



明暗效果快速多变的 CSG 实体显示技术¹⁾

杨小虎 潘云鹤 何志均

(浙江大学人工智能研究所, 杭州 310027)

摘要

CSG (Constructive Solid Geometry) 是实体造型中一种重要表示方法。传统的 CSG 实体显示方法不仅费时, 而且难以控制明暗效果。本文提出的方法以一种新的 CSG 体素表面光强生成模型为基础, 结合深度缓冲技术, 能快速有效地显示 CSG 实体, 方便灵活地控制明暗效果。

关键词: CSG, 明暗显示, 实体造型, 计算机辅助设计。

一、引言

CSG 是一种重要的实体造型技术^[1], 具有精确、简洁、易理解、易修改等优点。传统的 CSG 实体显示方法有边界展开技术^[2]、光线跟踪方法^[3]、扫描线方法^[4]等。这些方法效率低, 计算量大, 难以达到交互要求。而深度缓冲的 CSG 显示技术^[5,6,7], 能快速显示 CSG 实体, 且易为硬件实现。

传统显示技术的另一缺陷是生成的图象效果死板, 难以控制。图形学中的光照模型, 如 Phong 模型、Whitted 模型、辐射法等均需大量复杂计算, 而且效果机械。基于知识的实体表面光强生成模型, 能灵活控制明暗效果, 本文以这一模型为基础, 结合深度缓冲技术, 提出明暗效果快速多变的 CSG 实体显示技术。

二、知识基光强生成模型

知识基光强生成模型参照画家运用色调知识绘画的过程, 把体素表面光强变化规律抽取成静态知识, 在生成光强时, 只须运用知识快速生成。

常用体素有立方体、球、圆柱、圆锥、圆环。为表达体素表面光强变化规律, 须建立体素表面的参数化模型, 如图 1 所示。

对于立方体的每个面建立二维坐标, 如图 1(a), 参数 α, β 就是正方形内一点的坐标。

对于其它四种体素, 将球面、柱面、锥面、环面沿某一轨迹划分成一组扩展域, 如图

本文于 1991 年 11 月 9 日收到。

1) 国家教委博士点基金、浙江省自然科学基金和浙江大学 CAD/CG 国家重点实验室资助研究项目。

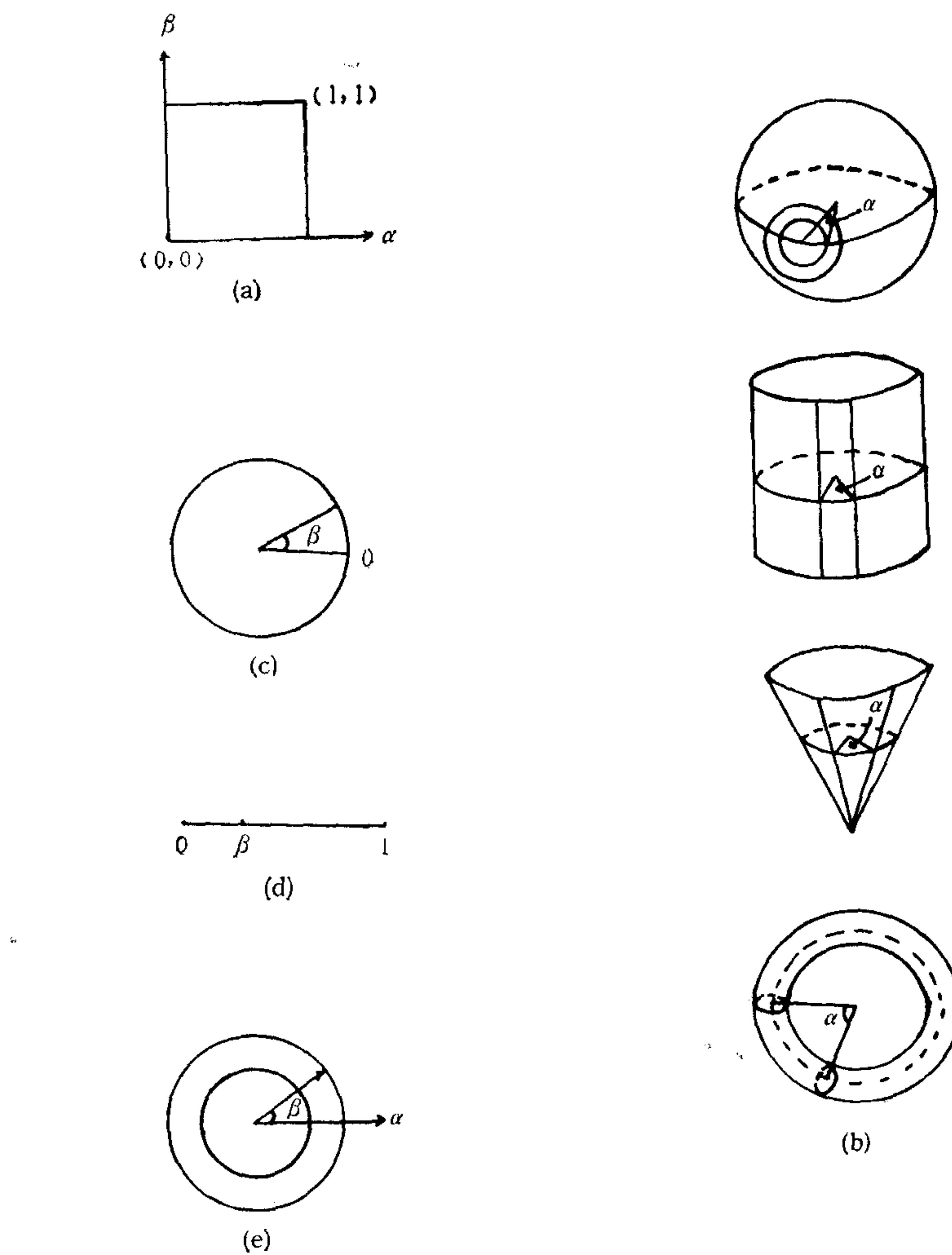


图1 体素表面的参数化模型

1(b) 所示。球面上的扩展域是从面上一点扩展开来的在球面上的圆，这些圆的圆心均在通过扩展中心的球直径上，由这一直径定义的圆就是扩展轨迹。柱面、锥面上的扩展域是母线，扩展轨迹是一平行于底面上的圆。环面的扩展域是圆环截面的小圆，扩展轨迹是以圆环中心为圆心，中心到小圆圆心距离为半径的圆。这些面的扩展轨迹均是圆，轨迹上一点代表了一个扩展域，而轨迹上一点可以用经过该点的半径和起点半径的夹角 α 确定。球面、环面的扩展域是圆，如图 1(c)，以夹角 β 为参数可确定圆上一点。柱面、锥面的扩展域是直线段，如图 1(d) 所示，用 β 表示点在直线段上的位置。

圆柱、圆锥的底面是圆，如图 1(e) 所示，建立一个极坐标，可用二元组 (α, β) 确定面上一点。

建立了参数化模型，现考虑光强生成情况。众多光照模型实质上可抽取成如下模型，表面一点的光强：

$$I = LKf, \quad (1)$$

L 是射入光强, K 是反射率, f 是一影响照明的因子, 受光源、物体、物体之间位置等多种因素影响, 范围是 $[0, 1]$.

体素表面的光强规律用一个三元组 (α, β, f) 的数组来表达, 形式如下:

$$\begin{aligned} & (\alpha_1, \beta_1, f_{11}), (\alpha_1, \beta_2, f_{12}), \dots, (\alpha_1, \beta_m, f_{1m}), \\ & (\alpha_2, \beta_1, f_{21}), (\alpha_2, \beta_2, f_{22}), \dots, (\alpha_2, \beta_m, f_{2m}), \\ & \vdots \qquad \qquad \vdots \qquad \vdots \\ & (\alpha_n, \beta_1, f_{n1}), (\alpha_n, \beta_2, f_{n2}), \dots, (\alpha_n, \beta_m, f_{nm}). \end{aligned}$$

使用这些知识时, 首先确定第一个元素 (α_1, β_1) 在体素表面的位置, 从这点开始按 α, β 顺序在面上扫描, 面上一点光强通过相邻四点

$$\begin{aligned} & (\alpha_i, \beta_j), (\alpha_i, \beta_{j+1}), \\ & (\alpha_{i+1}, \beta_j), (\alpha_{i+1}, \beta_{j+1}) \end{aligned}$$

的光强插值得到, 这四点光强用公式(1)求得.

把光强变化规律抽取成静态知识, 既能快速求得光强, 又能方便灵活地控制明暗效果. 光强知识的获取有两个途径, 一是编写程序自动分析传统光强模型, 得到模拟这些模型的知识, 二是设计者依靠实践经验交互地设置、评价、修改知识.

三、深度缓冲的 CSG 实体显示技术

深度缓冲的 CSG 实体显示技术从 z 实体的图象, 经布尔操作得到构造实体的图象. 这一技术要求两个图象缓存、两个深度缓存和若干标志缓存, 算法描述如下.

设图象缓存为 CF, CT , 深度缓存为 DF, DT , 标志缓存为 $F1, F2$. $S = A \otimes B, S$ 是 A, B 经布尔操作 \otimes 构成的实体. $Front(A)$ 表示 A 的可见表面, $Back(A)$ 表示 A 的不可见表面.

对于 $S = A \cup B$, 实际是标准的深度缓冲处理, 在此不再描述.

对于 $S = A \cap B$, 有

- 1) 得到 $Front(A)$ 的光强值存于 CF , 深度值存于 DF , 被覆盖象素的 $F1$ 置 1;
- 2) 得到 $Front(B)$ 的光强值存于 CT , 深度值存于 DT , 被覆盖象素的 $F2$ 置 1;
- 3) 对 $F1 = 1$ 的象素, 若对应的 $Front(A)$ 上点不在 B 内部, 置 $F1$ 为 0;
- 4) 对 $F2 = 1$ 的象素, 若对应的 $Front(B)$ 上点在 A 内部, 则把 CT 值写入 CF , DT 值写入 DF .

对于 $S = A - B$, 有

- 1) 与 $S = A \cap B$ 中相同;
- 2) 得到 $Back(B)$ 光强值存于 CT , 深度值存于 DT , 置相应 $F2$ 为 1;
- 3) 对 $F1 = 1$ 的象素, 若对应的 $Front(A)$ 上点在实体 B 内部, 置 $F1$ 为 0;
- 4) 对于 $F2 = 1$ 的象素, 若对应 $Back(B)$ 上点在 A 内部, 把 CT 值写入 CF , DT 值写入 DF , 置 $F1$ 为 1.

算法处理结果放在 $CF, DF, F1$ 中。

在 $S = A - B$ 算法中, 需得到实体 B 的不可见表面, 体素的不可见表面容易得到, 而复杂实体较难处理。因此在算法处理之前, 需对 CSG 树作规整化, 使实体 B 均是体素。规整化过程是以集合运算等式为变换基础的。

四、CSG 实体显示的明暗效果变化

知识基光强生成模型能快速生成体素图象, 并能灵活控制明暗效果。深度缓冲的 CSG 显示技术能从子实体的图象得到实体的图象。把两者结合起来, 在布尔操作算法的 1), 2) 步生成体素图象时, 使用光强知识, 就实现了明暗效果快速多变的 CSG 实体显示。明暗效果的控制, 通过改变用于各体素的光强知识, 改变体素图象的明暗效果, 从而改变整个实体图象的明暗效果。

五、实 现

这一技术已在 Micro-VAXII 工作站 UNIX 环境下用 C 语言实现。图 2 显示了一实体的两种不同明暗效果, 计算时间为 19.51 秒、19.72 秒。图 3 为另一实体的图象, 时间为 16.51 秒、16.44 秒。

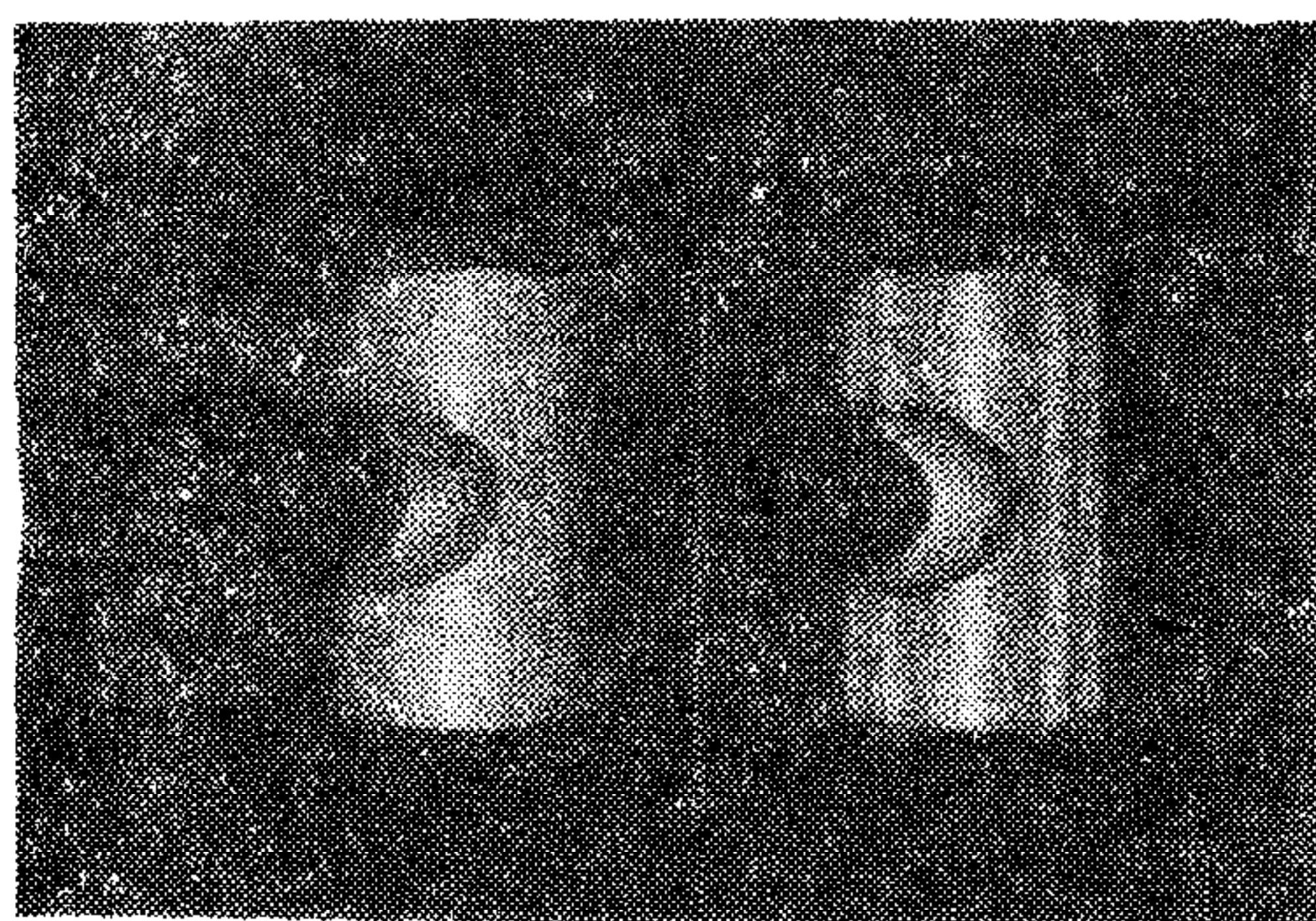


图 2

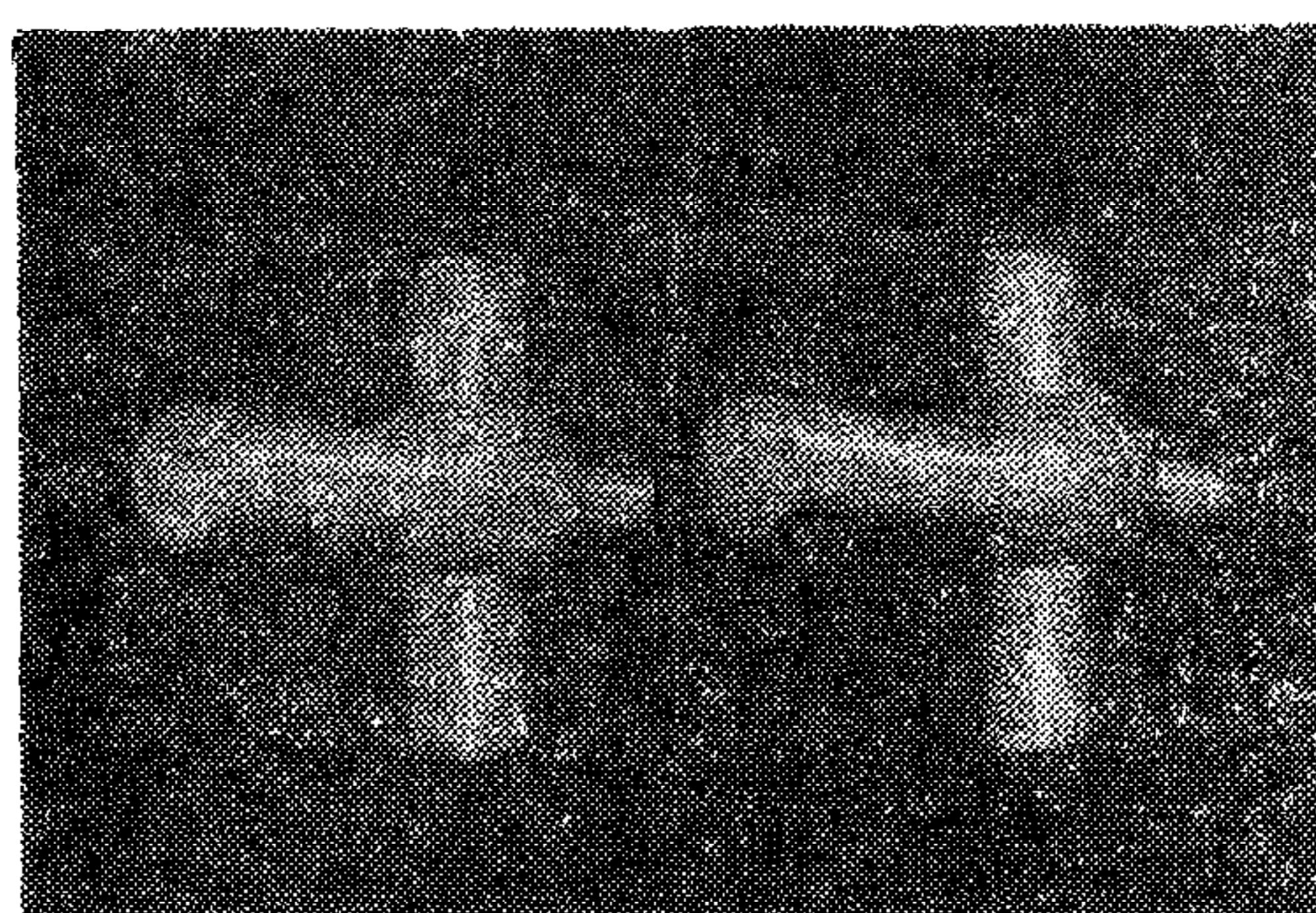


图 3

六、结 论

综上所述, 以知识基光强生成模型为基础, 结合深度缓冲的 CSG 显示技术, 能快速显示 CSG 实体, 灵活控制明暗效果, 产生的图象生动而变化丰富, 图象生成时间不随明暗效果有明显变化。这些优点意味着这一技术具有良好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Requicha, Aristides, A. G., Representations for Rigid Solids: Theory, Methods, and Systems, *Computing Surveys*, 12(1980), 437—464.

- [2] Requicha, Aristides, A. G. and Herbert, B., Voelcker, Boolean Operations in Solid Modeling: Boundary Evaluation and Merging Algorithms, *Proc. IEEE*, 73(1985), 30—44.
- [3] Roth, Scott, D., Ray Casting for Modeling Solids, *Computer Graphics and Image Processing*, 18(1982), 109—136.
- [4] Atherton, Peter, R., A Scan-line Hidden Surface Removal Procedure for Constructive Solid Geometry, *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'83)*, 17(1983)3, 73—82.
- [5] Rossignac, Jaroslaw, R. and Aristides, A. G., Requicha, Depth-buffering Display Techniques for Constructive Solid Geometry, *IEEE CG&A*, 6(1986), 9, 29—39.
- [6] Goldfeather, Jack, Jeff, P. M., Hultquist, and Henry Fuchs, Fast Constructive Solid Geometry Display in the Pixel-powers Graphics System. *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86)*, 20(1986), 4, 107—116.
- [7] Goldfeather, Jack, Steven Molnar, Greg Tuck, and Henry Fuchs, Near Real-time CSG Rendering Using Tree Normalization and Geometric Pruning, *IEEE CG&A*, 9(1989), 3, 20—28.

FAST AND FLEXIBLE SHADED DISPLAY TECHNIQUES FOR CSG MODELS

YANG XIAOHU PAN YUNHE HE ZHIJUN

(Artificial Intelligence Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

ABSTRACT

CSG(Constructive Solid Geometry) is an important solid modeling technique. The traditional shading methods for CSG models are not only costly, but also inefficient to control the shading effects. A new method is presented in this paper. Based on a new light intensity generation model for CSG primitive surfaces, and combined with depth-buffer technique, it can work quickly and control the shading effects flexibly.

Key words: Constructive Solid Geometry, shading; solid modeling, computer-aided design.