 베지어 곡선 $p(t)$를 따라 이동하는 카메라가 있다. 이 베지어 곡선의 컨트롤 포인트는 p_1, p_2, p_3이다. **EYE**는 곡선 $p(t)$에 놓이고, **AT**은 원점과 p_4를 연결하는 선분 $q(t)$를 따라 움직인다. **UP**은 월드 공간의 y축으로 고정되어 있다.



(a) $p(t)$와 $q(t)$ 모두 $[0,1]$의 범위를 가지는 매개변수 t에 의해 정의된다. $t=0.5$일 때 $p(t)$와 $q(t)$를 계산하라.

(b) $t=0.5$일 때 카메라 공간의 기저를 계산하라.

(c) $t=0.5$일 때 뷰 변환을 구성하는 이동 및 회전 행렬을 계산하라.

48. 어떤 베지어 패치가 아래와 같은 컨트롤 포인트 행렬로 정의되었다. 이 패치의 정의역의 u축은 수평 방향, v축은 수직 방향이다.

$$\begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0,0,6) & (0,3,3) & (0,6,6) \\ (3,0,0) & (3,3,0) & (3,6,0) \\ (6,0,0) & (6,3,0) & (6,6,0) \end{pmatrix}$$

(a) $(u,v)=(1,0)$에 해당하는 곡면상의 점 좌표는 무엇인가?

(b) 반복적 겹선형보간 기법을 사용하여 $(u,v)=(0.5,0.5)$일 때 곡면 위의 점의 좌표를 계산하라.