

基于改进简化天空光照模型的天空绘制算法

张立民, 闫文君

(海军航空工程学院 电子信息工程系, 山东 烟台 264001)

摘要:通过使用 Hoffman 等的算法进行天空效果的绘制,会产生两个问题:在绘制的天空效果图的中央产生一条肉眼可视的黑带;散射系数不能随着观察者视点位置和太阳的位置变化而变化。通过改变 Rayleigh 散射方程中与散射方向有关因子的系数,解决使用 Hoffman 等的算法在绘制天空效果时产生黑带的问题;通过建立 Mie 散射方程方向系数与观察者视点位置和太阳位置之间的线性方程,解决散射系数不能随视点位置和太阳位置变化的问题。结果表明,改进后绘制的天空效果将更适用于飞行模拟器实时仿真。

关键词:天空光照绘制;大气散射;视景仿真

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)02-0123-04

Skylight Draw Algorithm Based on a Simplified Skylight Rendering Model of Modification

ZHANG Li-min, YAN Wen-jun

(Electronics and Info. Eng. Department, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

Abstract: The direct use of the algorithm of Hoffman to rendering the sky effect can result in two problems: in the middle of the sky will produce a dark band and scattering coefficient can't change with the observers' view position and the position of the sun. It altered the directional part of Rayleigh scattering equation to solve the problem of dark band in the algorithm of Hoffman. Through establishing a linear equation based on both observer altitude and sun position to solve the problem of that the scattering coefficient can't change with the view position and the sun position. The results show that the modified effects will be drawn sky is more flight simulator real-time simulation.

Key words: skylight rendering; atmosphere scattering; visual simulation

0 引言

天空光照绘制是飞行模拟器仿真中的一个重要方面,它主要利用大气散射理论,通过计算天空颜色和天空透视效果来模拟天空^[1~9]。对于天空模型的建立^[5]、天空光线的绘制^[6]、天空光照模型^[4,6]等的绘制方法日新月异。近年来,成果比较显著的研究方法有 Preetham 与 Hoffman 等提出的天空绘制算法^[2]和 Dobashi 等提出的大气散射理论计算天空光照的算法^[1,3]。Dobashi 对于大气散射理论的发展有着重要的推动作用,但文中不做讨论。

Hoffman 等提出的天空光照算法,建立在对大气光照绘制方程简化处理上,其最大的优势是绘制速度,在图形硬件上通过定点处理程序便能够获得一定质量的天空和天空透视光照绘制效果。

但是,在 Hoffman 等的算法中,存在几个问题,其

中有:

(1)在其算法中,散射系数对方向因子依赖性过大,在绘制结果中,会产生明显黑带;

(2)散射系数不能随着观察者的视点高度和太阳的照射位置变化。

针对问题,通过调整散射方程与散射角有关的系数,减少散射系数对方向性的依赖性,消除黑带;通过建立方向因子与视点高度和太阳位置的线性方程,使散射系数能随着视点高度和太阳位置变化。

1 大气散射模型

大气散射是研究天空光照的一个重要方面,影响大气散射的主要因素有空气中各种离子的大小 r 、散射角和光波波长 λ 。大气中粒子的大小较小时($r < 0.1\lambda$),可以用 Rayleigh 散射定律描述光线的各项特性;但大气中粒子的大小较大时($r > 0.1\lambda$),可以用 Mie 散射定律来描述光线的这种特性^[10]。

1.1 Rayleigh 散射方程

大气中的分子对太阳光的散射特性,在 Rayleigh

收稿日期:2011-06-24;修回日期:2011-09-27

作者简介:张立民(1966-),男,辽宁开原人,教授,博士生导师,博士,研究方向为计算机仿真、电子线路 CAD;闫文君(1986-),男,山东莱州人,硕士研究生,研究方向为计算机视景仿真。

函数中进行,其代数描述如下^[11]:

$$\beta(\theta) = \frac{\pi^2 [n^2 - 1]^2}{2N\lambda^4} [1 + \cos^2 \theta] \quad (1)$$

其中 θ 为散射角, n 为空气折射系数, N 为空气分子密度, λ 为光波波长。

Rayleigh 总体散射系数 β_R 是该函数在球面立体角上的积分:

$$\beta_R = \int_0^{4\pi} \beta(\theta) d\Omega = \frac{8\pi^3 [n^2 - 1]^2}{3N\lambda^4} \quad (2)$$

1.2 HG 散射理论

Mie 函数描述了大气中任意大小微粒对太阳光的散射特性。然而, Mie 散射函数要比 Rayleigh 散射函数复杂的多。因此,在实际实时仿真过程中,可以近似使用 HG (Henyey - Greenstein) 方程来代替 Mie 散射函数^[12,13]:

$$\Phi_{HG}(\theta) = \frac{(1 - g)^2}{4\pi (1 + g^2 - 2g\cos(\theta))^{3/2}} \quad (3)$$

其中 g 是方向因子。当 $g > 0$ 时表现为前向散射,当 $g < 0$ 时表现为后向散射。

2 天空和天空透视光照模型

Hoffman 等提出的算法^[2]是基于大气散射理论的简化模型。该模型能够连续准确地捕获 Rayleigh 散射的衰减。

天空光在视点处因散射形成的光强是由视线方向散射的天空光光强和太阳光经过大气衰减后的光强组成的,如下式:

$$L(s, \theta) = L_0 F_{ex}(s) + L_{in}(s, \theta) \quad (4)$$

其中 L_0 为观测路径最初的颜色,大气层是黑色。 $F_{ex}(s)$ 是消光系数, $L_{in}(s, \theta)$ 是内散射系数,这两个参数由以下两个方程给出:

$$F_{ex}(s) = e^{-(\beta_R + \beta_M)s} \quad (5)$$

$$L_{in}(s, \theta) = \frac{\beta_R(\theta) + \beta_M(\theta)}{\beta_R + \beta_M} E_{sun} (1 - e^{-(\beta_R + \beta_M)s}) \quad (6)$$

其中 E_{sun} 为太阳的 RGB 颜色。 β_R 和 β_M 分别是 Rayleigh 散射函数和 Mie 散射函数,它们之间是独立连续的。 β_R 和 β_M 由以下方程给出:

$$\beta_R(\theta) = \frac{3}{16\pi} \beta_R (1 + \cos^2 \theta) \quad (7)$$

$$\beta_M(\theta) = \frac{\beta_M}{4\pi} \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g\cos\theta)^{3/2}} \quad (8)$$

2.1 基于改进 Rayleigh 散射模型的算法

如果直接采用 Hoffman 提出的简化的理论模型来绘制天空模型,在垂直太阳照射方向上会在天空绘制模型的中央产生一条黑带(如图 1 所示)。

由于色调映射是对 HDR (High-Dynamic Range, 高动态范围) 进行针对光强度的对数映射的操作,其作用是减少明亮区域和黑暗区域对比度,来显示良好的显示效果。由于出现如图 2 所示的问题,因此需要对色调映射进行补偿。

在 Rayleigh 方程中,调整与方向(散射角)有关的因子的系数,来减少由于散射角的变化引起的亮度变化,即减少散射函数对于方向的依赖性。

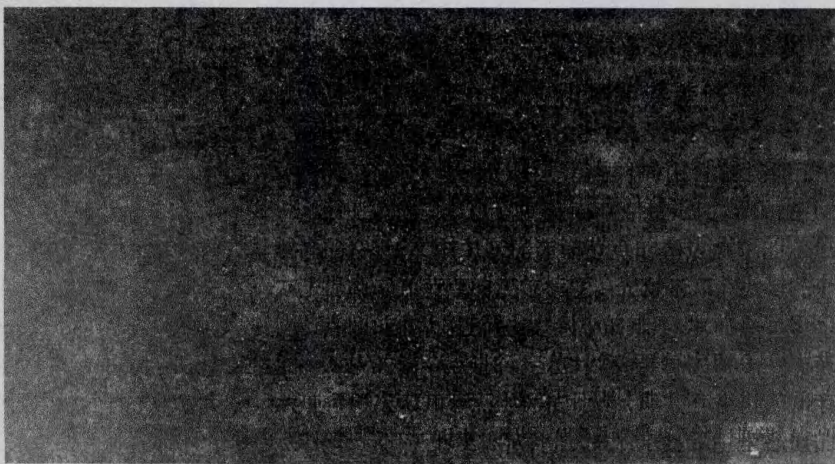


图 1 应用 Hoffman 等的方法绘制天空,天空中间出现黑色带

根据问题描述,笔者应对 Rayleigh 散射方程的表征方向性的因子进行修改。减少 Rayleigh 散射方程的 $\cos^2(\theta)$ 部分的权值将有利于减少散射方程的方向性。因此在 $\cos^2(\theta)$ 参数上乘以 1/2 因子。这个因子是笔者通过估计,然后在结果中反复验证得到的。从理论上讲,这个系数是没有任何意义的,但是对于实时仿真来讲,增加这一系数后,仿真效果将会更好。

笔者对于 Rayleigh 散射方程进行调整后,得到如下方程:

$$\beta_R(\theta) = \frac{3}{16\pi} \beta_R [2 + \frac{1}{2} \cos^2 \theta] \quad (9)$$

图 2、图 3 为散射方程随散射角变化的示意图。

如图 3 所示,经过调整后的散射方程,散射光强度随散射角的变化比调整前减小了。平行散射与垂直散射之间的比例减小为 1.25。从理论上讲,解决了减少散射光强对方向依赖性强的问题。

2.2 HG 散射算法参数改进

在 Hoffman 等的算法中,假定了观察者的位置只能在地面上。当观察者的高度变化或者太阳位置变化

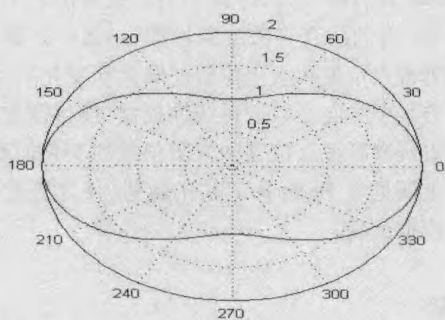


图2 Rayleigh 方程中,太阳光在观测方向上散射,根据散射角不同,产生不同光强

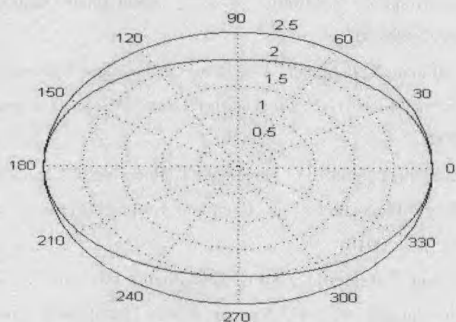


图3 经过参数改动,随着观测角的改变,散射光的强度变化比参数改动前小得多

时,天空的颜色不会随之变化。这样做的优点在于,在仿真过程中可以使用两点之间的距离 s 来表示光程(见式4)。但是在飞行模拟器的实时仿真过程中,光程会随着观察路径的长度和大气的密度的变化而变化,不符合飞行模拟器的交互性原则,因此需要使散射系数能够适应观察者的各种视角和太阳各个位置。由于方向参数 g 要随着观察高度 h 和太阳位置 θ 的变化进行调整,因此,建立方向系数 g 与观察高度 h 和太阳位置 θ 之间的线性方程:

$$g = a + bh + c\theta + dh\theta \quad (10)$$

其中, a , b , c 和 d 是已知的,这需要通过多次试验进行取样验证来求得。

方向参数 g 依赖于观

察者的观察高度和太阳的位置,同时, HG 散射对参数 g 同样有着重要影响。使用最大和最小 HG 散射,通过式(10)计算方向参数 g 。同样,在通用 HG 散射因子的基础上,最大和最小 HG 散射因子经过线性差值后可以计算出通用的 g 因子。基于 HG 散射因子,利用简单的线性方程,来调整太阳光亮度。最终的光强度值要通过反复试验,测得最终结果。

计算流程如下:

- 1) 利用最大和最小散射因子计算 g 参数。
- 2) 通过第1步中计算的值,基于通用 HG 散射因子,使用插值法计算最终 HG 散射方向参数 g 。
- 3) 基于 HG 散射因子调整光的强度(如果图像比较朦胧意味着只有少量光通过)。

3 仿真结果

3.1 消除黑带仿真结果

文中的仿真环境为酷睿 T6600, 2.2GHz, 2GB 内存, ATI HD4670 显卡, Win7 操作系统, VC++ 为开发工具, 使用 OpenGL 语言开发, 图像帧率为 60fps。

在对 Rayleigh 方程改进后, 对其进行仿真。仿真结果如图4所示。

3.2 关联散射系数后的仿真结果

针对散射系数要适应观察者视点高度和太阳位置, 以满足实时仿真的需要, 经过建立方向因子与观察者视点高度和太阳位置的方程, 仿真结果如图5所示。



图4 傍晚光照, 90度视场范围



在地平线绘制结果



在 16 米高度绘制结果



在 30 米高度绘制结果

图 5 在不同视点高度对天空仿真结果

在仿真结果中,由图 3 和图 4 可以看出,将 Rayleigh 散射方程中与方向相关的因子的系数改变之后,散射光亮度对方向依赖性降低,绘制出的图像中无明显的黑带;由图 5 可以看出,将方向因子与观察者视点高度和太阳位置建立线性方程,随着观察者高度和太阳位置的变化,光强度随之变化。两个问题的天空绘制结果均符合现实场景中天空的状态。因此,所采用的改进方法有效、可行。

4 结束语

文中针对在使用 Hoffman 等的算法绘制天空时,在绘制出的天空场景中会出现明显黑带的问题,改进

了 Hoffman 算法的模型,达到了消除黑带的目的。针对 Hoffman 等的仿真算法绘制过程中,散射系数不能随观察者视点位置和太阳位置的变化而变化的问题,对散射方程中方向参数进行线性控制,使得散射系数能够随着观察者视点位置和太阳位置的变化而变化。通过以上两处对 Hoffman 算法的改进,使之更适合实时飞行模拟仿真。

参考文献:

- [1] Dobashi Y, Yamamoto T, Nishita T. Interactive Rendering of Atmospheric Effects Using Graphics Hardware[C]//Proceedings of the ACM SIGGRAPH/URROGRAPHICS Conference on Graphics Hardware. [s. l.]: Eurographics Association, 2002:99-107.
- [2] Hoffman N, Preetham A J. Rendering outdoor light scattering in real time[C]//Proceedings Game Developer Conference 2002. [s. l.]: [s. n.], 2002.
- [3] Dobashi Y, Shinzo Y, Yamamoto T. Modeling of Clouds from a Single Photograph[C]//Computer Graphics Forum. [s. l.]: [s. n.], 2010.
- [4] Kment T, Rauter M, Zotti G. Modelling of Daylight for Computer Graphics[R]. TU Vienna, Austria: Institute of Computer Graphics & Algorithms, 2006.
- [5] 陈业斌. 关于天空动态仿真技术研究及实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(6): 171-173.
- [6] Guldner S. Accurate Atmospheric Scattering[R]. [s. l.]: [s. n.], 2009.
- [7] Rayleigh L. On the scattering of light by small particles[J]. Philosophical Magazine, 1871, 41: 447-451.
- [8] Rayleigh L. On the Transmission of Light through an Atmosphere Containing Small Particles in Suspension, and on the Origin of the Blue Sky[J]. Philosophical Magazine, 1899, 47: 375-384.
- [9] Pye D. Polarised Light in Science and Nature[M]. Bristol, Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2001.
- [10] 王洁宁. 面向虚拟现实环境的自然现象模拟关键技术的研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [11] Irwin J. Full-spectral rendering of the earth's atmosphere using a physical model of rayleigh scattering[C]//Proceedings of the 1996 Eurographics UK Conference. [s. l.]: [s. n.], 1996.
- [12] Preetham A J. Modeling Skylight and Aerial Perspective[C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH. [s. l.]: [s. n.], 2003.
- [13] Preetham A J, Shirley P, Smits B. A practical analytic model for daylight[C]//Proceedings of the 26th annual conference on computer graphics and interactive techniques. New York, NY, USA: ACM Press/Addison - Wesley Publishing Co., 1999: 91-100.