

具備人工生命的汽車駕駛虛擬環境之研究-描繪引擎子計畫
Artificial Life for the Virtual Environment of Driving -
Rendering Engine

計畫編號：NSC 87-2213-E-009-034

執行期間：86年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：施仁忠 副教授 國立交通大學資訊科學系

一、 中文摘要

物體與景觀的描繪 (Rendering) 是電腦繪圖與虛擬實境的應用中，最重要的步驟之一，它對於顯示畫面的逼真程度有很大的影響。在本描繪引擎子計畫中，便是對於虛擬駕駛環境中的景物進行逼真的描繪。另外，針對駕駛汽車時所可能遭遇的大自然光線照明模擬，以及夜間燈光照明模擬等，進行深入的探討，並建立軟體模組進行模擬。

在第一年的計畫中，我們根據大氣中光線的物理現象，考慮空氣中的介質，結合光線整體照明 (Global Illumination) 中的光線循跡法 (Ray Tracing) 和熱輻射法 (Radiosity)，對強烈太陽光直接照射駕駛座，陰雨或強風大雨天候時的光線...等等大自然的光線照明進行模擬，建立其光學物理模式，設計光線模擬的演算法與程式模組。

關鍵詞：描繪，整體照明，光線循跡法，熱輻射法，自然景觀，虛擬環境

Abstract

The Rendering of objects and 3D scenes is one of the most important steps in the applications of computer graphics and virtual reality. It affects the realism of display. In

this rendering engine project, we render the objects in a virtual environment realistically. Besides, we will focus on the simulation of natural light in atmosphere, and the light illumination at night. We will perform a deep study on these topics and design the corresponding simulation software.

In the first year, we will consider the physics of light in atmosphere and the participating media. And then we use the ray tracing and radiosity algorithms in global illumination to simulate the direct sun light, the light in raining and windy day...etc. We will establish the optical model, design the simulation algorithms and develop program modules.

Keywords Rendering Global Illumination Ray Tracing Radiosity Natural Phenomena Virtual Environment

二、 計畫緣由與目的

在以往傳統的光線循跡 (Ray Tracing) 與熱輻射 (Radiosity) 演算法中，大都假設光線所行進的空間為理想的真空，然而事實上在大氣中有大量的氣體分子、灰塵微粒等介質，而且空氣也並非完全透明，這些粒子會吸收或散射入射光，使得光線

的強度會有衰減 (Attenuation) 和發散 (Scattering) 的現象，而使得整個空間發亮。Blinn[4]是最早提出光線在空間的發散模式 (Volume Scattering Model)，他假設空間是一塊有厚度的平面，裡面分佈了許多球狀的小粒子 (Particle)，每個粒子會反射光線，在觀察點所見到光線的亮度為累積各粒子反射的光線強度。後續還有其他的研究者，例如：Nishita[24]進一步建立多重散射 (Multi-Scattering) 的光線發散模式，考慮空間中不同大小不同特性的粒子，對大自然光線進行模擬；Max[20]採用一些解析函數 (Analytic Function) 來描述雲的表面，利用碎形函數 (Fractal) 來定義粒子在空間中的密度；另外，Kajiya 和 Von Herzen[15]則利用多重的粒子輻射發散來描述具有高 albedo 的粒子。但是對於不同天候狀況時大氣中光線的模擬，到目前仍少有研究進行探討，本計畫擬針對這個方向對大氣中自然光線進行深入的探討，建立以物理光學原理為基礎的模式，模擬不同天候狀況時的自然光線以產生汽車駕駛虛擬環境所需要的自然景觀。

三、 研究方法與成果

在本研究計畫中的描繪引擎可分為兩大部分：一是基本的描繪功能，整合一般的可見度前置處理 (Visibility preprocessing)、光線循跡 (Ray Tracing)、熱輻射 (Radiosity) 等演算法，將幾何模型引擎中所產生的景觀與物件描繪出來；另一是大氣中光線的模擬，建立大氣中的光線照明模式並考慮空間密度光線循跡演算法 (Volume Density Ray Tracing) 和空間介質熱輻射法 (Radiosity Algorithm with Participating Media)。

在大氣的光線照明模式部份，會影響

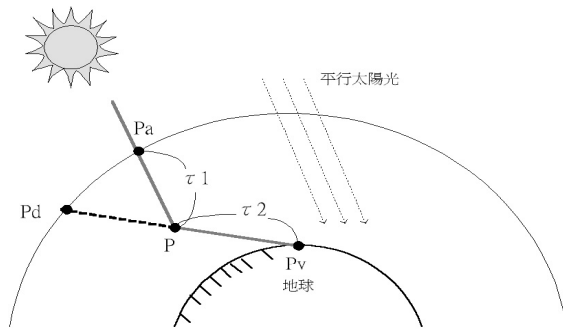
大氣中光線照明的主要原因為大氣中的微小粒子 (Particle) 對光線的散射 (Scattering) 與吸收 (Absorption) 現象，而過去的研究所考慮的大都是單一散射 (Single Scattering)，因此我們則針對各種不同粒子考慮多重散射 (Multiple Scattering) 的模式。

大氣散射的現象會因為入射光的波長和散射粒子的大小不同而有不同的散射行為。當粒子比入射波長還小時，稱做雷氏散射 (Rayleigh Scattering)，是由 Rayleigh 在 1871 年所提出的，可以用來計算空氣分子 (molecule) 的散射；另一種稱之為米氏散射 (Mie Scattering)，是用來解釋當粒子比入射波長還大或是兩者相等的時候，比如雲滴、氣溶膠 (aerosol)。通常我們用雷氏散射來解釋天空的藍色：由於藍光的波長比其他光的波長還短，根據雷氏散射白天藍光會散射的比較多，所以天空看起來是一片藍色；而黃昏時，陽光必須以小角度入射大氣層，光所要走的距離遠大於白天所需要的，天空顏色變成了不容易被散射的紅色。至於白色的雲層則可用米氏散射來解釋：因為此種散射主要跟粒子大小有關，而和入射波長無關，所以各種波長的光都會被同等散射出去，因此呈現白色而非藍色或紅色。

了解散射行為之後，我們可以推導出在一太陽高度，針對某一波長而言，在 P_v 點觀測天空中某一點 P (如圖一)，該波長的強度 (即顏色) 為：

$$I_p(\lambda) = K \cdot I_\lambda \cdot P(\Theta) \cdot e^{-(\tau_1 + \tau_2)} \quad (1)$$

I_λ 是太陽光譜中波長 λ 的強度， K 為散射方程式的其他常數， τ_1 和 τ_2 分別為 P_s 到 P 與 P_v 到 P 的光程距離， $P(\Theta)$ 為相位函式。



圖一：光線穿透大氣的能量變化

式(1)所求得的只是大氣中某個粒子的顏色，為求得朝天空某一方向看過去的顏色，必須將式(1)沿著視線方向 (View direction) 積分，並且考慮到積分線上每個粒子有不同的氣體密度，以及同時計算兩種散射行為 (雷氏散射與米氏散射)。最後式子如下：

$$I_v(\lambda) = \int_{P_v}^{P_a} I_\lambda \cdot \{K_r \rho_r(s) P_r(\Theta) + K_m \rho_m(s) P_m(\Theta)\} \cdot e^{-(\tau_1(s) + \tau_2(s))} \quad (2)$$

K_r 、 K_m 分別為計算雷氏散射即米氏散射的常數， $\rho_r(s)$ 是大氣分子在該點 s 處的密度， $\rho_m(s)$ 則是該處的氣溶膠的密度， P_r 、 P_m 是雷氏與米氏散射的相位函式， $\tau_1(s)$ 是大氣層頂到 s 處的光程而 $\tau_2(s)$ 是 s 處到觀測者眼睛 P_v 之間的光程。

另外由於大氣散射都是根據光的波長來計算，而非一般電腦圖學上直接使用 RGB 的值來計算，所以最後我們必須將各種波長的光轉換成顯示器上的 RGB 值，才能在電腦螢幕上描繪出來，所採用的轉換方式為 CIE 顏色對應 (CIE Color-matching)。

四、 結論與討論

我們提出一個模擬不同天候狀況的大氣 (Atmosphere) 模式。基本上這是一個微粒子模式 (Particle System)，由不同的參

數組來描述不同天候狀況時，大氣分子不同的密度以及不同的光學物理特性。

關於大氣光線照明模式部份，我們考慮到雷氏散射、米氏散射以及粒子的多重散射模式，進而推演出非真空狀態下空間中熱輻射演算法，並且能夠參照大氣模式所提供的參數組以及太陽在天空中依時間而改變的不同位置，來描述駕駛者在虛擬環境中的光線照明(如圖二至圖五)。

五、 參考文獻

1. P.Beckmann, A.Spizzochino, "The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces," New York, Pergamon, 1963.
2. M.Berger, T.Troutand, N.Levit, "Ray Tracing Mirages," IEEE CGA, 10(3):36-41, 1990.
3. P.Biasi, B.L.Saec, C.Schlics, "A Rendering Algorithm for Discrete Volume Density Objects," EUROGRAPHICS'93, 12(3):201-210, 1993.
4. J.F.Blinn, "Light Reflection Functions for Simulation of Clouds and Dusty Surfaces," Computer Graphics, 16(3):21-29, 1982.
5. C.F.Boheren, "Multiple Scattering of Light and Some of its Observable Consequences," Am.J. Phys. 55(6):524-533, 1987.
6. Born, Wolf, "Principles of Optics," Pergamon Press, 5th edition, 1975.
7. S.Chandrasekhar, "Radiative Transfer," Oxford University Press, 1950.

8. W.M.Comette, J.G.Shanks, "Physical Reasonable Analytic Expression for the Single-Scattering Phase Function," *Applied Optics*, 31(16):3152-3160, 1992.
9. R.L.Cook, K.E.Torrance, "A Reflectance Model for Computer Graphics," *ACM Computer Graphics*, 15(3):307-316, 1981.
10. Y.Dobashi, T.Nishita, K.Kaneda, H.Yamashita, "A Fast Display Method of Sky Color Using Basis Functions," *Proc. Of Pacific Graphics '94*, pp.194-208, 1994.
11. D.S.Ebert, R.E.Parent, "Rendering and Animation of Gaseous Phenomena by Combining Fast Volume and Scanline A-buffer Technique," *Computer Graphics*, 24(4):357-366, 1990.
12. X.D.He, K.E.Torrance, F.X.Sillion, D.P.Greenberg, "A Comprehensive Physical Model for Light Reflection," *Computer Graphics*, 25(4):165-173, 1991.
13. P.Hanrahn, W.Krueger, "Reflection from Layered Surfaces due to Subsurface Scattering," *SIGGRAPH'93*, pp.165-174, 1994.
14. M.Inakage, "Volume Tracing of Atmospheric Environments," *The Visual Computer*, pp.25-30, 1991.
15. J.T.Kajiya, B.V.Herzen, "Ray Tracing Volume Densities," *Computer Graphics*, 18(3):165-174, 1984.
16. K.Kaneda, T.Okamoto, E.Nakamae, T.Nishita, "Photorealistic Image Synthesis for Outdoor Scenery Under Various Atmospheric Conditions," *The Visual Computer*, 7:247-258, 1991.
17. R.V.Klassen, "Modeling the Effect of the Atmosphere on Light," *ACM Transaction on Graphics*, 6(3):215-237, 1987.
18. N.Max, "Light Diffusion through Clouds and Haze," *Graphics and Image Proceeding*, 33(3):280-292, 1986.
19. N.Max, "Efficient Light Propagation for Multiple Anisotropic Volume Scattering," *Proc. Of the 5th EUROGRAPHICS Workshop on Rendering*, pp.87-104, 1994.
20. N.Max, "Atmospheric Illumination and Shadows," *Computer Graphics*, 20(4):117-122, 1986.
21. T.Nishita, and E.Nakamae, "Continuous Tone Representation of Three-Dimensional Objects Illuminated by Sky Light," *Computer Graphics*, 20(4):125-132, 1986.
22. T.Nishita, Y.Miyawaki, E.Nakamae, "A Shading Model for Atmospheric Scattering Consideration Distribution of Light Sources," *Computer Graphics*, 21(4):303-310, 1987.
23. T.Nishita, T.Shirai, K.Tadamura, E.Nakamae, "Display of The Earth Taking into Account Atmospheric Scattering," *SIGGRAPH'93*, pp.175-182, 1993.
24. T.Nishita, Y.Dobashi, E.Nakamae, "Display of Clouds Taking into Account Multiple Anisotropic Scattering and Sky Light," *SIGGRAPH'96*, pp.379-386, 1996.
25. T.Nishita, Y.Dobashi, K.Kaneda, H.Yamashita, "Display Method of the Sky Color Taking into Account Multiple Scattering," *Proc. Of the 4th Pacific Conference on Graphics and Applications*, pp.66-79, 1996.

26. H.E.Rushmeier, K.E.Torrance, "The Zonal Method for Calculating Light Intensities in The Presence of a Participating Medium," *Computer Graphics*, 21(4):293-302, 1987.
27. G.Sakas, M.Gerth, "Sampling and Anti-Aliasing of Discrete 3D Volume Density Textures," *EUROGRAPHICS'91*, pp.87-102, 1991.
28. S.Sekine, "Corrected Color Temperature of Daylight(2): Characteristics on Clear Sky and Overcast Sky," *J.Illumination Engineering Inst. Japan*, 79(11):621-627, 1995.
29. K.Tadamura, E.Nakamae, K.Kaneda, M.Baba, H.Yamashita, T.Nishita, "Modeling of Sky and Rendering of Outdoor Scenes," *Computer Graphics forum*, 12(2):189-200, 1993.
30. P.J.Wills, "Visual Simulation of Atmospheric Haze," *Computer Graphics forum*, 6(6):35-42, 1987.
31. D.Jackel, B.Walter, "Modeling and Rendering of the Atmosphere Using Mie-Scattering," *Computer Graphics forum*, 16(4):201-210, 1997.
32. E.Nakamae, K.Kaneda, T.Okamoto, T.Nishita, "A Lighting Model Aiming at Drive Simulators," *Computer Graphics*, 24(4):395-404, 1990.



圖二：太陽仰角 20°



圖三：太陽仰角 40°



圖四：早晨/黃昏的場景



圖五：白天的場景