

# 基于动态 Light Map 的增强现实光照算法

谭茗, 陈浩, 孙建华

(湖南大学计算机与通信学院, 长沙 410082)

**摘要:**为实现增强现实系统中光照的实时准确性,提出一种基于动态 Light Map 的快速光照算法。该方法通过采集视频图像中校准物体的像素亮度,计算出摄像机的信号放大量和信号偏置,并利用动态更新的 Light Map 所记录的环境光照信息实现虚、实场景之间的一致光照,且能够适应光照变化的场景。实验结果表明该算法的显示速度能够达到实时交互的帧率。

**关键词:**增强现实;光照;动态更新

## Illumination Method in Augmented Reality Based on Dynamic Light Map

TAN Ming, CHEN Hao, SUN Jian-hua

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

**【Abstract】**To achieve the correct lighting in Augmented Reality(AR) in time, a fast dynamic Light Map-based approach is presented. The pixel intensity of the calibration object in different video images is collected. The gain and the bias of the camera are computed. The environmental light condition is used which is recorded by the dynamic Light Map to augment the mixed scenes. If the illumination changes, new frames can update the Light Map immediately. Experimental results indicate that the approach can handle dynamic real-world illuminations and the updating speed is fast enough for real-time applications.

**【Key words】**Augmented Reality(AR); illumination; dynamic updating

### 1 概述

增强现实(Augmented Reality, AR)技术是虚拟现实技术的一个分支,是一种将真实环境同虚拟物体相融合的技术<sup>[1]</sup>。AR技术已被广泛运用于军事、医学、娱乐等领域。

为了使增强现实场景看起来更加真实,更容易让人们接受,需要解决虚拟物体与真实场景之间的光照一致性<sup>[2]</sup>问题。关于这个问题,近年来的很多方法<sup>[3-4]</sup>都是使用辅助测光设备——鱼眼镜头摄像机来记录环境中的光照信息,并以此确定各个光源的位置,再用已知的光源对增强现实场景进行照明。这种方法能够精确测量环境光照,实现逼真的光照效果,但是需要昂贵的测光设备,这对于普通的实验条件来说是无法实现的。

本文针对这个问题,提出了一种基于 Light Map 的光照算法。该算法避免使用 HDR 摄像机,而是用 Light Map 记录环境中的光照情况,并且对 Light Map 进行动态更新,能够达到实时交互的帧率,产生正确的明暗和阴影,且实现起来较为简单,通用性较强。

### 2 算法分析与设计

#### 2.1 场景的光照模型

实验所选择的校准物体是具有清晰图案的平面物体,且表面为漫反射表面,它向各个方向上反射的光线是相同的。在时刻  $t$ ,校准图案上的某个点所反射的光线数量取决于该点的表面法线方向  $n_i$ 。为了能够准确地计算法线方向,通常用以某个点为中心的一个小面片  $\pi$  来代替该点,则面片  $\pi$  在时刻  $t$  所接收的光能为

$$x_{\pi,t} = \sum_{l=0}^L \max(n_i \cdot d_l, 0) \Omega_l \quad (1)$$

其中,  $\Omega_l$  表示光源  $L$  的能量;  $d_l$  表示它的方向。在已经计算得到校准图案表面各点的反射系数的情况下,可以用下式来表示面片  $\pi$  在  $t$  时刻的像素亮度  $I(\pi, t)$ :

$$I(\pi, t) = g \rho_{\pi} x_t + b \quad (2)$$

其中,  $\rho_{\pi}$  表示面片  $\pi$  上各点的反射系数的平均值,用  $\pi$  上的平均亮度来计算;  $g$  和  $b$  分别表示摄像机的信号放大量和信号偏置。

#### 2.2 光照算法设计

从光照模型分析可知,要计算出面片  $\pi$  的亮度,就必须先计算光能  $\Omega$ 。也可认为空间中的某个位置(如校准图案所在的位置),它的各个朝向(也就是以它为中心的某个球面上的每个点的法线方向)上所接收到的光能与法线方向  $n$  有关。因此,式(1)中的  $x_{\pi,t}$  可看成是  $n$  的函数。这样就可以用一个 Light Map  $M(n)$  来表示该位置的光照情况。在这种情况下,虚拟物体表面的像素亮度可以表示成

$$I(v, t) = g \rho_v M_t(n_v) + b \quad (3)$$

其中,  $\rho_v$  表示虚拟物体表面的反射系数,在虚拟物体建模时定义<sup>[5]</sup>。

由式(3)可知,要得到虚拟物体表面的亮度,就必须先求

**基金项目:**国家“973”计划基金资助项目(2007CB310900)

**作者简介:**谭茗(1982-),女,硕士研究生,主研方向:虚拟现实;陈浩、孙建华,副教授、博士

**收稿日期:**2009-04-30 **E-mail:** haochen@aimlab.org

出摄像机的  $g$  和  $b$ , 可通过式(2)求得。式(2)中有 3 个未知量, 即  $g$ ,  $b$  和  $x_0$ 。令  $g'=1/g$ ,  $b'=1/b$ , 则式(2)可表示为

$$-I(\pi, t)g' + \rho_\pi x_t + b' = 0 \quad (4)$$

将不同时刻所得到的式(4)放在一起就形成了一个方程组:

$$\begin{cases} -I(\pi, t_1)g' + \rho_\pi x_{t_1} + b' = 0 \\ -I(\pi, t_2)g' + \rho_\pi x_{t_2} + b' = 0 \\ \dots \\ -I(\pi, t_n)g' + \rho_\pi x_{t_n} + b' = 0 \end{cases} \quad (5)$$

式(5)也可以表述成式(6)。为简化表达式, 式(6)中用  $I_{t_n}$  表示式(5)中的  $I(\pi, t_n)$ :

$$\begin{cases} -I_{t_1}g' + b' + \rho_\pi x_{t_1} + 0 \cdot x_{t_2} + \dots + 0 \cdot x_{t_n} = 0 \\ -I_{t_2}g' + b' + 0 \cdot x_{t_1} + \rho_\pi x_{t_2} + \dots + 0 \cdot x_{t_n} = 0 \\ \dots \\ -I_{t_n}g' + b' + 0 \cdot x_{t_1} + 0 \cdot x_{t_2} + \dots + \rho_\pi x_{t_n} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

解式(6)可得到多个特征值和特征向量, 而与最小特征值相对应的特征向量就是笔者所要求的值。解向量中的  $(x_{t_1}, x_{t_2}, \dots, x_{t_n})$  即为形成  $M(n)$  所需的各个法线方向的光能值。

以上的计算结果是在光照不变的情况下得到的。当校准物体的空间位置变化或者光源发生改变的时候, 虚拟物体的光照情况也会随之改变。因此, 必须对 Light Map 进行及时的更新, 以适应环境光照的变化。

令  $M_t(n)$  为  $t$  时刻的 Light Map, 则  $t+1$  时刻的 Light Map 可以用下式来表示:

$$M_{t+1}(n) = (1 - f(n))M_t(n) + f(n)x_{t+1} \quad (7)$$

其中,

$$f(n) = \begin{cases} \exp(-\cos^{-1}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_{t+1}) \frac{1}{2s^2}) & \cos(\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_{t+1}) > 0 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

式(7)中的  $x_{t+1}$  是  $t+1$  时刻所观察到的法线方向为  $\mathbf{n}_{t+1}$  的面片所接收的光能。式(8)中的  $s$  是一个模糊常量。事实上, 当光照突然发生变化时, 该方法不能够及时地更新整个 Light Map, 而是每一帧都只能采样到一个法线方向并更新该法线方向上的光能值, 而其他法线方向上的光能值保持不变。因此, 在建立了 Light Map 以后, 对每一个新的帧都要进行更新, 从而最大程度地达到及时更新的效果。

### 2.3 阴影生成

在 AR 系统中, 可以用多个虚拟光源来模拟真实光源。给定一个较大的亮度值  $I_c$  作为临界亮度值, 当某个法线方向上的光能值大于(或等于)  $I_c$  时, 就认为该方向上可能存在一个光源; 反之, 则认为该方向上不存在光源。对于每个可能存在光源的法线方向  $\mathbf{n}$ , 进行如下操作以确定该方向上是否存在光源: 首先, 定义一个较小的角度  $\varepsilon$  来表示临界角度。然后, 逐个扫描 Light Map 中的法线方向, 当某个法线方向  $\mathbf{n}'$  与法线方向  $\mathbf{n}$  的夹角  $(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$  小于临界角度  $\varepsilon$  时, 将  $\mathbf{n}'$  看作是  $\mathbf{n}$  的邻近法线方向。最后, 判断各个邻近法线方向上的光强度是否小于  $\mathbf{n}$  上的光强度, 如果所有邻近法线方向上的光强度都小于  $\mathbf{n}$  上的光强度, 则法线方向  $\mathbf{n}$  上必定存在光源; 否则, 不存在光源。这个过程可以用下式来表示:

$$\begin{cases} I_n \in I, I_n > I_c, \text{ 且对 } \forall(\mathbf{n}, \mathbf{n}') < \varepsilon, I_n > I_{n'} \\ I_n \notin I & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $I, I_n, I_{n'}$  分别表示环境中的光能、法线方向  $\mathbf{n}$  上的光能和法线方向  $\mathbf{n}'$  上的光能。

所有的虚拟光源都分布在以虚拟物体为中心的半球面上, 如图 1 所示, 其中每个三角形代表一个可能的虚拟光源。

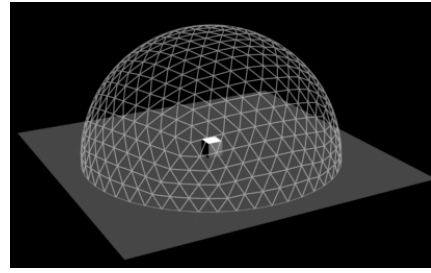


图 1 虚拟光源分布图

在确定了所有虚拟光源的位置后, 就可以利用 Phong 光照模型来计算增强现实场景中的阴影了。

### 3 实验结果

本文采用普通的 USB 摄像头拍摄真实场景的视频, 在程序采集到一定的光照信息后, 就将虚拟物体绘制到真实场景中, 并对 AR 场景进行明暗增强, 如图 2(a)所示。图中的平面物体为校准物体, 茶壶为计算机生成的虚拟物体。在对虚拟茶壶进行明暗绘制的同时, 利用 2.3 节所描述的方法计算环境中光源的位置。然后根据光源的位置以及虚、实物体的几何结构与空间位置, 计算并绘制出“茶壶”投射到校准平面上的阴影, 如图 2(b)所示。图 3 给出了 2 种不同情形的阴影效果。



(a)只有明暗、没有阴影的情况 (b)既有明暗、又有阴影的情况

图 2 实验结果图



(a)情形 1 (b)情形 2

图 3 增强现实场景中的阴影

本文分别用 3 个不同面片数(4 000, 6 000 和 21 000)的模型对视频图像进行增强, 并记录了这 3 种情况下的帧率和内存占用量, 如表 1 所示。从表中可以看出, 系统运行时的帧率为 8 fps~13 fps, 基本达到了可交互的帧率; 内存占用量也较小。

表 1 使用不同模型时的 3 个参数值

模型(面片数)	每秒的帧数/fps	内存占用量/MB
苹果(4 000)	9~13	60
茶壶(6 000)	9~12	64
飞机(21 000)	8~10	77

实验结果表明, 本文的方法能够准确地实现虚实一致的

光照, 可以适应环境光照改变的情况, 且更新速度基本达到了用户与增强现实场景之间实时交互的要求。

#### 4 结束语

本文提出了一种实现增强现实系统虚实一致光照的算法。通过对真实场景光照的分析, 构建光照图 Light Map, 并根据每一帧图像对 Light Map 进行实时更新。通过实验验证表明, 该方法能够实现虚实一致的明暗和阴影效果, 程序运行速度能够满足实时交互的要求。但本文的算法采用漫反射的平面物体作为校准物体, 对于非漫反射物体或非平面物体均不适用, 这有待进一步的改进。

#### 参考文献

- [1] Azuma R T. A Survey of Augmented Reality[J]. Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4): 355-385.
- [2] 顾耀林, 王 骏, 倪彤光. 基于环境映照的增强现实技术[J]. 计

算机工程, 2004, 30(11): 7-9.

- [3] Frahm J M, Koeser K, Grest D. Markerless Augmented Reality with Light Source Estimation for Direct Illumination[C]//Proc. of the 2nd IEEE European Conference on Visual Media Production. [S. l.]: IEEE Press, 2005: 211-220.
- [4] Grosch T, Eble T, Mueller S. Consistent Interactive Augmentation of Live Camera Images with Correct Near-field Illumination[C]//Proc. of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. California, USA: [s. n.], 2007: 125-132.
- [5] Haller M, Drab S, Hartmann W. A Real-time Shadow Approach for an Augmented Reality Application Using Shadow Volumes[C]//Proc. of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. Osaka, Japan: [s. n.], 2003: 56-65.

编辑 顾逸斐

(上接第 257 页)

在 OWL-S Editor 插件中, 创建组合过程 BookAirTicket-Process, 通过该插件的 Visual Editor 工具创建控制结构, 将原子过程 SearchAirline, SelectAirline 和 ReserveAirline 组织起来, 并通过可视化组合工具 Process Graph, 定制过程间的数据流。

#### 5 结束语

在 Web 服务组合的研究中, 由于缺乏必要的语义信息, 因此导致 Web 服务之间普遍存在语义异构问题。引入领域本体的概念, 可以有效解决该问题。在此基础上, 以 OWL-S 本体服务模型为基础, 借鉴 OWL-S 的控制构造, 对 Web 服务的组合过程进行灵活定制, 在领域本体的帮助下, 实现 Web 服务之间的数据流定义。

实验结果证明了该语义 Web 服务组合方法的可行性, 能够满足语义 Web 服务组合的基本要求。

#### 参考文献

- [1] 喻 坚, 韩燕波. 面向服务的计算——原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] Lemmens R. Semantic Interoperability of Distributed Geo Services[D]. Delft, Netherlands: Nederlandse Commissie Voor Geodesie, 2006.
- [3] Gruber T. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-220.
- [4] Sabou M. Building Web Service Ontologies[D]. Dutch, USA: School for Information and Knowledge Systems, 2006.
- [5] 张维明, 宋峻峰. 面向语义 Web 的领域本体表示、推理与集成研究[J]. 计算机研究与发展, 2006, 43(1): 102-110.

编辑 陆燕菲

(上接第 260 页)

新用户预测的准确性, 改善了用户个性化信息需求的满意度。

#### 6 结束语

本文算法充分利用其他系统的信息为用户服务, 较好地解决了新用户预测问题。另外, 引入流形学习来实现自动地跨系统个性化推荐, 无须建立语义标准和本体, 节省了系统开销。

#### 参考文献

- [1] Mehta B, Niederee C, Stewart A, et al. Ontologically-enriched Unified User Modeling for Cross-system Personalization[C]//Proc. of Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Germany: Springer Berlin/Heidelberg, 2005: 119-123.

- [2] 徐 蓉, 姜 峰, 姚鸿勋. 流形学习概述[J]. 智能系统学报, 2006, 1(1): 44-51.
- [3] 谭 璐, 易东云, 冯国柱, 等. 局部不变投影[J]. 自然科学进展, 2004, 14(3): 282-287.
- [4] Ham J, Lee D, Saul L. Semisupervised Alignment of Manifolds[C]//Proceedings of the 10th International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics. Barbados, West Indies: [s. n.], 2005: 120-127.
- [5] Belkin M, Niyogi P. Laplacian Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Data Representation[J]. Neural Computation, 2003, 15(6): 1373-1396.

编辑 陆燕菲