

광선 추적법과 공간 분할을 이용한 입체 도형의 표현

○ 김 영 일 조 동 욱 최 병 욱
한양대학교

The Representation of 3-D Objects Using Ray Tracing and Space Subdivision

Y. I. Kim D. U. Cho E. U. Choi
Hanyang University

ABSTRACT

In this paper, a new ray tracing algorithm which uses space subdivision method is introduced.

In order to reduce huge number of ray-surface intersection calculation, the space is subdivided as lattice that contains minimum number of objects.

With lattice structure, the process that calculates unnecessary ray-surface intersection is eliminated

1. 서론

Computer Graphics는 계산기의 발달과 더불어 계산기의 연산 결과인 수치적인 정보를 사람의 시각을 통하여 보다 더 효율적으로 이해할 수 있도록 하기 위한 방편으로 시작되었다. [1,2,3]

초기에는 계산 결과의 도표 작성, bar graph, pie chart 등 2차원적인 정보의 표현에 중점을 두었으나 최근에는 건축, 기계 설계등의 CAD system과 같이 복잡한 3차원 물체를 2차원 화상으로 표현하는 방법이 요구되고 있다.

그러나 3차원 물체를 2차원 화상에 표현할 때 그림(1)과 같이 다른 물체에 의해 가려지는 부분까지 화상에 나타난다. 따라서 가린 물체와 가려지는 물체를 구별하여 실제로 보이는 부분만을 화상에 표시하는 은면 제거 algorithm이 필요하고 나아가서 물체의 명암, 그림자, 빛의 굴절등을 포함하여 물체를 좀 더 사실적으로 표현하는 방법이 필요하게 되었다. [4]

이러한 사실적인 물체 묘사는 공학적인 목적뿐만 아니라 SF영화등의 동화상 작성, flight simulator등에도 이용된다. 본 논문에서는 사실적인 물체 묘사를 위하여 광선 추적법을 이용하였고 광선 추적법의 최대 걸림인 계산량의 방대한 줄이기 위한 방법으로 격자형 공간 분할을 제안한다. 분할된 각 공간에는 최소한의 물체만을 포함하게 하여 그 공간 외부에 있는 물체와의 불필요한 교점 계산을 줄일 수 있다.

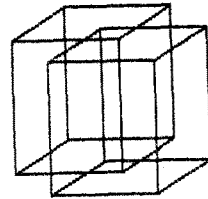


그림 1. 은면 제거를 하지 않은 경우

2. 광선 추적법의 개요

사람이 물체를 본다는 것은 광원으로 부터의 빛이 물체의 표면을 통하여 눈에 들어오는 것을 느끼는 것이다.

광선 추적법의 기본 개념은 이와 같이 광원에서 나오는 빛이 어떤 경로를 거쳐 시점에 도달하는가를 추적하는 것이다. 이 경로에는 물체 표면에서의 반사, 물체 표면을 통한 빛의 굴절, 부가를 포함하고 더욱 정교한 영상을 얻기 위하여는 빛의 양자 역학적인 성질까지도 포함시킨다.

그러나 광원으로 부터 광선을 추적하는 경우는 시점에 도달하는 광선이 매우 적으므로 시점에서 부터 역으로 광선추적을 행한다. 즉 그림(2)와 같이 시점에서 화상의 한 점을 지나는 직선의 방정식을 생성하고 이 직선과 물체와의 교점을 구하여 그물체의 표면 정보와 조명 정보에 의해 물체의 명암, 색을 결정한다. [1]

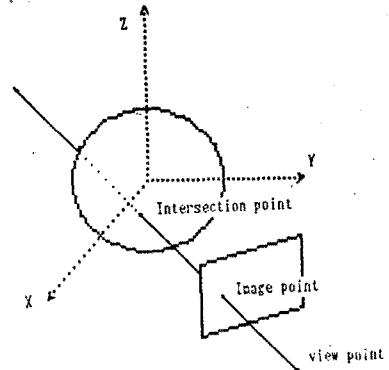


그림 2. 역 추적 광선

3. 조명 및 빛의 반사 Model

광선 추적법으로 물체의 그림을 구하였을 때 그 물체의 표면 정보와 빛의 modeling에 의한 조명 정보를 이용하여 물체의 밝기를 정하여야 한다. 또한 표면 정보가 같은 물체일지라도 원근에 따라 밝기가 다르므로 이를 고려한 명암 처리의 modeling 방법이 필요하다.[5]

(1) 난반사 Model (Diffuse Reflection Model)

난반사 model은 Lambert의 cosine법칙을 이용한 modeling 방법으로 \vec{N} 을 surface normal vector, \vec{L} 을 광원 방향 vector 라할 때 표면의 밝기는 $\vec{L} \cdot \vec{N}$ 에 비례한다.

$$I = I_p K_d \max(\theta, \vec{L} \cdot \vec{N}) \quad -- (1)$$

여기서 I_p 는 입사광의 광도, K_d 는 난반사 계수이다.

빛의 방향과 반대편에 있는 표면은 Lambert의 법칙에 의하면 밝기는 θ 이 되지만 실제로는 의미하게 보인다.

이와같은 포위광(ambient light)을 나타내기 위하여 식

(1) 에 일정상수 I_a 를 더하고 원근에 따른 밝기의 차이를 나타내기 위하여 시점과의 거리 R제곱의 역을 곱하여 modeling한다. 그러나 R제곱으로 modeling하면 밝기의 변화가 너무 심하므로 R에 일정상수 k를 더한 것의 역을 곱하여 근사화한다.

$$I = I_a + I_p K_d \max(\theta, \vec{L} \cdot \vec{N}) / (R + k) \quad -- (2)$$

(2) 경면 반사 Model (Specular Reflection Model)

표면이 매끄러운 물체의 경우는 물체 고유의 색 이외에 highlight 가 발생하는 부분이 생긴다. 앞의 난반사 model 만을 이용하면 이와같은 현상은 표현할 수 없다.

이러한 highlight 를 modeling 하기 위해 Phong 은 입사각과 같은 각도로 반사하는 빛이 가장 밝다는것을 이용한 modeling 방법을 제안하였다.

$$I = I_a + I_p (K_d \max(\theta, \vec{L} \cdot \vec{N}) + K_s \cos^2 \theta) / (R + k) \quad -- (3)$$

여기서 K_s 는 경면 반사 계수, θ 는 시선각과 입사각의 차, n 은 물체 고유의 경면 반사 정도를 나타내는 지수로서 완전반사일 경우 n 은 무한대이다.

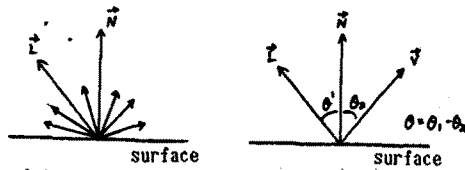


그림 3. (a) 난반사 Model, (b) 경면 반사 Model

(3) Global Illumination Model

경면 반사 model 을 이용할 경우 highlight 등의 현상을 사실적으로 묘사할 수 있지만 거울과 같은 반사체의 경우 거울에 맺히는 영상을 표현할 수 없다.

따라서 광원에서 오는 빛 뿐만 아니라 다른 물체를 거쳐 오는 빛도 고려한 modeling 방법이 요구되었는데 1980 년 Turner Whitted 는 반사되어 오는 빛과 굴절되어 오는 빛을 고려하여 다음 식으로 modeling 하였다.

$$I = I_a + I_p K_d \max(\theta, \vec{L} \cdot \vec{N}) + K_s S + K_t T \quad -- (4)$$

여기서 S는 시선각과 같은 방향에서 반사되어 오는 빛의 광도, T는 snell 의 법칙에 의한 각도로 투과되어오는 빛의 광도를 나타낸다.

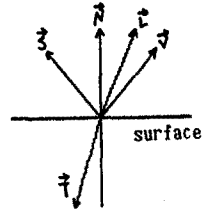


그림 4. Turner Whitted 의 modeling 방법

Color 로 묘사하기 위하여는 빛의 3원색 각각에 대한 밝기를 구한 후, 각 성분을 합하여 modeling 한다.

4. 물체의 정의

물체는 크게 경계선 표현에 의한 wireframe model 과, half-space 의 intersection 으로 구성된 solid model로 나눌 수 있다. wireframe model을 이용하면 물체의 표면이 곡면일 경우, surface normal 등 물체의 표면 정보를 나타내지 못하므로 본 논문에서의 물체는 solid model로 정의하였다.

본 논문에서 사용한 물체는 half-spcae 의 intersection 으로 이루어진 primitive 4개의 집합으로 구성하였다.

(1) Sphere

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} + \frac{(z - z_0)^2}{c^2} <= 1$$

$$\text{surface normal } \left(\frac{x - x_0}{a^2}, \frac{y - y_0}{b^2}, \frac{z - z_0}{c^2} \right)$$

(2) Cylinder

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} <= 1 \text{ and } |z - z_0| <= c$$

$$\text{surface normal } \left(\frac{x - x_0}{a^2}, \frac{y - y_0}{b^2}, 0 \right) ; |z - z_0| < c$$

$$(\theta, \theta, \text{sign}(z - z_0)); |z - z_0| = c$$

(3) Cone

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} <= \frac{(z - z_0)^2}{c^2} \text{ and } z <= z_0$$

$$\text{and } z >= z_0 - c$$

$$\text{surface normal } \left(\frac{x - x_0}{a^2}, \frac{y - y_0}{b^2}, \frac{z_0 - z}{c^2} \right) ; z_0 - c < z < z_0$$

$$(\theta, \theta, 1) ; z = z_0$$

$$(\theta, \theta, -1) ; z = z_0 - c$$

(4) Cube

$$|x - x_0| <= a \text{ and } |y - y_0| <= b$$

$$\text{and } |z - z_0| <= c$$

$$\text{surface normal } (\text{sign}(x - x_0), \theta, \theta) ; |x - x_0| = a$$

$$(\theta, \text{sign}(y - y_0), \theta) ; |y - y_0| = b$$

$$(\theta, \theta, \text{sign}(z - z_0)) ; |z - z_0| = c$$

Primitive 자체로 구성되어있지 않는 복잡한 물체는 CSG (Constructive Solid Geometry)[11] 에서와 같이 이 primitive 들의 위치와 크기를 정한후 그것들의 union, intersection, difference 로 표현할 수 있다.

5. 공간 분할

광선 추적법은 시점으로 부터 화상의 한 점을 지나는 광선과 물체와의 교점을 구하여 그점의 밝기를 화상에 나타내는 것이다. 그러나 광선이 어떤 물체를 향하고 있는지 미리 알고 있지 못하면 정의된 모든 물체와 교점이 있는지 계산하는 과정과, 교점이 여러개 생길 경우 시점에서 가장 가까운 점을 찾는 sorting 과정을 필요로 한다.[6,8]

광선 추적법은 사실적인 영상을 얻는 방법으로는 가장 뛰어난 방법이지만, 이와같이 계산량이 방대하다는 단점을 갖고 있다.*

따라서 물체가 공간상의 어느 영역에 존재하는지 미리 정의하고 광선이 그영역을 지나는가와 여부를 적은 계산으로 판단할 수 있다면 불필요한 교점 계산 과정과 sorting 과정을 없게하여 상당한 계산량을 줄일 수 있다.

* Whitted 의 실험은 전체 과정중에서 교점 계산 과정이 75 ~ 95 % 를 차지함을 보여준다.[5]

(1) 격자형 공간 분할

격자형 공간 분할은 정의한 물체의 최대 좌표점과 최소 좌표점 사이에 물체가 존재함을 기초로 그림(5)와 같이 분할한 것이다. 만약 물체가 여러 primitive 들의 조합으로 구성된 것이면 그 물체 자체의 공간내에 다시 공간분할을 하여 분할된 각 공간에는 최소한의 primitive 만 존재하게 한다.

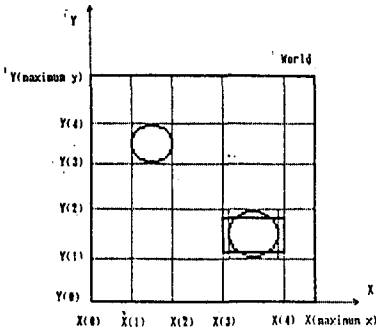


그림 5. 격자형 공간 분할 (2-D)

(2) 자료 구조

격자형 공간 분할에 필요한 자료 구조는 격자 좌표 list, 격자list, object list, 부격자 list, 부격자 좌표list, sub-object list 로 구성된다.

격자 좌표 list :

물체의 최대 좌표점과 최소 좌표점에 의 해 격자로 분할되는 좌표들의 list

$X(0), X(1), X(2), \dots, X(\text{maximum } x)$
 $Y(0), Y(1), Y(2), \dots, Y(\text{maximum } y)$
 $Z(0), Z(1), Z(2), \dots, Z(\text{maximum } z)$

격자 list : 격자 번호와 object pointer로 구성된 list

격자 번호	object pointer
i, j, k	격자 번호로 지정한 영역의 object 유무

단, 격자 번호는 X, Y, Z가 다음 조건을 만족할 때 i, j, k 로 할당된다.

$X(i) <= X < X(i+1)$
 $Y(j) <= Y < Y(j+1)$
 $Z(k) <= Z < Z(k+1)$

object list : 격자 list의 object pointer로 지정되는 list로 object가 primitive들의 조합으로 이루어진 경우 부격자pointer로 구성되고 primitive자체로 하나의 object를 이루는 경우 sub-object pointer로 구성된다.

부격자 유무 부격자pointer subobject pointer

부격자 list : 격자 list와 유사하나 sub-object pointer 로 구성된다.

부격자 좌표 list :

격자 좌표 list와 같으며 각 부격자에 대하여 할당한다.

sub-object list :

primitive종류, 위치, 크기, 표면 정보를 포함하는 list

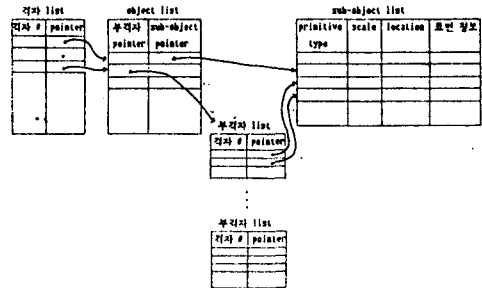


그림 6. 자료 구조

이와같이 물체가 존재하는 위치와 물체가 존재할 최대 범위(world limit)를 정하면, 광선이 world를 지날때 광선이 지나가는 격자속에 물체가 존재하는지의 판단과, 물체가 없을 때 광선이 지나갈 다음 격자의 판단이 간단해진다.

예로서 현재의 격자 번호가 i, j, k 일 때 그 격자에 object pointer 가 없고 광선이 +x면으로 통과해 나가면 다음 격자 번호는 i+1, j, k 가 된다.

6. 실험 및 고찰

본 논문에서 행한 실험은 공간 분할을 기초로 하여 IBM PC/AT 상에서 구현하였다.

