

文章编号:1001-9081(2008)03-0653-03

## 融合整体与分块颜色分布的图像检索方法

杨 琚,王继成,邢丹俊

(同济大学 电子与信息工程学院,上海 201804)

(yangjun9323@sohu.com)

**摘要:**针对传统的颜色直方图无法反映色彩分布的空间信息这一缺陷,提出了一种以同一颜色构成的最大连通区域及其边缘颜色粗糙度的图像检索方法,并在此基础上将图像间的相似度定义为整体相似度与以图像分块为基础的局部相似度的加权和,以反映人们对图像相似度的判定过程。实验表明,该方法获得了图像颜色的空间分布,并可以根据图像的颜色空间分布是否集中来调整整体相似度的权值,以提高检索性能,同时弥补了颜色直方图无法反映颜色空间分布的不足,提高了检索的准确性。

**关键词:**基于内容的图像检索;颜色直方图;颜色连通区域;边缘粗糙度

**中图分类号:** TP391.3 **文献标志码:** A

### Image retrieval method combining integer and blocks' color distribution

YANG Jun, WANG Ji-cheng, XIN Dan-jun

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** In order to overcome the defect that the conventional color histogram retrieval method is prone to lose the spatial information of colors, an image retrieval method based on the largest color-connected regions was presented, and its rim roughness to capture the regional traits and reduce the absolute dependence on color. Then the similarity of the images is defined as the combination of the similarity of an integer and the similarity of the blocks to reflect the recognition process by people. The experimental result on real-world image collections indicates that the proposed approach significantly improves image retrieval accuracy.

**Key words:** Content-Based Image Retrieval (CBIR); color histogram; color-connected regions; rim roughness

## 0 引言

图像检索是利用图像的物理属性或者描述关键词在图像数据库中寻找与查询图像相关或者相似的图像<sup>[1]</sup>。与传统的使用文本关键词索引的图像检索技术相比较,基于内容的图像检索(Content-Based Image Retrieval, CBIR)技术自动计算并提取图像的颜色、形状及纹理等视觉内容特征,对图像进行检索<sup>[2]</sup>。目前,基于内容的图像检索技术在理论研究和实际系统应用中都取得了一系列的成果<sup>[3]</sup>。

作为最直接的视觉特征,颜色一直是图像检索使用的主要特征之一。这是因为颜色往往和图像中所包含的物体或场景十分相关,而且颜色特征对图像本身的尺寸、方向、视角的依赖性较小,具有较高的鲁棒性。表示图像颜色特征方法之一的颜色直方图(Color Histogram)<sup>[4]</sup>具有算法简单,效果显著,计算效率高,对镜头位置不敏感,对图像变形、旋转具有不变性<sup>[5]</sup>等优点。它的不足之处是无法反映色彩分布的空间信息<sup>[6]</sup>,从而导致误识率较高。为了增强直方图反映色彩空间分布的能力,出现了许多改进算法<sup>[7-11]</sup>。这些算法虽然在直方图中融合了色彩的空间分布信息,但是在包含空间信息的同时,色彩的提取方式不可避免地破坏了原有算法的变形、旋转、缩放不变性。此外,这些算法普遍存在计算复杂,检索速度慢或仅适用于某类特定图像等特点,无法满足对大量集的图像库进行快速而有效的检索。

本文针对上述研究问题,提出了一种融合整体与分块颜色分布的图像检索方法。该方法以同一颜色构成的最大连通区域及其边缘颜色粗糙度来反映同一色彩像素形成的区域特点,并将图像间的相似度定义为整体相似度与以图像分块为基础的局部相似度的加权和,实现了融合颜色整体特征与局部特征的图像间相似度的计算。实验表明,本文提出的方法弥补了颜色直方图无法反映颜色空间分布的不足,降低了检索结果对色彩的绝对依赖,并可以根据图像的颜色空间分布是否集中来调整整体相似度的权值,提高了检索性能。

## 1 HSV 颜色空间的量化

常用的颜色空间有 RGB、YIQ、HSV 等。一般认为,RGB 颜色空间与人眼的感知差别很大,而 HSV 颜色空间直接对应于人眼色彩视觉特征的三个要素:色调(Hue)、饱和度(Saturation)和亮度(Value)。在这三个分量中,色调尤其影响着人类的视觉判断。由于 HSV 空间各轴在视觉上彼此无关,空间距离又符合人眼视觉特征,并且从 RGB 到 HSV 的转换是一个简单且快速的非线性变换,因此,本文使用 HSV 颜色空间作为彩色图像的色彩模型。

从 RGB 值到 HSV 空间的转换公式如式(1)所示:设 RGB 颜色空间值为  $(r, g, b)$ ,其中  $r, g, b \in [0 \sim 255]$ ,由式(1)得到 HSV 值  $(h, s, v)$ ,其中  $h \in [0 \sim 2\pi], s \in [0 \sim 1], v \in [0 \sim 1]$ 。

收稿日期:2007-10-09;修回日期:2007-12-03。

作者简介:杨琚(1978-),女,江西上饶人,博士研究生,主要研究方向:图像检索、计算机视觉;王继成(1958-),男,江苏盐城人,研究员,博士生导师,主要研究方向:图像处理、数据挖掘、软件工程;邢丹俊(1982-),男,江苏丹阳人,硕士研究生,主要研究方向:图像恢复。

RGB 到 HSV 的转换公式如下:

$$\begin{cases} r' = r/255, g' = g/255, b' = b/255 \\ h = 90 - \arctan(F/\sqrt{3}) \times 180/\pi + \\ \quad \{0, g' > b'; 180, g' < b'\} \\ s = 1 - \frac{\min(r', g', b')}{v} \\ v = \frac{r' + g' + b'}{3} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $F = \frac{2r' - g' - b'}{g' - b'}$ 。对 HSV 空间进行非均匀量化得到 166 种代表颜色, 具体颜色量化和编码如下:

1) 对于  $v < 0.25$  的颜色均归入黑色, 其编码为  $c = 165$ ;

2) 对于  $s < 0.20$  且  $v \geq 0.25$  的颜色按亮度  $v$  值均匀量化成三个值, 分别为深灰、浅灰和白色, 其对应的编码分别为:  $c = 162, 163, 164$ ;

3) 其他的颜色 ( $s \geq 0.2$  且  $v \geq 0.25$ ) 认为是彩色, 将  $h \in [0, 2\pi]$  均匀量化成 18 个值, 对应取值  $H = 0, 1, \dots, 17$ ,  $s \in [0.2, 1]$  均匀量化成三个值, 对应取值  $S = 0, 1, 2$ ,  $v \in [0.25, 1]$  均匀量化成三个值, 对应取值  $v = 0, 1, 2$ , 这样共得到 162 种色彩, 其编码为:

$$c = 9h + 3s + v \quad (2)$$

在式(2)中, 对色调  $H$  取的权重为 8, 对饱和度  $S$  取的权重为 3, 对亮度  $V$  取的权重为 1, 这就减小了饱和度  $S$  和图像亮度  $V$  对检索结果的影响, 以保证充分利用图像的颜色特征实现检索。

## 2 融合整体与分块颜色分布的图像检索

### 2.1 基于传统直方图的图像检索

颜色是描述图像的最直接最低层的特征, 一直广泛应用于图像检索系统, 颜色直方图则是最常用的颜色特征表达方法之一。通常使用的距离度量有  $L_1$  和  $L_2$  Euclidean 距离, 文献[12]认为对于基于直方图的方法,  $L_1$  距离简单、鲁棒性强, 而且在  $L_1$  距离中采用相对距离比绝对距离更准确, 故本文采用  $L_1$  相对距离度量。

设  $Q$  为查询图像,  $T$  为图像库中的任一图像,  $Q$  与  $T$  的量化颜色直方图间的距离为:

$$d_h(Q, T) = \sum_{c=0}^{n-1} \frac{|H(Q_c) - H(T_c)|}{1 + H(Q_c) + H(T_c)} \quad (3)$$

其中,  $H(Q_c)$  为查询图像  $Q$  中颜色值为  $c$  的像素个数,  $H(T_c)$  为查询图像  $T$  中颜色值为  $c$  的像素个数,  $n$  为颜色数。由式(3)可见, 直方图的距离比较方法使用某一颜色下像素的总量这样一个单一的统计指标, 没有考虑每一个色彩在图像中形成的具体空间分布和邻域因素, 忽略内部差异, 因而造成空间信息的丢失。

### 2.2 颜色连通区域及其边缘粗糙度

当采用传统直方图比较图像时, 只是在同色彩像素的数量之间进行比较, 因此无法区分色彩总量相近但空间分布并不相同的图像<sup>[9]</sup>。例如, 对于色彩直方图相近的两幅图像, 其同一色彩所形成的连通区域大小差异会很大, 有的是一个完整的连通区域, 有的则是细碎的色块。如果能够用这些同色彩像素形成的最大连通区域的大小代表这些色彩的空间分布特征, 就能够间接反映色彩的空间信息。

**定义 1** 颜色最大连通区域  $R_i$  是由颜色  $C_i$  形成的同一

颜色形成的最大连通图像子块。它满足  $H_{\text{area}}(R_i) = \{N(\text{Max}(\text{Area}(R_i, C_{i8}))) \mid i \in [0, n-1]\}$ 。

其中,  $C_{i8}$  表示落入色彩  $C_i$  的像素数目进行 8 连通标记处理,  $N(\text{Max}(\text{Area}(R_i, C_{i8})))$  表示落入色彩  $C_i$  的像素形成的最大连通区域中的像素个数, 它能较好地反映该色彩的空间分布状况。 $H_{\text{area}}(R_i)$  为最大连通区域直方图。

**定义 2** 颜色连通区域的边缘粗糙度  $R$  是颜色  $C_i$  的最大连通区域  $Q$  的边缘颜色变化程度。

当得到了色彩  $C_i$  的像素形成的最大连通区域  $\text{Max}(\text{Area}(Q_i, C_{i8}))$  后, 可获得该色彩  $C_i$  的边缘像素的位置及个数, 通过计算边缘像素以  $p_{st}$  为中心的 8-邻域的颜色粗糙度  $R$  来反映边缘区域的颜色变化的剧烈程度, 并且由整个最大连通区域的平均颜色粗糙度  $R_{\text{avg}}$  来反映该区域与周围区域颜色的变化程度。其计算公式如下:

$$\begin{cases} \bar{c}_{p_{st}} = \frac{1}{9} \sum_{m=s-1}^{s+1} \sum_{n=t-1}^{t+1} c_{p_{mn}} \\ R(c_{p_{st}}) = \left[ \frac{1}{9} \sum_{m=s-1}^{s+1} \sum_{n=t-1}^{t+1} (c_{p_{mn}} - \bar{c}_{p_{st}})^2 \right]^{1/2} \\ R_{\text{avg}}(c_i) = \frac{1}{l} \sum_{p=0}^{m-1} R(c_{p_{st}}) \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $l$  为边缘像素的个数,  $\bar{c}_{p_{st}}$  代表 8-邻域内的颜色均值。 $R(c_{p_{st}})$  代表各边缘像素在其 8-邻域内的颜色变化程度,  $R_{\text{avg}}$  代表整个区域边缘的颜色变化情况。 $R_{\text{avg}}$  越大, 表明该区域与其邻接区域间的颜色变化越剧烈。

综合以上分析, 可重新定义距离公式为:

$$d_{\text{ad}_h}(Q, T) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{|R_{\text{avg}}(Q_i) - R_{\text{avg}}(T_i)|}{1 + R_{\text{avg}}(Q_i) + R_{\text{avg}}(T_i)} \times \frac{|H_{\text{area}}(Q_i) - H_{\text{area}}(T_i)|}{1 + H_{\text{area}}(Q_i) + H_{\text{area}}(T_i)} \quad (5)$$

图像相似度  $S(Q, T) = 1 - d_{\text{ad}_h}(Q, T)$ 。

### 2.3 分块图像检索的相似性度量

获取图像中颜色的空间分布特性的理想方法之一是将图像分割成为若干子区域, 提取每一子区域的颜色特征, 然后存储每一区域的位置和颜色特征以支持图像检索。但是, 由于图像分割技术和对象识别技术仍然是相关领域的经典难题, 目前还没有一种普遍适用的、可靠的图像区域分割手段。一种比较简单和常用的方法是把整个图像划分为若干个图像子块, 从每一图像子块中提取出各自的特征。

因此, 本文以图像的子块划分为基础, 将一幅图像划分为  $n \times n$  个子块, 提取出各子块中不同颜色的连通区域及其边缘粗糙度, 计算各分块间相似度。将经分块的图像的相似度定义为各分块相似度的均值, 即:

$$S_{\text{block}} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^{n^2} S_i \quad (6)$$

其中,  $S_i$  为某子块间的相似度,  $S_{\text{block}}$  为以分块为基础的图像相似度。

### 2.4 融合整体与分块颜色分布的相似性度量

由于人类对图像相似度的认知过程是一个从总体到局部的判断过程, 即判定两幅图像是否相似首先取决于其图像中的主要对象在整体上是否相似而忽略其位置信息, 然后再考虑图像的各个部分是否相似。出于以上考虑, 本文认为图像的相似性判断应同时考虑整体和局部两方面的因素, 故定义两幅图像的相似性为:

$$S(Q, T) = \omega_{\text{whole}} S_{\text{whole}} + (1 - \omega_{\text{whole}}) S_{\text{block}} \quad (7)$$

$S_{\text{whole}}$  表示图像的整体相似度,  $\omega_{\text{whole}}$  为整体相似度的权值, 图像间的相似度为整体相似度与局部相似度的加权和。

### 3 实验结果与分析

我们使用文献[13]所用 1000 幅 24-bit 真彩色 JPEG 图像。原图像大小为  $384 \times 256$  或  $256 \times 384$ , 它们被分为 10 大类, 本文从中选择 4 个大类, 分别为海滨、公共汽车、花卉、马。每类选择 40 幅图像, 共 160 幅图像组成图像库, 并由 RGB 空间转化成 HSV 空间。采用公式(3)和公式(5)、(7)对传统直方图与本文提出的方法进行示例查询以便比较其性能。在本实验中  $\omega_{\text{whole}}$  分别取值为 0.4、0.6、0.8、1, 检索性能采用查准率<sup>[14]</sup>来衡量。实验中的查准率是将 4 类图像中的每一幅图像作为范例图像进行检索后所求得平均值, 其检索性能结果比较如图 1 所示。

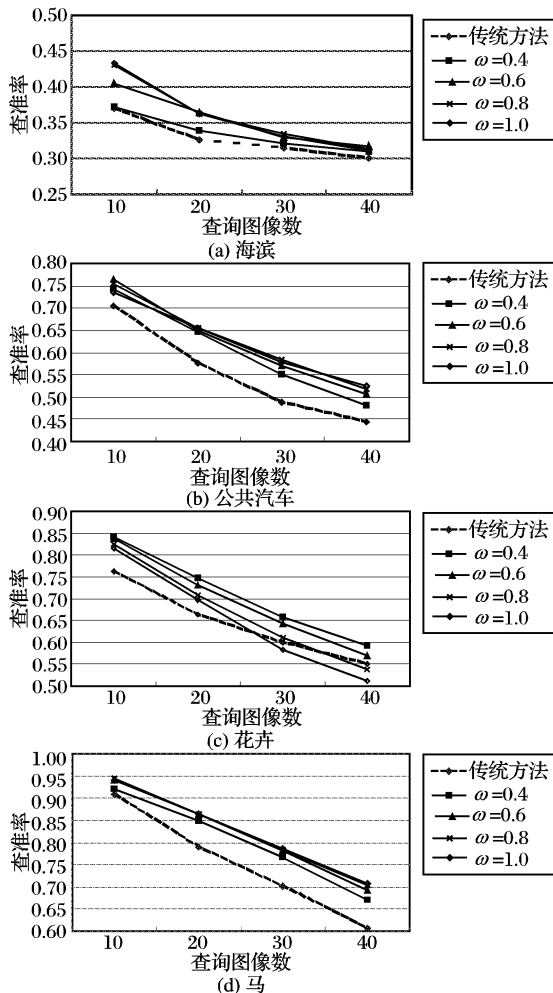


图 1 检索性能比较

由图 1 可见, 本文提出的融合整体与分块颜色分布的检索方法较之传统直方图算法查准率有明显提高。这是因为传统直方图只能进行单纯的色彩总量的比较, 很容易和其他色彩总量相似但是空间分布并不相似的图像造成混淆。如果采用颜色连通区域及其边缘粗糙度则能够在一定程度上反映空间分布和边缘颜色变化程度, 具有了反映色彩空间分布和变化信息的能力, 从而能增强图片之间的区别能力, 提高检索性能。

从图 1 中还发现, 对整体相似度赋予不同的权值对检索结果也有较大的影响。对于海滨、公共汽车、马这三类图像, 检索性能随着整体相似度权值的增大而不断提高, 而对于花

卉这类图像, 结果恰恰相反, 其检索性能随着整体相似度权值的减小而不断提高。这是因为海滨、公共汽车、马这三类图像其同一色彩空间分布比较集中, 这类图像的整体效果决定了其是否相似, 避免了主要对象在图像中处于不同位置而造成的影响。而花卉这类图像其色彩空间分布比较分散, 因此局部细节对其相似性的影响更甚。这一结论也符合人类对图像相似性的认识过程。故可以通过对色彩空间分布比较集中的图像提高其整体相似度权值, 而对色彩空间分布比较分散的图像降低其整体相似度权值来提高检索性能。

### 4 结语

本文提出了一种融合整体与分块颜色分布的图像检索方法。该方法一方面以同一颜色构成的最大连通区域及其边缘颜色粗糙度来反映同一色彩像素形成的区域特点; 另一方面将图像间的相似度定义为整体相似度与以图像分块为基础的局部相似度的加权和, 以反映人们对图像相似度的判定过程, 实现了融合整体特征与局部特征的图像间相似度的计算。实验结果表明, 该方法性能稳定, 在没有采用相关反馈技术的情况下, 其检索性能比传统直方图有显著提高, 并且用户可以根据图像的色彩空间分布是否比较集中来调整整体相似度的权值以提高检索性能。

#### 参考文献:

- [1] MOSTAFA T, ABBAS H M, WAHDAN A A. On the use of hierarchical color moments for image indexing and retrieval [J]// 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002, 7(6): 6-9.
- [2] RUI Y, HUANG T S, CHANG S F. Image retrieval: current techniques, promising directions and open issues [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1999, 10(4): 39-62.
- [3] KOSKELA M, LAAKSONEN J, OJA E. Comparison of techniques for content-based image retrieval [C]// Proceedings of 12th Scandinavian Conference on Image Analysis. Bergen, Norway: Norwegian Society for Image Processing and Pattern Recognition, 2001: 57-586.
- [4] SWAIN M J, BALLARD D H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [5] SMEULDERS A W M, WORRING M, SANTINI S, et al. Content-based image retrieval at the end of the early years [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transaction on December 2000, 22(12): 1349-1380.
- [6] ANDROUTSOS D, PLATANIOTISS K N, VENETSANOPOULOS A N. Distance measures for color image retrieval [C]// Proceedings of 1998 International Conference on Image Processing. New York: IEE, 1998, 2: 770-774.
- [7] PASS G, ZABIH R. Histogram refinement for content-based image retrieval [C]// IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. [S.l.]: IEEE, 1996: 96-102.
- [8] COLOMBO C, BIMBO D, GENOVESI A I. Interactive image retrieval by color distributions [C]// Proceeding of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998: 255-258.
- [9] CLIQUE L, LEVIALDI S, OLSEN K A, et al. Color-based image retrieval using spatial-chromatic histograms [C]// IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 969-973.

盒相交,其交点参数为  $t_{\min}$  和  $t_{\max}$ 。否则,光线与外包围盒不相交。根据上述讨论,光线与包围盒的求交算法步骤如下:

1) 根据光线  $X_d$  的方向矢量分别计算光线在三个方向上的相交区间:

$$t_{x\min} = (x_{\min} - z_e) / x_d$$

$$t_{x\max} = (x_{\max} - z_e) / x_d$$

$$t_{y\min} = (y_{\min} - z_e) / x_d$$

$$t_{y\max} = (y_{\max} - z_e) / x_d$$

$$t_{z\min} = (z_{\min} - z_e) / x_d$$

$$t_{z\max} = (z_{\max} - z_e) / x_d$$

2) 判断三个方向上的区间是否相交。

3) 返回跟踪光线与场景相交状态。

### 3 跟踪光线与面片求交算法设计

当确定了与跟踪光线相交的最近包围盒之后,就需要进行跟踪光线与包围盒中所含面片的求交运算。如何准确、快速的判定跟踪光线与面片的相交状态并计算出交点是求交运算的最终目的。

使用重心坐标的形式来表示包含三角形面片的参数平面将三维问题转化为二维问题,从而只需判断二维点是否在二维三角形内部,即可判定出追踪光线与三角面片的相交状态。同时,重心坐标不需要像三角形顶点一样需要长期存储。

三角形面片上的点  $p(u, v)$  可以由下面的公式给出:  $p = a + \beta(b - a) + \gamma(c - a)$ , 定义一个新变量  $\alpha$ , 以改善方程的对称性:  $\alpha = 1 - \beta - \gamma$ , 于是得到新的方程  $p(\alpha, \beta, \gamma) = \alpha a + \beta b + \gamma c$ , 其中  $(\alpha, \beta, \gamma)$  为重心坐标。设跟踪光线方程为:  $L = e + td$ ,  $e$  为光线出发点,  $d$  为光线方向向量。当满足下列条件时光线与三角形面片将会相交:

$$e + td = a + \beta(b - a) + \gamma(c - a)$$

为了求出  $t, \beta, \gamma$ , 把它的向量形式展开成三个线性方程:

$$Xe + t \times Xd = Xa + \beta(Xb - Xa) + \gamma(Xc - Xa)$$

$$Ye + t \times Yd = Ya + \beta(Yb - Ya) + \gamma(Yc - Ya)$$

$$Ze + t \times Zd = Za + \beta(Zb - Za) + \gamma(Zc - Za)$$

通过克莱姆法则可求解得到  $t, \beta, \gamma$  的值。

在重心坐标系中, 当且仅当  $\beta > 0, \gamma > 0$ , 且  $\beta + \gamma < 1$  时交点在三角面片内。跟踪光线与三角形面片的求交过程如图 3 所示。

综上所述可以设计跟踪光线与面片的求交伪码如下:

```

BOOL cut(ray r, triangle * face) {
    BOOL intersect = false;
    do {
        计算当前面片与追踪光线的  $t, \beta, \gamma$  值;
        if(  $t < T0$  ||  $t > T1$  ) continue;
        if(  $\gamma < 0$  ||  $\gamma > 1$  ) continue;
        if(  $\beta < 0$  ||  $\beta > 1 - \gamma$  ) continue;
    }

```

与上次相交面片比较, 获得最近的一个面片的参数  
 intersect = true;  
 } while (face -> next)  
 return intersect; }

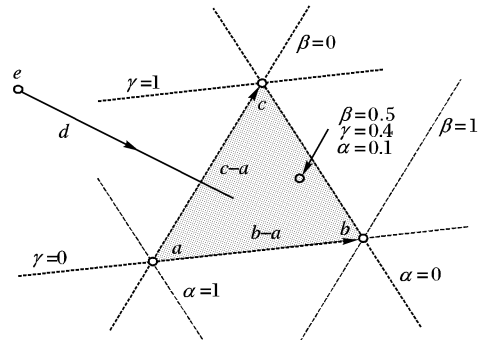


图 3 与面片求交过程

结合以上的算法分析, 设计并实现了基于八叉树空间剖分技术的光线跟踪算法。计算机配置为 Pentium 4 2.26GHz, 512MB DDR 内存。屏幕分辨率为  $1024 \times 768$ , 光源为环境光和点光源。图 4 为采用上述算法所生成的效果图。

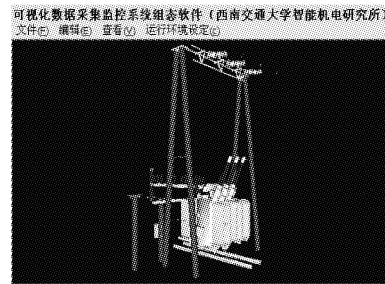


图 4 光线追踪效果

### 4 结语

光线跟踪算法是建立三维真实感图形的重要技术, 提高其算法的效率是研究的重要方向之一。本文通过采用基于八叉树空间剖分技术并结合基于重心坐标系的快速求交算法来提高光线跟踪的求交效率。实验表明, 该算法能够在保证图像质量的同时提高图形的绘制速度。

#### 参考文献:

- [1] 秦开怀, 龚明伦. 基于图像与图形综合的光线跟踪技术[J]. 计算机研究与发展, 1997, 33(4): 62-67.
- [2] (美) SHIRLEY P. 计算机图形学[M]. 高晓春, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [3] 张谦, 石教英, 蔡虹. 多面体光线跟踪的两种快速算法[J]. 计算机科学与工程, 1998, 20(1): 6-10.
- [4] 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [5] 占春生, 蔡勇. 一种基于光线相关性的快速光线跟踪算法[J]. 计算机与现代化, 2003(6): 4-6.

(上接第 655 页)

- [10] DONG KWON PARK, YOON SEOK J, CHEE SUN W, et al. A composite histogram for image retrieval [C]// IEEE International Conference on Multimedia and Expo. [S. l.]: IEEE, 2000, 1: 355-358.
- [11] 王小玲, 谢康林. 改进的基于直方图的图像检索方法[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(7): 1251-1254.
- [12] HUANG J. Image indexing using color correlograms[C]// Proceedings of the IEEE Computer society Conference on Computer Vision

and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1997: 762-768.

- [12] WANG J, WIEDERHOLD G. SIMPLcity: semantics sensitive integrated matching for picture libraries [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(8): 1-17.
- [13] MULLER H, MULLER W, SQUIRE D M, et al. Performance evaluation in content-based image retrieval: overview and proposals[J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(5): 593-601.