

DỰNG ẢNH BA CHIỀU SIÊU THẬT BẰNG KẾT HỢP HAI GIẢI THUẬT RADIOSITY VÀ RAY TRACING

Bùi Nguyên Minh, Bùi Nguyên Đại

Viện Tin học Pháp ngữ, Đại học Bách khoa Hà Nội

Email: minhbn@mail.hut.edu.vn, buidai@gmail.com

Tóm tắt: Radiosity và Ray tracing là hai giải thuật nổi tiếng nhất trong dựng ảnh siêu thật, những bức ảnh rất khó để phân biệt với bức ảnh thật, trong ngành đồ họa máy tính. Có thể nói giải thuật Radiosity là phần bù của giải thuật Ray tracing. Giải thuật Radiosity thực hiện việc tính toán tương tác ánh sáng giữa các bề mặt giống như một căn phòng được chiếu sáng, các vật trong ngôi nhà sẽ sáng do tương tác với nhau và với nguồn sáng. Giải thuật Ray Tracing lần theo đường đi của tia sáng giống như việc chụp ảnh một căn phòng bằng máy ảnh. Vậy nếu kết hợp được hai giải thuật này lại thì bức ảnh sẽ rất gần với màu sắc của bức ảnh trong thực tế. Hiện nay các phần mềm dựng ảnh mới chỉ thực hiện một trong hai phương pháp này đơn lẻ nên việc nghiên cứu một mô hình có thể kết hợp cả hai phương pháp này là rất cần thiết. Chúng tôi đã thực hiện được phần mềm này sau nhiều tháng làm việc.

1 GIỚI THIỆU

Công nghệ mô phỏng thực tại ảo hiện nay đang phát triển nhanh chóng và càng ngày càng đóng một vai trò quan trọng. Để hình ảnh mô phỏng gần với thực tế hơn, người ta đưa ra các giải thuật dựng ảnh mô phỏng đường đi của ánh sáng cũng như sự tương tác ánh sáng giữa các bề mặt của các vật thể trong thực tế, Radiosity và Ray tracing là hai giải thuật như vậy. Đây là hai phương pháp chủ yếu và đang được nghiên cứu rất nhiều và được sử dụng trong các phần mềm dựng ảnh (phim) 3 chiều chuyên nghiệp.

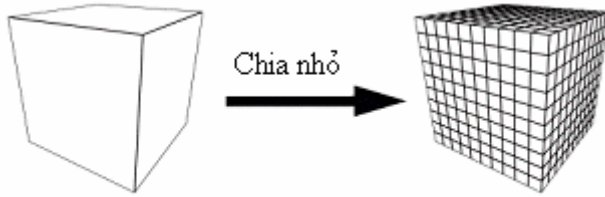
Radiosity là giải thuật đầu tiên và nổi tiếng nhất, phương pháp này mô phỏng sự tương tác ánh sáng giữa các bề mặt với nhau. Giải thuật Ray tracing mô phỏng lần theo đường đi của tia sáng qua phản xạ, tán xạ của ánh sáng mỗi khi giao cắt với vật. Hai giải thuật này là hai nửa của việc chụp ảnh một căn phòng được chiếu sáng trong thực tế nên kết hợp được cả hai phương pháp này sẽ tạo ra được những bức ảnh có màu sắc rất gần với các bức ảnh thật.

Vấn đề của việc kết hợp hai giải thuật này là mỗi giải thuật thường được triển khai trên các mô hình vật thể khác nhau để dựng ảnh đạt hiệu quả tính toán nhanh vì hai mô hình này đều đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn. Theo đó, khi kết hợp hai phương pháp cần tìm những mô hình vật thể sao cho làm giảm khối lượng tính toán cũng như khắc phục những dị vật về hình ảnh khi kết hợp mô hình vật thể này với giải thuật này.

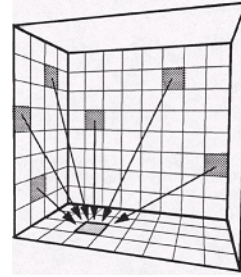
2 TỔNG QUAN VỀ RADIOSITY VÀ RAY TRACING

2.1 Radiosity

Radiosity là kỹ thuật dựng ảnh cho phép các vật thể có thể tương tác năng lượng ánh sáng với nhau giúp cho các vật trở nên nhìn thấy (có phát xạ năng lượng). Một miếng sẽ được chiếu sáng bằng năng lượng ánh sáng các miếng xung quanh chiếu đến. Sau đó phải sử dụng một số giải thuật như Z-buffer hoặc Ray tracing để hiển thị những thông số về các vật thể vừa được tính toán.



Hình 1: Bề mặt vật thể được chia nhỏ

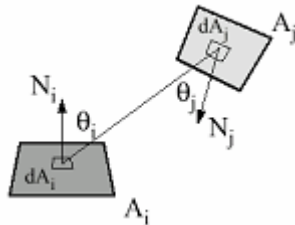


Hình 2: Miếng nhận ánh sáng từ các miếng xung quanh

2.1.1 Nguyên lý giải thuật

Giải thuật radiosity được mô tả như sau:

- Chia nhỏ các bề mặt vật thể thành những miếng nhỏ.
- Với mỗi cặp hai miếng bất kỳ trong cảnh, tính tỷ lệ giữa năng lượng rời miếng nguồn mà tới được miếng đích trên toàn bộ năng lượng rời khỏi miếng nguồn gọi là *form factor*.



Hình 3: Tính Form factor giữa hai miếng của cảnh'

- Áp dụng phương trình (1) để tính lần lượt tính năng lượng của mỗi miếng.

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij} \quad (1)$$

Với B_i : Tổng năng lượng phát xạ của miếng thứ i

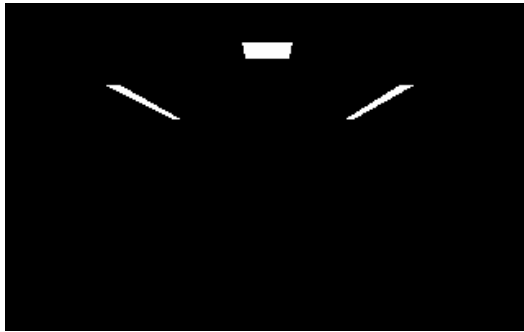
E_i : Năng lượng phát xạ nội tại của miếng đó.

ρ_i : Độ phản xạ của miếng thứ i .

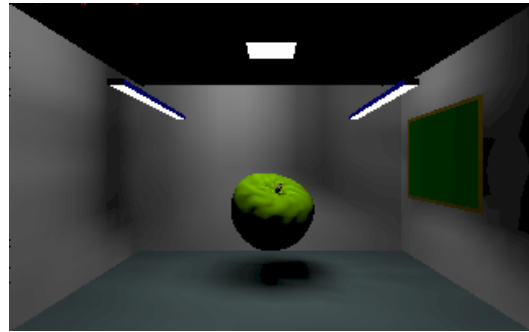
F_{ij} : form factor giữa miếng thứ i và thứ j .

- Lặp lại nhiều lần thuật toán trên để các bề mặt tương tác năng lượng với nhau nhiều lần như trong thực tế.

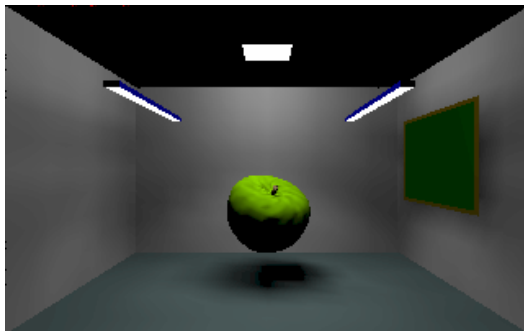
Hình (4) (5) (6) (7) thể hiện kết quả của việc tính Radiosity nhiều lần tạo nên bức ảnh có độ sáng gần với ảnh thật. Nếu số lần tính toán Radiosity tăng dần, màu sắc và độ sáng của những vật trong ảnh càng trở nên hài hòa và gần với thực tế hơn. Điều này có được là do giải thuật Radiosity mô phỏng sự tương tác giữa các bề mặt trong thực tế nên sau càng nhiều lần tương tác, các vật càng có độ sáng hợp lý.



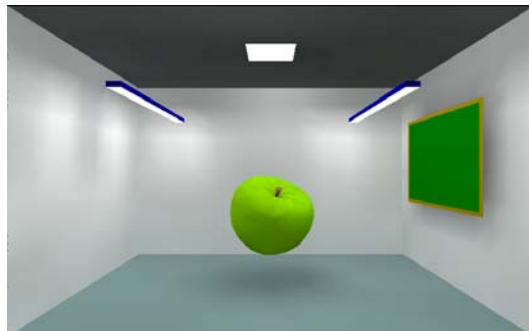
Hình 4: Ảnh trước khi thực hiện tính toán Radiosity



Hình 5: Ảnh khi thực hiện tính toán Radiosity 1 lần



Hình 6: Ảnh khi thực hiện tính toán Radiosity 2 lần



Hình 7: Ảnh khi thực hiện tính toán Radiosity nhiều lần

2.1.2 Đặc điểm của giải thuật Radiosity

Giải thuật Radiosity tạo cho bức ảnh có bóng mờ tốt giống như tương tác năng lượng ánh sáng giữa bề mặt các vật với nhau, không phụ thuộc góc nhìn hay không cần tính toán lại khi thay đổi góc nhìn. Những bức ảnh thực hiện theo giải thuật Radiosity có phân bố độ sáng hợp lý, các vật có bóng mờ nhưng thiếu bóng phản xạ (xem hình 7).

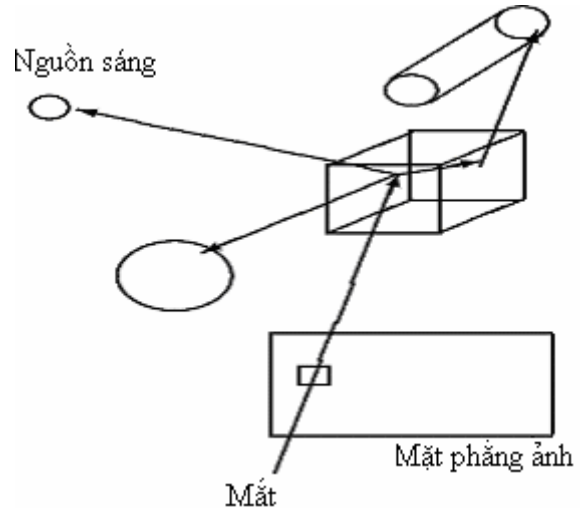
2.2 Ray tracing

Ray tracing là một phương pháp tạo ra các ảnh giống thật bằng máy tính, trong đó đường đi của mỗi tia riêng rẽ được lần theo từ người nhìn tới điểm tới đầu tiên.

2.2.1 Nguyên lý giải thuật

Giải thuật Ray tracing được mô tả như sau:

1. Với mỗi điểm trên mặt phẳng của ảnh cần dựng, phóng một tia từ mắt người tới điểm đó.
2. Nếu tia đó không cắt vật nào thì màu của điểm đó trên ảnh là màu nền.
3. Nếu tia đó có cắt một vật nào đó, thì tìm điểm cắt gần điểm nhìn nhất. Tia sáng tại điểm cắt được tách làm hai tia là tia phản xạ và tia khúc xạ.
4. Với từng tia phản xạ và khúc xạ lại tiếp tục thực hiện lần theo (tracing) bằng cách tính đệ quy từ bước 2.
5. Nếu độ sâu của của việc tính đệ quy đã đạt một tới giá trị cho trước, không tiếp tục lần theo nữa.
6. Ánh sáng tại điểm cắt được tính bằng phương trình:



Hình 8: Giải thuật Ray tracing

$$I = I_{local} + K_r R + K_t T \quad (2)$$

Với I : Cường độ sáng của điểm giao cắt.

I_{local} : Cường độ sáng nội tại của điểm giao cắt.

K_r : Hệ số phản xạ của bề mặt.

R : Lượng ánh sáng nhận được bằng cách lần theo tia phản xạ.

K_t : Hệ số truyền qua của bề mặt.

T : Lượng ánh sáng nhận được bằng cách lần theo tia khúc xạ.

7. Tính I_{local} bằng cách nối điểm giao cắt với tất cả nguồn sáng, kiểm tra xem đoạn đó có cắt bất cứ vật nào không, nếu có thì vật đó bị che khỏi nguồn sáng đó, nếu không thì I_{local} trong phương trình (2) được xác định nhờ vào tổng cường độ chiếu sáng của các nguồn sáng chiếu đến điểm đó và đặc tính của bề mặt tại điểm đó.

2.2.2 Đặc điểm của giải thuật

- Giải thuật Ray tracing tạo cho các vật có bóng sắc.
- Tạo được hiệu ứng khúc xạ.
- Có bóng phản xạ giữa các vật với nhau.
- Phụ thuộc góc nhìn.

3 CHƯƠNG TRÌNH DỰNG ẢNH KẾT HỢP HAI GIẢI THUẬT

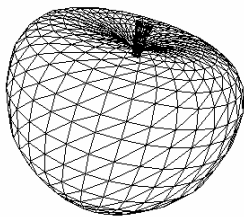
3.1 Giải thuật kết hợp

Dựa trên đặc tính của hai giải thuật, giải thuật kết hợp của hai giải thuật này được đề ra như sau:

- Thực hiện việc tính toán theo giải thuật Radiosity trên các bề mặt của các vật thể.
- Bước tiếp theo thực hiện theo giải thuật Ray tracing trên các vật thể sau khi đã thực hiện tính toán theo giải thuật Radiosity.
- Bước 7 trong giải thuật Ray tracing không cần tính mà I_{local} trong phương trình (2) đã được tính với giải thuật Radiosity trước đó.

3.2 Mô hình vật thể

Có hai mô hình các vật thể cơ bản trong kỹ thuật dựng ảnh. Mô hình mà các vật thể có các mặt được xác định bởi các phương trình toán học như mặt cầu, mặt trụ, Mô hình này rất tốt cho việc tính toán theo giải thuật Ray tracing vì việc tính toán giao cắt của một tia với một bề mặt được tính toán đơn giản và số lượng bề mặt cần xét xem có giao cắt với một tia tương đối nhỏ. Tuy nhiên, mô hình vật thể này rất khó triển khai khi thực hiện giải thuật Radiosity do giải thuật Radiosity yêu cầu các bề mặt cần được chia nhỏ thì việc tính toán phân bố nguồn sáng trên bề mặt mới đạt được gần thực tế. Nhưng việc chia nhỏ các bề mặt được mô tả bởi các phương trình toán học là rất phức tạp và chưa có giải thuật hiệu quả.



Hình 9: Mô hình vật thể là lưới điểm

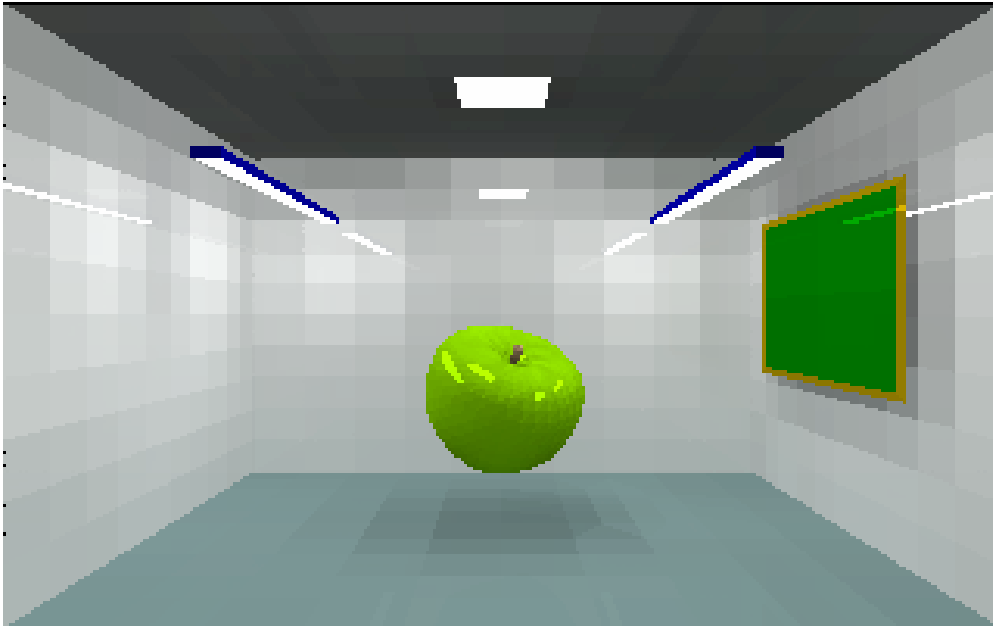
Mô hình vật thể thứ hai được xem xét là mô hình vật thể mà các bề mặt là một lưới điểm, các bề mặt đã được chia nhỏ thành các miếng nhỏ hơn để tiện cho việc tính toán giải thuật theo Radiosity. Mô hình này không có lợi cho việc tính toán theo giải thuật Ray tracing vì với bề mặt được chia nhỏ thành nhiều miếng, việc tìm giao cắt của một tia với miếng đầu tiên đòi hỏi phải kiểm tra giao cắt với tất cả các miếng và tìm giao cắt với miếng gần nhất. Số lượng các miếng tăng lên cùng đồng nghĩa với việc làm giảm tốc độ của giải thuật. Tuy nhiên những hạn chế về tốc độ có thể khắc phục nhờ áp dụng một số giải thuật cải thiện nhỏ.

Từ những nhận xét trên, mô hình các vật thể có bề mặt là lưới các điểm được chọn. Cấu trúc cụ thể của các mô hình vật thể như sau:

- Mỗi *vật thể* bao gồm một tập hợp các *bề mặt*, với mỗi bề mặt được cho thông số phản xạ và phát xạ với các màu R, G, B.
- Mỗi bề mặt đó lại được chia nhỏ thành một lưới của một hay nhiều *miếng* tam giác hay tứ giác.
- Một miếng sau đó lại được chia nhỏ thành một hay nhiều *thành phần* nhỏ hơn.
- Mỗi miếng và mỗi thành phần được định nghĩa bởi các đỉnh. Bởi vì hầu hết các đỉnh có thể thuộc nhiều miếng hay thành phần, do vậy các đỉnh được định nghĩa riêng. Các thành phần và miếng chỉ ra các đỉnh của mình thông qua chỉ số của các đỉnh trong dãy các đỉnh.

3.3 Khắc phục vấn đề gặp phải

Sau khi thực hiện Radiosity, các miếng của cùng bề mặt có độ sáng tối khác nhau giống với phân bố ánh sáng trong thực tế. Các miếng tại gần nguồn sáng sẽ có sáng hơn, những miếng bị khuất nguồn sáng sẽ tối hơn. Như vậy bề mặt sẽ có hình kẻ sọc (xem hình 10), ảnh sẽ không đẹp. Để khắc phục vấn đề trên, thực hiện đánh bóng giữa các miếng. Chương trình thực hiện theo cả hai giải thuật đánh bóng nổi tiếng là Gouraud và Phong.



Hình 10: Bức ảnh khi chưa thực hiện đánh bóng

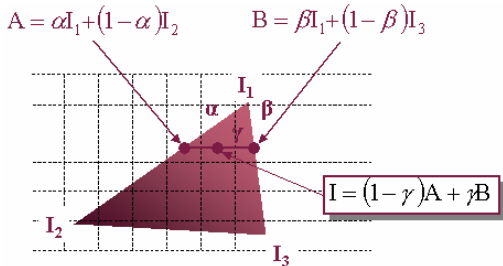
3.3.1 Triển khai giải thuật đánh bóng Gouraud

Triển khai giải thuật này bằng cách gán độ sáng tại mỗi đỉnh được tính bằng trung bình độ sáng của các miếng có chung đỉnh đó. Độ sáng của một điểm trong miếng được nội suy ra từ độ sáng của các đỉnh của miếng đó theo phương pháp nội suy nhị phân như trong hình (11) và phương trình (3) (4) (5).

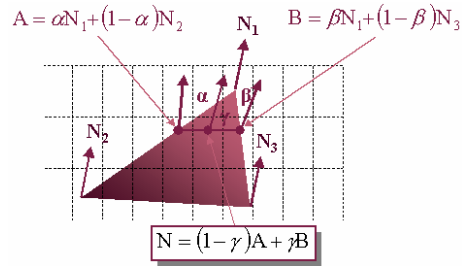
$$A = \alpha I_1 + (1 - \alpha) I_2 \quad (3)$$

$$B = \beta I_1 + (1 - \beta) I_3 \quad (4)$$

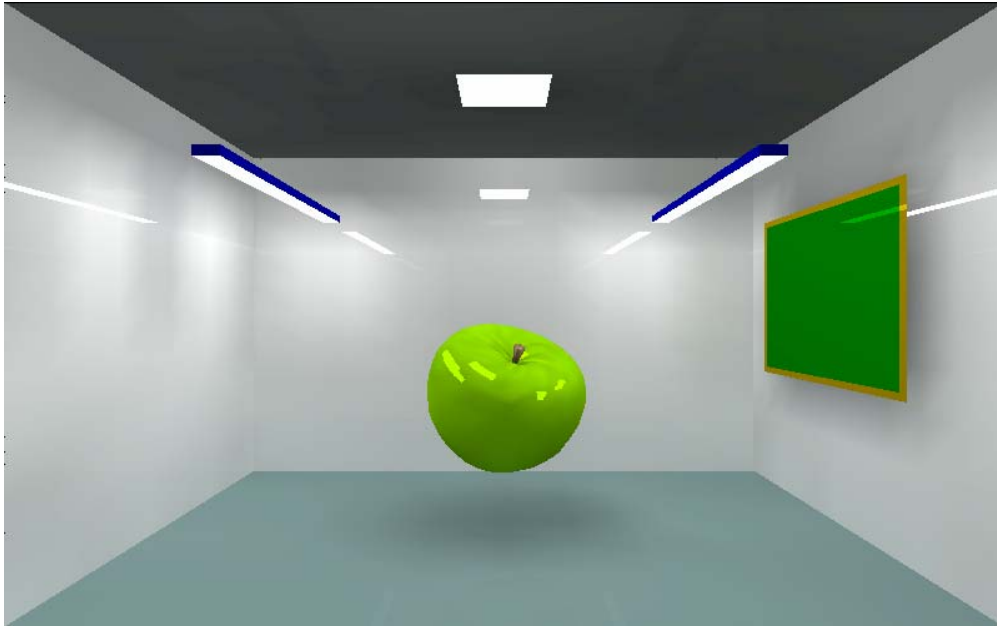
$$I = (1 - \gamma) A + \gamma B \quad (5)$$



Hình 11: Đánh bóng Gouraud



Hình 12: Đánh bóng Phong



Hình 13: Ảnh khi thực hiện đánh bóng theo phương pháp Gouraud

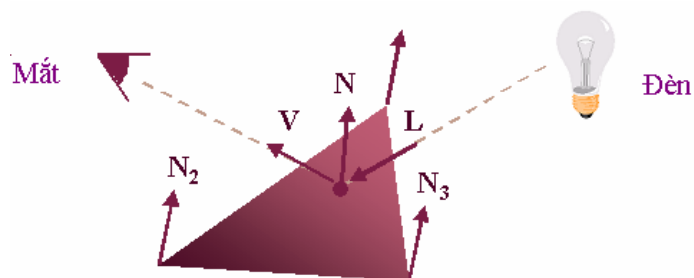
3.3.2 Triển khai giải thuật đánh bóng Phong

Với giải thuật này thì vector pháp tuyến tại mỗi đỉnh được tính bằng trung bình các vector pháp tuyến của các miềng có chung đỉnh đó. Vector pháp tuyến của một điểm bên trong một miềng được nội suy ra từ vector pháp tuyến của các đỉnh của miềng đó theo phương pháp nội suy nhị phân như trong hình (12) và phương trình (6) (7) (8). Độ sáng tại mỗi điểm bây giờ còn phụ thuộc vào góc giữa vector pháp tuyến tại điểm đó và vector từ điểm nhìn tới điểm sáng đó.

$$A = \alpha N_1 + (1 - \alpha) N_2 \quad (6)$$

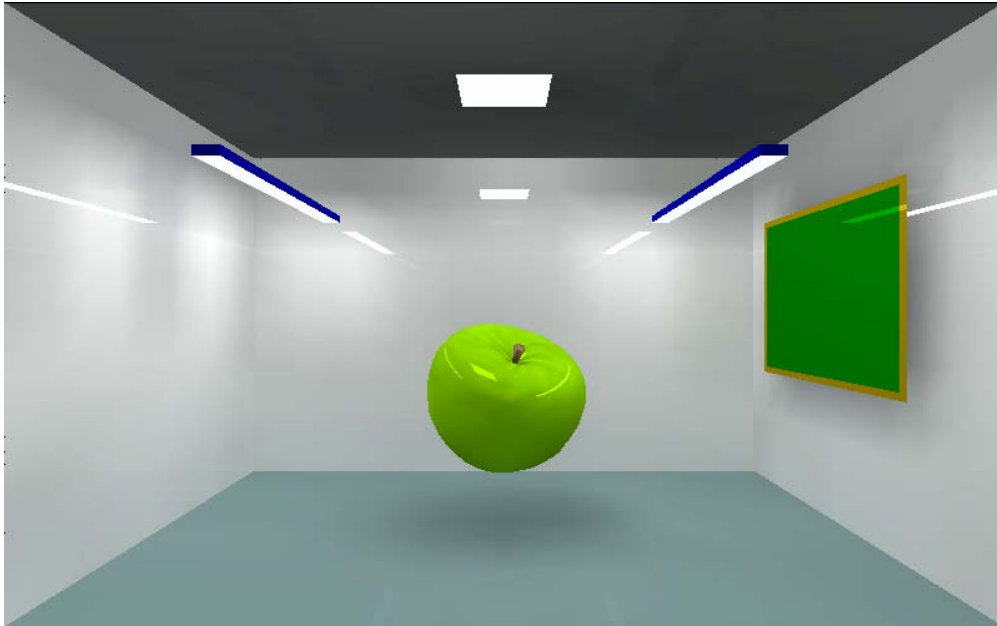
$$B = \beta N_i + (1 - \beta) N_3 \quad (7)$$

$$N = (1 - \gamma) A + \gamma B \quad (8)$$



Hình 14: Độ sáng của một điểm phụ thuộc vào

So sánh hình (13) và (15) ta có thể thấy phương pháp đánh bóng Phong làm cho ảnh có bóng phản xạ được định hướng chính xác hơn với những bề mặt cong, chú ý bóng phản xạ trên quả táo của hai ảnh này để thấy rõ điều đó. Điều này có được là do độ sáng còn phụ thuộc vào vector pháp tuyến tại điểm đó cũng như vector phản xạ được tính chính xác hơn khi có được vector pháp tuyến chính xác tại điểm cắt.

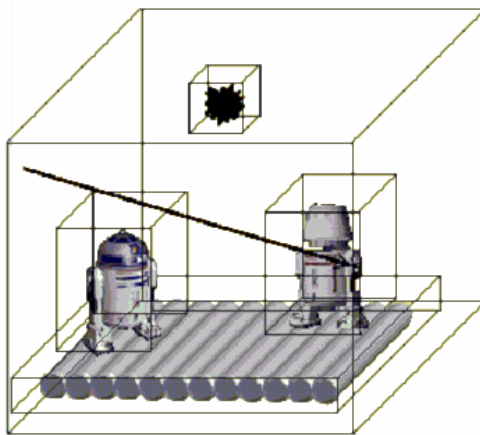


Hình 15: Ảnh thực hiện đánh bóng theo phương pháp Phong

3.4 Giải thuật cải thiện tốc độ

Vấn đề gặp phải khi triển khai giải thuật kết hợp này là với mô hình vật thể được chia thành nhiều miếng khi thực thi giải thuật Ray tracing là khi tìm giao cắt của một tia với vật thể đầu tiên phải kiểm tra giao cắt với tất cả các miếng để tìm điểm cắt đầu tiên. Nếu số lượng miếng tăng thì cũng đồng nghĩa với khối lượng tính toán tăng dẫn đến tốc độ dựng ảnh chậm.

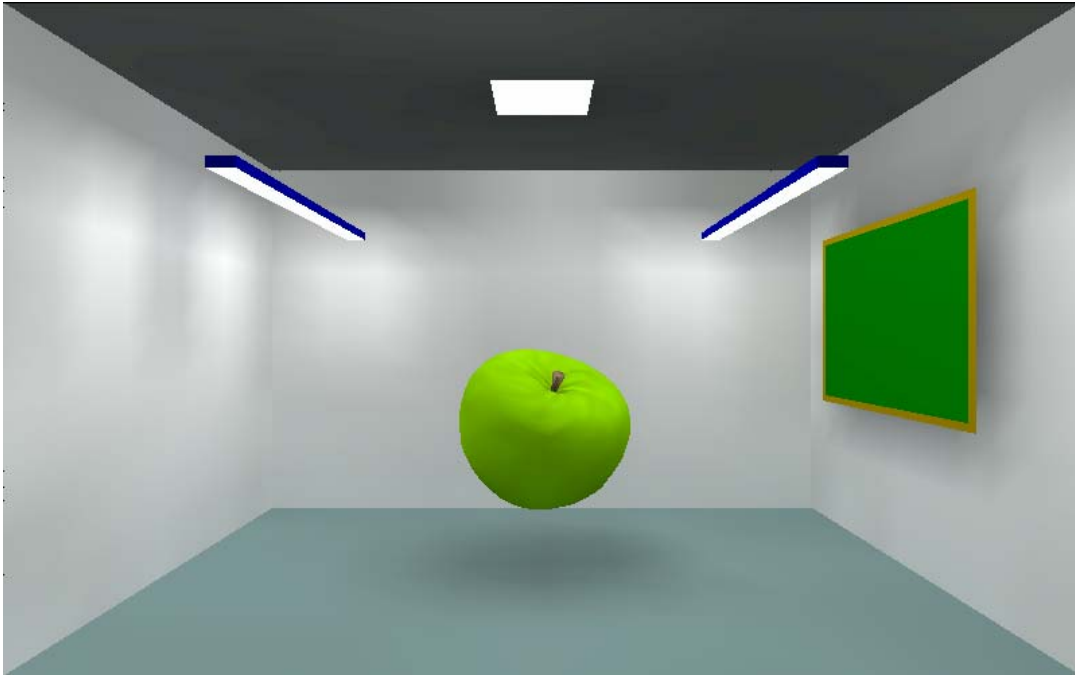
Để cải thiện tốc độ, trước khi kiểm tra xem một tia có cắt một miếng nào của một vật thể không, ta kiểm tra xem tia đó có cắt hình hộp chữ nhật bao quanh vật đó không. Chỉ khi tia đó cắt một mặt nào đó của hình hộp bao quanh thì mới kiểm tra tìm giao cắt của tia đó với các miếng của vật thể đó.



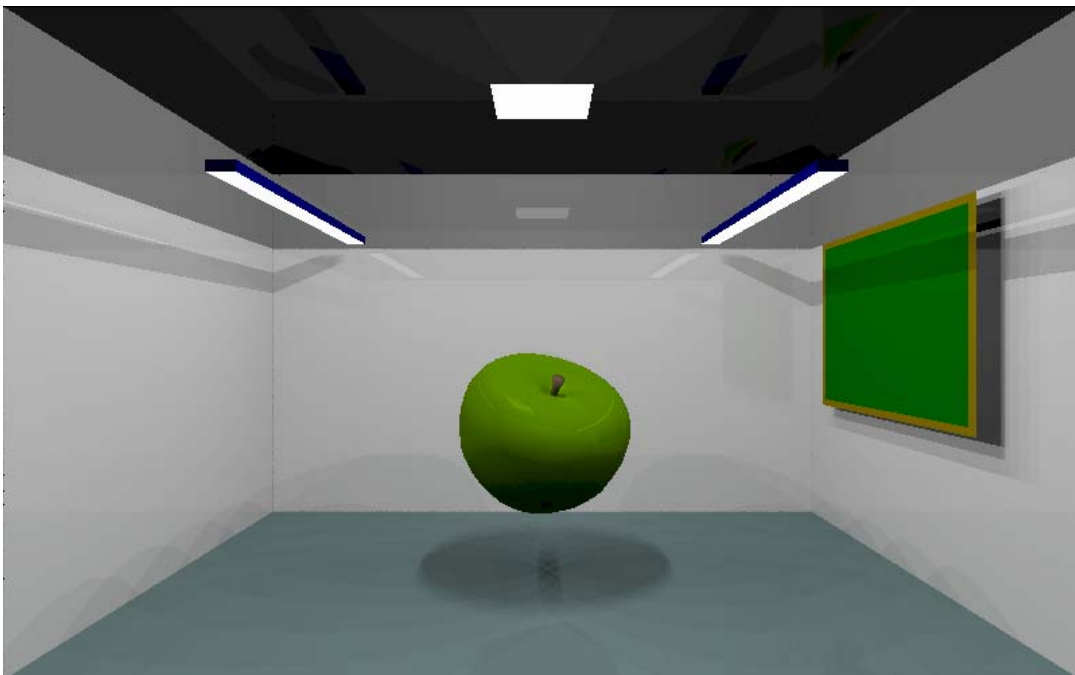
Hình 16: Kiểm tra giao cắt của một tia với hộp bao trước

KẾT LUẬN

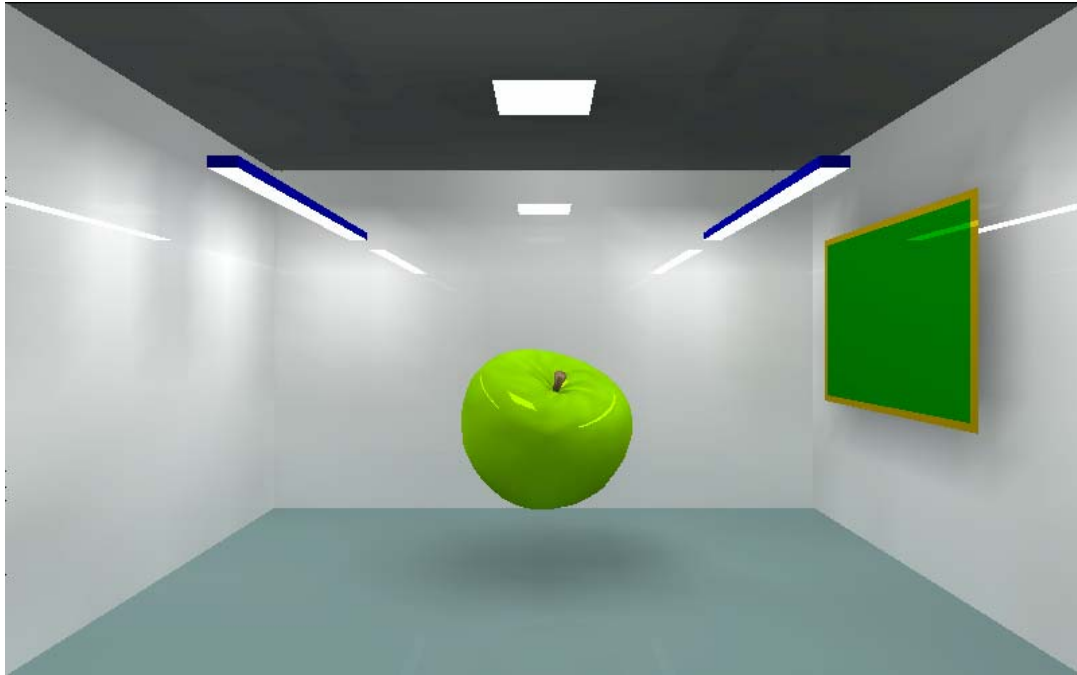
Chương trình đã được hoàn thành có thể dựng ảnh với giải thuật kết hợp cả hai giải thuật Radiosity và Ray tracing và cũng có thể dựng ảnh với hai giải thuật này một cách riêng rẽ.



Hình 17: Bức ảnh thực hiện với giải thuật Radiosity



Hình 18: Ảnh thực hiện với kỹ thuật Ray tracing



Hình 19: Bức ảnh khi kết hợp cả hai giải thuật

Qua các ảnh trên ta thấy ảnh sử dụng giải thuật kết hợp có hình ảnh rất gần với thực tế. Ảnh của giải thuật kết hợp có bóng mờ, độ sáng tối phân bố hợp lý và có cả bóng phản xạ trên các vật. Ảnh thực hiện chỉ với giải thuật Radiosity thiếu bóng phản xạ trên các vật còn ảnh thực hiện chỉ với giải thuật Ray tracing thì độ sáng tối phân bố không hợp lý. Bức ảnh kết hợp của cả hai giải thuật có màu sắc cũng như bóng phản xạ rất gần với thực tế và rất khó phân biệt với một bức ảnh thật.

Chương trình dựng ảnh siêu thật được viết để chạy cả trên Linux và Windows đã mang lại những kết quả rất tốt với những bức ảnh có màu sắc hài hòa. Đây là tiền đề để xây dựng những phần mềm đồ họa dựng ảnh sử dụng trong nhiều lĩnh vực như dựng phim hay công nghệ mô phỏng với chất lượng hình ảnh cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Peter Shirley, *Realistic Ray Tracing*, AK Peters Press, 2000.
- [2] Ian Ashdown, *Radiosity: A Programmer's Perspective*, John Wiley & Sons, 1996.
- [3] Henrik Van Jensen, *Realistic Image Synthesis using Photon mapping*, AK Peters Press, 2001.
- [4] Philip Dutré, Kavita Bala, Philippe Bekaert, 'Advanced Global Illumination', *SIGGRAPH 2002 Course 2*, 2002.
- [5] Philip Dutré, *Global Illumination Compendium*, Cornell University, August, 2001.
- [6] Michael F. Cohen John R. Wallace, *Radiosity and Realistic Image Synthesis*, Academic Press, 1995.
- [7] <http://www.povray.org/>