

[CSE4170] 기초 컴퓨터 그래픽스

HW 4: OpenGL Lighting Equation 요약 설명

담당교수: 임인성

학번: 20231632

이름: Jumagul Alua

$$\mathbf{c} = \mathbf{e}_{cm} + \mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cs} + \sum_{i=0}^{n-1} (att_i)(spot_i)[\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli} + (\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli})\mathbf{d}_{cm} * \mathbf{d}_{cli} + (f_i)(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{s_{rm}}\mathbf{s}_{cm} * \mathbf{s}_{cli}]$$

이 공식은 그 전에 수업 시간에 배운 풍(Phong) 조명 모델을 여러 면에서 확장하여 실제와 더 유사한 조명 효과르 만들기 위한 식이다. 이 식을 통해 한 개의 광원이 물체 표면의 어떤 식으로 표현을 하는지를 알 수 있다. 먼저, 변수 하나하나가 무엇을 의미하는지 살펴보자.

- \mathbf{e}_{cm} : 물질의 방사 색깔(emissive property)

이 인자는 물체 자체가 스스로 빛을 내는 것처럼 보이게 한다. 이는, 외부 광원의 영향을 받지 않는다는 것이다. 예를 들면, 빛을 내는 LED 화면이나 컴퓨터, 핸드폰의 모니터가 이 값을 설정해 표현할 수 있다.

- \mathbf{a}_{cm} : 물질의 앰비언트(ambient) 색깔, \mathbf{a}_{cs} : 장면이 전역 앰비언트 광원 색깔

이 두개의 색깔을 곱한 것으로 i번 광원에 대한 앰비언트 반사 색깔을 얻게 된다. 이는 모든 물체가 완전히 어두워지는 것을 방지하고, 그림자 부분에도 어느 정도의 밝기를 유지하게 해준다.

- $\sum_{i=0}^{n-1}$: 이 기호는 i=0부터 위에 있는 n-1까지의 모든 항을 더하는 것이다. 이 조명 방정식이 여러

개의 광원(n개의 광원)의 효과를 합산하여 최종 색상을 계산해준다.

- $\mathbf{a}_{cm} * \mathbf{a}_{cli}$: 특정 물체가 특정 광원에서 나오는 주변광을 받았을 때 최종적으로 반사하는 앰비언

트 색상을 계산하는 것이다. 이 두 색상 값을 곱하여 각 색상(R, G, B)끼리 서로 곱해진다.

- \mathbf{d}_{cm} : 물체의 난반사(diffuse) 색상이다.

이 물체가 난반사를 얼마나 반사하는지를 나타내고, 빛이 물체 표면에 부딪혀 모든 방향으로 균일하게 반사되게 된다. 이 인자는 물체의 기본적인 색상으로 인식되는 부분이 된다.

- d_{cli} : i 번째 광원이 기여하는 난반사 색상이다.

특정 광원이 확산광에 얼마나 기여하는지를 나타낸다.

- $\mathbf{n} \odot \overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$: \mathbf{n} 은 현재 프래그먼트의 normal 벡터이고, $\overrightarrow{\mathbf{VP}}_{pli}$ 는 프래그먼트에서 광원 i 의 위치로

향하는 단위 벡터이다. 난반사 빛이 표면에 수직으로 바칠때 가장 강하고, 기울어지게 바칠수록 약해지는데, 이 내적 값이 바로 그 각도 효과를 계산해준다. 내적 값이 1에 가까울수록 빛을 정면으로 받는 것이고, 0에 가까울수록 기울어지게 받는 것이다.

- f_i : i 번째 광원의 정반사(specular) 빛 값이다.

이 광원이 얼마나 강한 정반사광을 내는지를 나타낸다.

- $(\mathbf{n} \odot \hat{\mathbf{h}}_i)^{srm}$: 이 또한 내적으로 포함하고 있으며, $\hat{\mathbf{h}}_i$ 는 하프벡터(half-vector)이라고 하며, 이 벡

터는 빛이 들어오는 방향 벡터와 카메라에서 프래그먼트를 바라보는 방향 벡터의 중간 방향을 가리키는 단위 벡터이다. 이 벡터는 일반적으로 정반사 공식을 계산할때 쓰이며, L 벡터랑 V 벡터의 중간을 찾아준다. srm 은 물체의 광택(shininess) 계수로, 이 값이 클수록 정반사 하이라이트가 더 작고 날카롭게 나타나 반짝이는 느낌을 준다. 이 식은 풍 모델의 핵심인 정반사 하이라이트를 계산하는 부분이다.

- S_{cm} : 물체의 정반사 색상이고 이 물체가 정반사광을 얼마나 반사하는지를 나타낸다.
- S_{cli} : i 번째 광원의 정반사 색상이고 각 광원이 정반사광에 얼마나 기여하는지를 나타낸다.

우리가 수업 시간에 이론적으로 배웠던 풍 조명 모델은 기본적인 광원 하나에 대해 세 가지 구성 요소(앰비언트, 난반사, 정반사)를 계산하여 물체의 색상을 결정했다.

$$I_{a\lambda} \cdot k_{a\lambda} + I_{l\lambda} \cdot \{k_{d\lambda} \cdot (N \cdot L) + k_{s\lambda} \cdot (R \cdot V)^n\}$$

그리고 확장된 조명 방정식은 이 기본적인 풍 모델을 훨씬 더 현실적이고 유연하게 확장했다.

- 여러 광원 지원: 가장 큰 특징은 시그마(Σ) 기호에서 볼 수 있듯이, 단일 광원이 아니라 여러 개의 광원이 장면에 동시에 존재하며 각각이 물체에 미치는 영향을 합산한다는 점이다. 풍 모델은 보통 하나의 광원을 가정했지만, 이 공식은 여러 광원의 효과를 더할 수 있게 해준다.
- 광원별 색상 분리: 이 공식에서는 각 광원 i 가 앰비언트, 난반사, 정반사에 해당하는 색상 값을 개별적으로 가지게 된다. 예를 들어, 붉은색 난반사를 내는 광원과 푸른색 정반사광을 내는 광원을 따라 설정할 수 있다.

- 자체 빛 색상: 기본 풍 모델에는 없는 물질의 방사 색상 인자가 추가되어, 물체 자체가 빛을 내는 것처럼 보이게 할 수 있게 되었다.

이 OpenGL 조명 반정식은 기본적인 풍 조명 모델의 아이디어를 기반으로 하면서도, 여러 광원, 광원의 특성과 스포트라이트, 그리고 거리에 따른 빛의 감쇠와 같은 현실적인 요소를 추가하여 더욱 복잡하고 현실적인 조명 환경을 시뮬레이션할 수 있도록 확장된 것이다. 이걸 우리가 수업 시간에 배포한 코드 예시들을 하나씩 비교해보면서 정확히 알 수 있다.

스팟 광원 효과:

스팟라이의 효과는 스포트라이트 방향 벡터와 프래그먼트에서 광원으로 향하는 벡터 간의 각도에 따라 결정된다. 이 각도를 사용해 빛이 얼마나 집중되는지, 즉 스포트라이트의 밝기가 얼마나 강한지 결정하게 된다.

내적을 사용한 각도 계산:

우리는 먼저 두 벡터, 즉 스포트라이트 방향 벡터와 프래그먼트에서 광원까지의 벡터의 내적을 계산한다. 내적 공식은 다음과 같다:

$$L \cdot D = |L||D|\cos(\theta)$$

여기서, L 은 프래그먼트에서 광원까지의 벡터, D 는 스포트라이트 방향 벡터, θ 는 두 벡터가 이루는 각도이다. 벡터의 내적을 계산하고 정규화된 벡터를 사용하면, 벡터의 크기를 고려하지 않아도 되므로 내적 결과를 두 벡터 간의 각도를 알 수 있는 코사인 값이 된다. 이때,

- 코사인 값이 1이면 두 벡터가 정확히 같은 방향을 가리키게 된다.
- 코사인 값이 0이면 두 벡터가 수직(90도 각도)임을 의미한다.
- 코사인 값이 -1이면 두 벡터가 정확히 반대 방향을 가리킨다는 의미이다.

스팟라이트 효과를 계산하는 방법은, $\text{Spotlight effect} = \max(\cos(\theta)^{\text{exp}}, 0)$ 이와 같다.

그리고, 스포트라이트 효과는 내적 결과로 계산된 코사인 값과 감쇠 지수를 결합하여 최종적으로 결정된다. 프래그먼트가 스포트라이트 원뿔 범위 내에 있을수록, 즉, $\cos(\theta)$ 값이 크면 스포트라이트의 효과는 강하게 나타난다. 반대로, 범위를 벗어나면 효과는 약해지고, 결국 0으로 줄어든다.

빛의 감쇠 효과:

빛의 감쇠 효과는 광원에서 프래그먼트까지의 거리가 멀어질수록 빛의 강도가 점점 줄어드는

현상이다. 이 감쇠 효과를 계산하는 공식은 다음과 같다: $\frac{1}{k_{0i} + k_{1i} \cdot d(V) + k_{2i} \cdot d(V)^2}$ 이때, $d(V)$ 는 물체의 꼭지점까지의 거리를 의미한다. 만약 광원이:

- 점 광원이라면, 그 광원에 설정된 색깔에다가 이 값을 곱해 빛의 감쇠 효과를 낸다.
- 평행 광원이라면, 빛의 감쇠 효과가 없으므로, 위에 식의 값 대신에 1.0 값을 사용하게 된다.