

# 利用线性插值合成图象\*

桑梓勤<sup>1,2</sup> 丁明跃<sup>1</sup> 张天序<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(华中理工大学图象识别与人工智能研究所, 武汉 430074)

<sup>1</sup>(华中理工大学图象信息处理与智能控制国家教委开放实验室, 武汉 430074)

<sup>2</sup>(北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

**摘要** 室外场景的光照模拟与图象合成的难点在于场景与光照的复杂性。提出了一种利用现有基图象的线性组合来生成不同天候条件下同一场景图象的方法。它根据光照函数的线性关系, 估计不同太阳位置 and 不同天气状况基图象的系数, 从而最终通过基图象的组合来产生目标图象。实验结果表明本文的方法用于固定场景下的图象合成是可行的。

**关键词** 图象合成 线性插值

## 0 引言

合成自然光照条件下的室外场景是一项具有挑战性的工作, 因为自然光源很复杂, 太阳的位置每时每刻都在变化, 而且云层也是随时改变的, 这使得日光(daylight)的模型很难建立。从场景方面考虑, 物体的几何形状、相对位置以及表面反射特性也是非常复杂的, 特别是场景中如果有地形起伏、树木草地等植被, 这些景物的大小尺寸相差很大, 形状也很难描述。

为了获得具有摄影真实感(photorealistic)的图象, 一种常用的方法是全局光照算法<sup>[1]</sup>。全局光照算法要考虑细微的光照效果, 如软影、间接光照、色渗。全局光照算法不管是光线跟踪还是辐射度方法, 计算量都相当大, 非常耗时。

在虚拟现实、飞行模拟等应用场合, 往往需要根据已有的基图象, 预测出不同太阳位置、不同天空条件(云层变化)的同一场景的图象。

## 1 成像几何关系

日光是直射的阳光(sunlight)和天空光(skylight)的组合<sup>[2,3]</sup>。直射的阳光可以当成平行光源处理, 而天空光则来自大气层对阳光的吸收、反射与漫射, 它

的强度是非均匀的, 光谱能量分布取决于天气情况。具体地说, 是太阳高度、大气浑浊度、天空明亮度与水汽含量等因素<sup>[4]</sup>。

太阳在天空中的位置可用2个角度来描述<sup>[5,6]</sup>:

(1)高度角  $\alpha$ , 即太阳和地心的连线与水平面间的夹角; (2)方位角  $\psi$ , 即正南方向与光线在水平面上的投影的夹角, 如图1所示。太阳的天顶角  $\theta_z$  是高度角  $\alpha$  的补, 即  $\theta_z + \alpha = 90^\circ$ 。它们之间的关系由下式确定:

$$\sin \alpha = \cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (1)$$

$$\cos \psi = \frac{\sin \alpha \cos \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \quad (2)$$

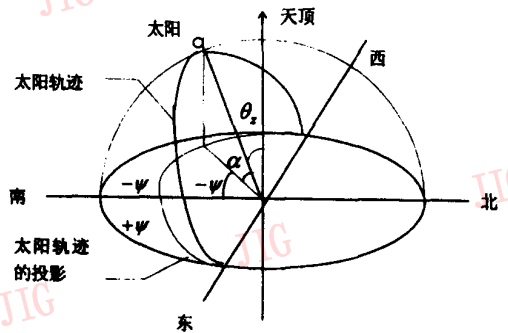


图1 太阳高度角  $\alpha$ 、天顶角  $\theta_z$  和方位角  $\psi$  的定义  
其中  $\delta$  是太阳倾斜角(solar declination), 它可由下式

\* 北京大学视觉信息处理国家重点实验室开放基金课题  
收稿日期: 1997-12-11; 收到修改稿日期: 1998-07-03

计算,单位是度。

$$\delta = \sin^{-1} \left\{ 0.4 \sin \left[ \frac{360}{365} (d_n - 82) \right] \right\} \quad (3)$$

$d_n$  是日期数,元月1日为1,12月31日为365,  $1 \leq d_n \leq 365$ 。 $\phi$  是地理纬度,北半球为正。 $\omega$  是太阳时小时角,太阳时中午 12:00 为 0,上午为正,下午为负,其计算方法可参阅文献[6]。

## 2 光照的线性插值

Kajiya 从能量守恒的角度对图象着色进行了理论研究<sup>[7]</sup>,提出了著名的着色方程,解决了能量由表面上一点传递到另一个表面上一点的问题。Nimeroff 等人对光照函数的多项式展开与易操纵性(steerable)逼近进行了研究<sup>[8]</sup>。我们将二者结合起来,推导出一种利用已有的基图象的线性组合生成不同天候条件下同一场景的图象的方法。

成象的过程可以看成是光照射到物体上、物体表面反射、反射光进入传感器(相机、人眼等)的过程<sup>[8]</sup>。我们想象有一个着色算子  $R$  对光源函数  $L$  和场景几何关系  $G$  进行运算,产生图象  $I$ ,即:

$$I = R(L, G) \quad (4)$$

这里,传感器模型已包括在着色算子  $R$  内。如果场景固定,即物体与相机之间的相对位置不变,而只改变光源的强度和方向,则:

$$L(u, s) = L_z \frac{\{0.91 + 10 \exp[-3 \arccos(u \cdot s)] + 0.45(u \cdot s)^2\} \left[ \left[ 1 - \exp\left(\frac{-0.32}{u_z}\right) \right] \right]}{0.274 \{0.91 + 10 \exp[-3 \arccos(s_x)] + 0.45(s_x^2)\}} \quad (9)$$

Nimeroff 等人对式(9)进行多项式展开,然后表述为基函数的线性组合。如果展开式取到二阶,则晴天的光亮度计算需要 9 个基函数<sup>[8]</sup>,即需要 9 个

$$L(u, s) = \sum_{i=1}^9 k_i \cdot L(u, s_i) \quad (10)$$

$$(k_1 \ k_2 \ \dots \ k_9) = (1 \ s_x \ x_y \ s_z \ x_x^2 \ s_x s_y \ s_x s_z \ s_y^2 \ s_y s_x \ s_z^2) M_9^{\#} \quad (11)$$

$M_9^{\#}$  是一个  $10 \times 9$  矩阵,表示  $9 \times 10$  矩阵  $M_9$  的广义逆,且

$$M_9 = \begin{bmatrix} 1 & s_{1,x} & s_{1,y} & s_{1,z} & s_{1,x}^2 & s_{1,x}s_{1,y} & s_{1,x}s_{1,z} & s_{1,y}^2 & s_{1,y}s_{1,z} & s_{1,z}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & s_{9,x} & s_{9,y} & s_{9,z} & s_{9,x}^2 & s_{9,x}s_{9,y} & s_{9,x}s_{9,z} & s_{9,y}^2 & s_{9,y}s_{9,z} & s_{9,z}^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

根据 CIE 对天气的分类,天气可用天空云层的覆盖率即云率  $r$  表示<sup>[9]</sup>:晴天: $0 \leq r < 0.3$ ;多云: $0.3 \leq r < 0.7$ ;阴天: $0.7 \leq r \leq 1$ 。我们前面在式(8)、(9)中给出的是云率分别为 1 和 0 时的情况,对  $0 < r < 1$  的天气,自然光照强度可用下式计算:

$$I = R_c(L) \quad (5)$$

根据 Kajiya 的着色方程理论<sup>[7]</sup>,对以积分方程形式表述的着色方程求数值解,着色算是线性的。如果我们把光照函数  $L$  看成是  $N$  个基光照函数的线性组合,即:

$$L = \sum_{i=1}^N k_i L_i \quad (6)$$

则我们所生成的着色图象是基图象的线性组合,即:

$$\begin{aligned} I &= R_c(L) = R_c\left(\sum_{i=1}^N k_i L_i\right) \\ &= \sum_{i=1}^N k_i R_c(L_i) = \sum_{i=1}^N k_i I_i \end{aligned} \quad (7)$$

现在我们需要解决的问题是:(1)需要多少基函数?(2)怎样选择光照基函数?(3)系数  $k_i = ?$

对于天空光,我们把天空看成是一个发光的半球<sup>[3]</sup>,地球位于半球的中心。单位向量  $u (u = \{u_x, u_y, u_z\})$  由半球中心指向天幕上的一点,单位向量  $s (s = \{s_x, s_y, s_z\})$  由半球中心指向太阳。对于阴天,天空中任一点的光亮度  $L$  只与天顶角或太阳高度角有关<sup>[2,3]</sup>:

$$L(u) = L_z \frac{1 + 2u_z}{3} \quad (8)$$

其中  $L_z$  是天顶的光亮度。对于晴天,天空光亮度  $L$  为<sup>[3,9]</sup>

太阳位置。光照基函数为  $L(u, s)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 9$ 。则天空光亮度表述为基光照强度线性组合的形式为:

$$L = (1 - r)L_{\text{晴天}} + rL_{\text{阴天}} \quad (13)$$

这里,  $L$ 、 $L_{\text{晴天}}$  和  $L_{\text{阴天}}$  取同一时刻。同样,图象的线性组合也变为:

$$I = (1 - r)I_{\text{晴天}} + r \frac{1 + 2u_z}{1 + 2u_{z,\text{阴天}}} I_{\text{阴天}}$$

$$= (1 - r) \sum k_i I_{\text{晴天},i} + r \frac{1 + 2u_z}{1 + 2u_{z,\text{阴天}}} I_{\text{阴天}} \quad (14)$$

$I_{\text{晴天},i}$ 和 $I_{\text{阴天}}$ 是实拍图象, $k_i$ 由式(11)确定。整个工作原理如图2所示。

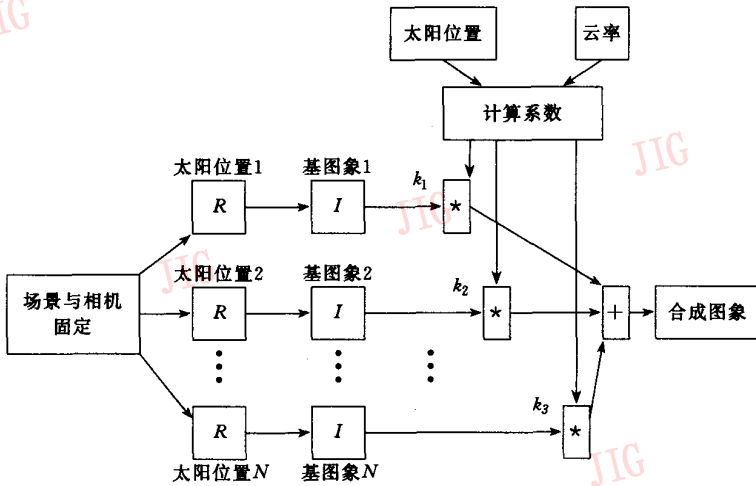


图2 图象的线性组合的工作原理

### 3 实验结果与分析

作者在华中理工大学微波测试场进行了如下实验<sup>[10]</sup>:将50mm镜头的CCD相机固定,在各种天气情况下拍摄固定的场景。场景中放置3个模型:长方体、三角锥和圆台,它们的表面粗糙程度不同,涂的油漆也不一样。我们同时也记录了天气情况(气

温、气压、风速、天空云率),经过研究发现,大气层对太阳辐射的作用主要是云层对太阳光的吸收、反射与漫射,从而改变了到达地表的太阳光谱能量分布。

我们选择1995年11月4日的9幅图象(如图3所示)作为基图象,合成了9:30的一幅图象(如图4所示)。根据记录,这一天是极好的晴天,天空中基本无云。我们得到的系数为:

$$K = [0.0300 \quad 0.3944 \quad 0.5079 \quad 0.1924 \quad -0.2022 \quad -0.0305 \quad 0.1368 \quad 0.0908 \quad -0.1197]$$

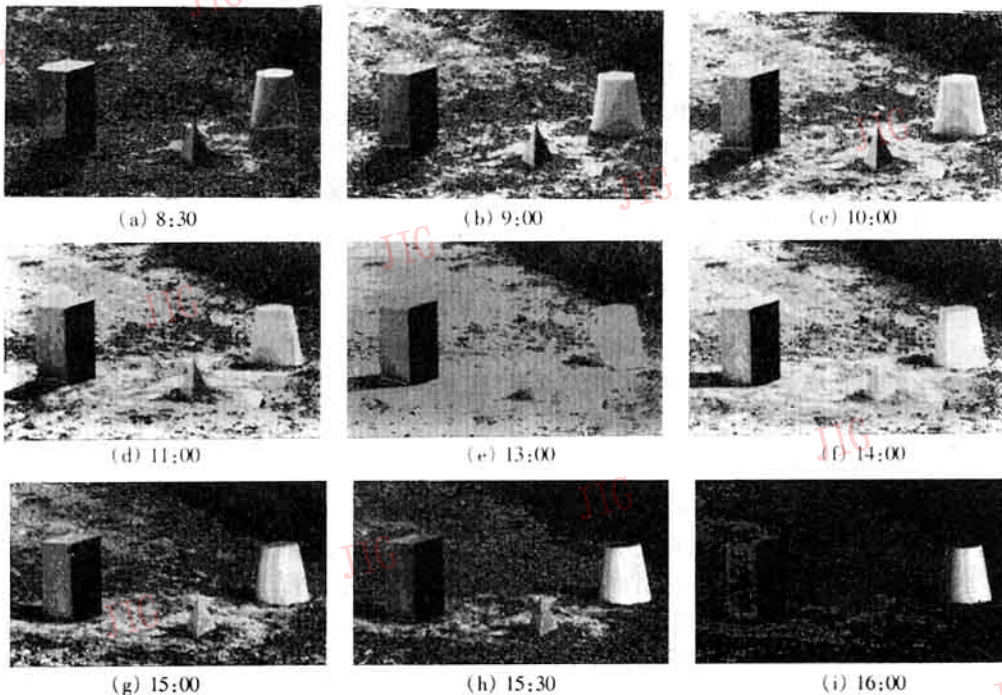
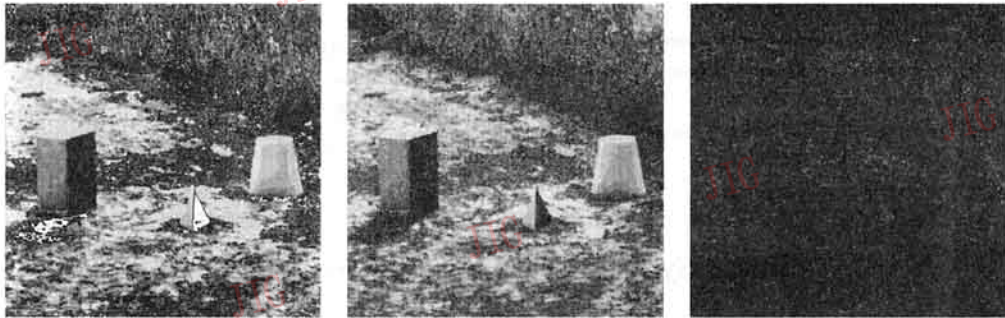


图3 1995年11月4日8:30至16:00实拍的9幅图象

图5是我们合成的1995年11月7日10:00的一幅图象,当时的天气是“多云”,天空的云率为0.6,我们利用公式(14),而阴天的图象选用的1995年11月13日14:30的实拍图象。

从图4和图5的结果来看,3个模型的表面以及比较平坦的地面的图象合成效果较好,而背景中的茅草和细微的地形起伏合成结果比较差,其原因

在于9幅基图象的细节本身的差异就比较大,而我们的图象合成是逐象素点计算的,导致图象不光滑,细节的灰度变化很快。还有一个问题是三角锥的黑面和长方体的阴影没有合成出来,究其原因,是因为我们选用的图3(d)~(f)严重失真,三角锥几乎不可见,这是CCD相机曝光过度的结果。

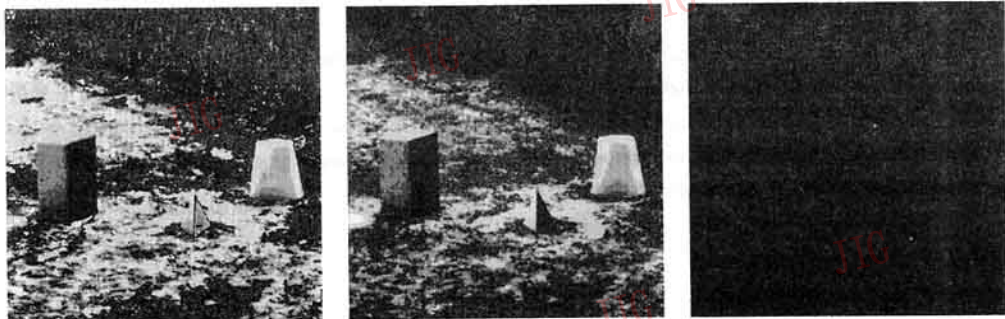


(a) 合成图象

(b) 实拍图象

(c) 差图象

图4 1995年11月4日9:30的合成图象与实拍图象比较



(a) 合成图象

(b) 实拍图象

(c) 差图象

图5 1995年11月7日10:00的合成图象与实拍图象比较

## 4 总结

基图象可以是彩色图象,也可以是灰度图象。本文的基图象是直接采用了实拍图象,也可以由光线跟踪、辐射度方法或 Monte Carlo 方法等全局光照算法生成。这种利用插值生成图象的方法具有计算时间短、图象逼真等优点。

本文的方法对于室外场景中比较大的表面,可以得到满意的结果。但对于地形起伏比较快的场景、植被、树木等背景,则效果不是特别理想。对细

节的合成研究及相机成像系数的修订是我们下一步要解决的问题之一。

我们将来的研究主要还有:(1)基图象用彩色图象替换灰度图象,而且用全局光照算法生成单幅的基图象。(2)我们测量的值,由地表和模型表面的照度,变为单色光的辐照度,这样我们可以得到可见光谱的谱能量分布。我们要研究物体表面的光谱能量分布转化到3刺激值的颜色空间的方法。(3)由颜色空间变换到与人的视觉刺激一致的彩色的方法。(4)大气层中的微粒、水汽等对太阳辐射的影响。我们希望最后能够建立一个全天候(阴、晴、雨、雾、霜、

雪等)的图象合成的经验框架。

致谢 本文的部分工作是在北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室完成的,对崔立农、李银城和玛丽娅的热忱帮助表示感谢。

### 参考文献

- 1 Ward G J. The RADIANCE lighting simulation and rendering system. *Computer Graphics (SIGGRAPH '94 Proceeding)*, 1994,28:459 ~ 472.
- 2 IES Daylight Committee. Recommended practice of daylight. *Lighting Design and Application*, 1979,9(2):45 ~ 58.
- 3 Tomoyuki N, Eihachiro N. Continuous tone representation of three-dimensional objects illuminated by sky light. *Computer Graphics (SIGGRAPH '86 Proceeding)*, 1986,20:125 ~ 132.
- 4 Perez R, Ineichen P, Seals R, *et al.* Modeling daylight availability and irradiance components. *Solar Energy*, 1990,44: 271 ~ 289.
- 5 Angus R C, Muneer T. Sun position for daylight models: Precise algorithms for determination. *Lighting Research and Technology*, 1993,25(2):81 ~ 83.
- 6 Iqbal M. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, 1983.
- 7 Kajiya J T. The rendering equation. *Computer Graphics (SIGGRAPH '86 Proceeding)*, 1986,20:143 ~ 150.
- 8 Nimeroff J S, Simoncelli Eero, Dorsey Julie. Efficient re-rendering of naturally illuminated environments. Sakas, Shirley, Muler (eds.). *Photorealistic rendering techniques*, Springer-Verlag, 1995, 373 ~ 388.
- 9 CIE Technical Committee 4.2. Standardization of luminance distribution on clear skies. CIE Publication No. 22, Commission International de L'Éclairage, Paris, 1973.
- 10 王亚东. 图象天候模型研究 [华中理工大学硕士论文]. 武汉: 1995.

注:作者简介见1998年第6期,在此不再刊登。

## Image Synthesis via Linear Interpolation

Sang Ziqin<sup>1,2</sup>, Ding Mingyue<sup>1</sup>, Zhang Tianxu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, State Education Commission Laboratory for Image Processing & Intelligence Control, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

<sup>2</sup>(National Laboratory on Machine Perception, Beijing University, Beijing 1000871)

**Abstract** Lighting simulation and image synthesis for outdoor scenes is intractable due to the geometric and lighting complexity of such environment. In this paper we present an efficient solution to the problem of image synthesis by linear combination of acquired basis images. According as to the linearity of illumination function, the coefficients of basis images of varying sun position and sky conditions can be calculated to generate the desired image. Our method has been proved suitable for fixed scene and camera geometry.

**Key words** Image synthesis, Linear interpolation

## 为 D3D Game 改头换面,影雷者量身打造 3D 立体眼镜

一向在高阶图形处理技术领域执牛耳地位的艾尔莎公司,同时也注意到多媒体娱乐市场的活跃性,因此不断地投注心力在这块市场大饼上,以其优越的技术,增加更多的产品优势来回馈给所有艾尔莎的爱用者,使艾尔莎在未来 21 世纪具有前瞻性与更强的优越性,同时使用户得到物超所值的享受。

目前艾尔莎与制造 3D 立体眼镜的厂商合作,将所有以 Direct 3D 介面语言的 Game 转化成为真正具有景深的 3D 立体画面,戴上立体眼镜就能使 Game 玩家有新的虚拟实境的全新体验,也可以说是赋予旧游戏全新的生命力,对于 Game 的玩家来说,无须购置新的游戏也可以藉由这项产品达到另一种玩 Game 的快感。3D 立体眼镜这项新产品主要是由艾尔莎开发的最新驱动软体,再加上艾尔莎独家专利研发的 VGA 转接器,即可将画面转化成为真正的 3D 立体画面,而在转接器的部分,用户无须另外更新原来的设备就可以直接插入使用。

这项产品与艾尔莎影雷者系列的绘图加速卡有相互支援的功能(目前只支援影雷者 V2,影雷者 II),并预定将于 5 月正式上市,届时用户可以购买整套的加速卡与眼镜或是单独选购眼镜及相关配件,到时候只要到艾尔莎网站上就可以下载最新的驱动程式,并加以更新即可体验何谓立体效果!这些开创性的作法都是为了给艾尔莎所有的用户,以及未来可能的潜在客户提供一个更有质感的产品及服务。(北京致荣信息技术有限公司 李应华 供稿)