

陶瓷品的计算机造型和花面设计系统

余成

(东莞理工学院电子工程系, 东莞 511700)

周琪云

常晓虹

(江西师范大学, 南昌 330027)

(景德镇陶瓷职工大学, 景德镇 333000)

A COMPUTER SOLID MODELLING AND PATTERNING DESIGN SYSTEM FOR POTTERIES AND PORCELAINS

Yu Cheng

(Dongguan Technology Insititute, Dongguan 511700)

Zhou Qiyun

Chang Xiaohong

(Jiangxi Normal University, Nanchang 330027)

(Jingdezhen Ceramics Workers & Staff University,

Jingdezhen 333000)

Abstract A computer Aided Design System has been made for solid modelling and pattern decorating of potteries and porcelains. The system structure, the work mode the producing of decorative pattern, the solid modelling of rotative and free surface objects, the calculating of illumination model are discussed in this paper. The principle of colour design and the method of data compressing were being put forward.

摘要 按陶瓷品的外型和装饰要求, 研制了一个计算机造型和花面设计系统, 阐述了系统构成、工作方式、装饰图案的产生、旋转体和自由曲面造型、光照模型计算、色彩设计原则及压缩存储方法。

§ 1. 引言

中国景德镇的陶瓷以其造型优美、做工精巧著称于世, 是传统的出口产品, 但是, 其设计方法数千年延袭至今, 设计水平和设计效率都显得落后了, 为此我们研制了这个系统. 在该系统支持下, 可以方便地设计各类陶瓷产品的外形, 并能在屏幕上直观显示真实感产品效果, 如需要在产品表面装饰花纹, 亦可方便地设计和选择, 并观察到装饰花纹后的视觉效果. 系统还为产品的色彩设计提供了多种高效快速的手段, 使色彩设计十分方便.

§ 2. 系统构成

2.1 硬件环境

本文 1990 年 12 月 30 日收到, 1991 年 4 月 22 日定稿. 作者余成, 副研究员, 主要研究领域为计算机图形学和图象处理, CAD/CAM. 周琪云, 助教, 主要研究领域为计算机图形学和图象处理, CAD/CAM. 常晓虹, 讲师, 现在深圳市华富路 5 号利得电子公司工作, 主要研究领域为计算机图形学和图象处理, CAD/CAM.

本系统采用 IBM-PC/AT 微型计算机作主机,装有 80287 协处理器;配置 20 英寸高分辨率图形显示器,采用 HD63484 图形控制器,分辨率为 $1024 \times 1024 \times 8$ 位;基本输入设备为 SUPER-A3 数字化仪;输出设备为 DXY-800 绘图仪。

2.2 软件

本系统采用 IBM-PC/AT 微型计算机作主机,装有 80287 协处理器;配置 20 英寸高分辨率图形显示器,采用 HD63484 图形控制器,分辨率为 $1024 \times 1024 \times 8$ 位;基本输入设备为 SUPER-A3 数字化仪;输出设备为 DXY-800 绘图仪。

2.2 软件

本系统应用软件由两大部分组成:平面图案创作软件和真实感立体造型软件,此外还有与之配合的软件,如建立素材库、知识库软件,图案压缩软件,绘图软件等。软件用 FORTRAN 语言编写,部分接口子程序用汇编语言实现。

§ 3. 工作方式

陶瓷产品设计包括造型和花面设计两部分,为此必须事先建立造型和花纹素材库。素材的输入可选用数字化仪、图象扫描仪或工业电视摄象机。后两者亦可用于直接输入一幅设计好的花纹图案,经过一定处理后存入图案库中供表面贴花时选用。本系统提供了多种平面图案创作手段。研制了针对陶瓷产品的旋转体和自由曲面造型以及相应的光照模型。设计好的产品可再进行色彩设计,并作信息压缩处理存入磁盘。参见图 1。

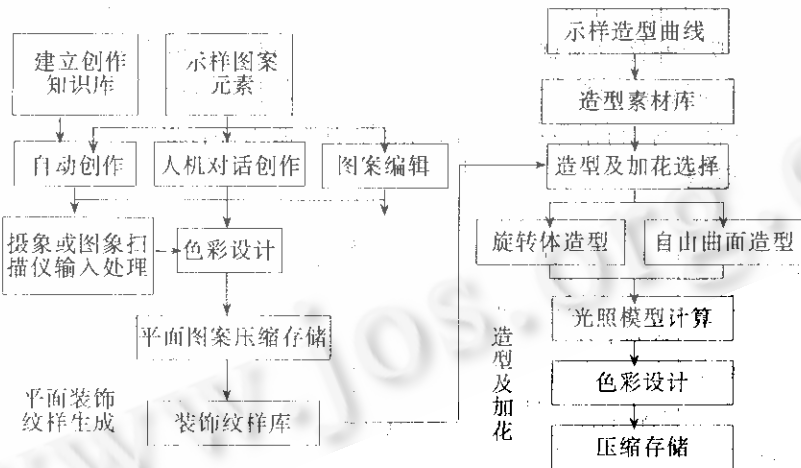


图1 工作方式

§ 4. 平面图案的产生

系统提供了自动创作、人机交互创作和图案编辑三种创作方式。自动创作采用随机定变创作方法^[1],通过编写作图知识,调用素材库中的构图元素生成图案。在知识的指导下,取不同构图素材进行坐标变换、赋色处理,形成集合元素,再变换、赋色,如此循环直至生成所需的图案。图案就是经过坐标变换和赋色处理后的构图元素集合

$$A = (E^{(1)}, E^{(2)}, \dots, E^{(i)})$$

其中 $E^{(i)}$ 中的 i 表示该构图元素坐标变换及赋色的次数, $E^{(i)}$ 也可以是一个复合元素,即

$$E^{(i)} = (E_1^{(i)}, E_2^{(i)}, \dots, E_n^{(i)})$$

例如,一朵具有 n 片花瓣的花朵等.

人机对话创作类似于人的创作过程,操作者从素材库中调取作图元素显示于屏幕上供选用,选中的元素在屏幕上直观地放大、缩小、旋转一定角度布置于画面的适当位置上,如不满意可以抹去重来.还提供了轨迹布点方式,操作者画出布点轨迹,元素则随机或按某指定规律沿着该轨迹布置,这种方式是手工布点难以实现的.此外还提供了一种模拟画笔作图方式,操作者指定笔的大小、形状和颜色,再用此笔直接在屏幕上绘图.

图案编辑软件用来对屏幕上图案各部分进行分割、平移、对称拷贝、修改等,重新组合图案画面,并可利用系统提供的多种手段进行色彩设计,使之符合设计者的要求.

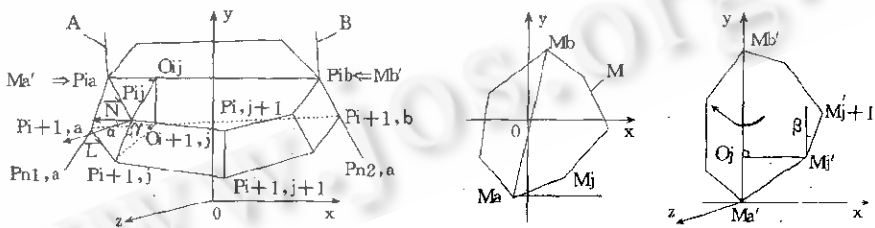
§ 5. 造型和贴花

按陶瓷产品的外型特征,本系统提供了两种造型手段:旋转体造型和双轨迹自由曲面造型.陶瓷产品的主体大都是旋转体,用第一种造型方法可以实现.对陶瓷产品上的耳、嘴、把及各种装饰结构则利用第二种造型方法产生.形体的屏幕投影采用物体空间算法,即由物体上各点的空间坐标计算屏幕坐标.隐点消除采用深度缓冲算法(Z 缓冲器算法),在内存中开辟了 750×700 个象点深度缓存区,为每个当前象点提供了1.5字节内存用以存放该象点深度值(Z 坐标).

5.1 旋转体造型

从造型素材库中选取一母线,绕某一轴旋转一周得到旋转体表面.母线事先用数字化仪采样,经 B 样条拟合并修改满意后,存入造型素材库.母线由 n_1 段折线逼近,旋转得到的圆亦由 n_2 段折线逼近,因而旋转体表面是由 $n_1 \times n_2$ 块小平面逼近的.对每块小平面只计算四个顶点的屏幕坐标,再用直线插补出四边形小平面内部各点的屏幕坐标.

5.2 自由曲面造型



(a) 母线在 M_a, M_b 位嵌入轨迹线

(b) 母线上 M_a, M_b 为嵌入线

(c) 嵌入线位置标准化

图2 双轨迹造型

采用双轨迹造型方法进行自由曲面造型.在平面上给定轨迹线 A 和 B ,两轨迹线取相等的节点数,并使两轨迹线上对应节点之间的长度成比例.给定平面封闭折线 M ,再作准线,取折线多边形上节点连线 $\overline{M_a M_b}$ 为嵌入线,如图2(b)所示,作坐标变换使嵌入线由图2(b)变成图2(c)的位置,则母线上节点 $M_j(x_j, y_j)$ 的新坐标为:

$$\begin{cases} x'_j = (x_j - x_a) \sin \alpha - (y_j - y_a) \cos \alpha \\ y'_j = (x_j - x_a) \cos \alpha - (y_j - y_a) \sin \alpha \end{cases} \quad (1)$$

其中 (x_a, y_a) 为 M_a 点的坐标, α 为 $\overline{M_a M_b}$ 与 X 轴的夹角.令母线绕 Y 轴转 90° ,使 X 轴与 Z 轴重合,这样(1)式中的 x' 便成为 M' 点的 Z 坐标.

让母线放大(缩小)一定比例 $k_i = \overline{P_{ia} P_{ib}} / \overline{M'_a M'_b}$,使 $\overline{M'_a M'_b} = \overline{P_{ia} P_{ib}}$,这里 P_{ia}, P_{ib} 是两条轨迹线上的对应节点.设 $\overline{P_{ia} P_{ib}}$ 与 X 轴夹角为 β ,将准线绕 Z 轴转 $-(90^\circ - \beta)$,平移 $\overline{M'_a M'_b}$ 使其与 $\overline{P_{ia} P_{ib}}$ 重合,即在 $\overline{P_{ia} P_{ib}}$ 位置上嵌入.这样,准线平面上 M'_j 点的三维坐标为

$$\begin{cases} x_{ij} = k_i y'_j \cos \beta + x_{ia} \\ y_{ij} = k_i y'_j \sin \beta + y_{ib} \\ z_{ij} = k_i x'_j \end{cases} \quad (2)$$

这里下标 i 表示轨迹线上嵌入点的序号,下标 j 表示母线上 M_j 点的序号, β 可由 $\text{tg} \beta = (y_{ib} - y_{ia}) / (x_{ib} - x_{ia})$ 计算, x'_j, y'_j 由(1)式决定.得到点 M'_j 的三维坐标后,可进一步算出其屏幕坐标.

过轨迹线的对应节点作一系列嵌入线,嵌入适当的母线,它们的节点构成造型曲面的空间网格.相邻两对节点组成近似四边形小平面 $P_{ij} P_{i,j+1} P_{i+1,j+1} P_{i+1,j}$,造型曲面由这样的一些小平面对逼近.求出了小平面的四个顶点的屏幕坐标后,该小平面上其它点的屏幕坐标可用线性插值方法求出.

5.3 贴花

陶瓷产品表面一般都有装饰图案纹样,这些纹样预先放在磁盘或显示于屏幕某一区域.在造型设计时用数字化仪确定造型体表面的加花范围,然后采用映射变换完成贴花操作.加花时只要计算各近似四边形小平面的顶点所对应的纹样的平面坐标,其它点所对应的纹样坐标由屏幕坐标经线性插值获得.设曲面上某小平面的屏幕投影为 $V_a V_b V_c V_d$,它所对应的平面花型为 $F_a F_b F_c F_d$,则四边形 $V_a V_b V_c V_d$ 上其它点对应的花型坐标按如下步骤计算:先对四条棱线 $\overline{V_a V_b}, \overline{V_b V_c}, \overline{V_c V_d}, \overline{V_d V_a}$ 进行插补,求出棱线上各点对应的花型坐标,再以棱线上的点为端点作水平线插补,各端点对应的花型坐标已知,故可用插值法求出水平线上其它点对应的花型坐标.

平面花型纹样分成背景色和前景色.对应着花型背景色的曲面上的点的屏幕投影取造型体色区计算亮度.当取点对应着花型前景色即花型本身时,则取花型色码色区计算亮度.如果花型前景色只占纹样总面积很小部分时,也可直接取花型色码显示.

§ 6. 光照模型

陶瓷产品要求在分布光源下检验产品的造型与贴花效果,应避免点光源在其表面产生的高光,故采用简单光照模型即可满足要求.

6.1 旋转体表面上点的亮度计算

只考虑分布光源(平行光)的光照模型为:

$$I = k_1 + k_2 \cos \alpha \quad (3)$$

式中 k_1 为泛光漫射照度,对表面上各点该值均为常数, k_2 为平行光照度. k_1, k_2 在程序中用人机对话方式修改. α 为计算点 P_i 处法线矢量 \vec{N} 与单位光线矢量 \vec{L} 的夹角,故

$$\cos \alpha = \frac{\vec{L} \cdot \vec{N}}{|\vec{L}| \cdot |\vec{N}|} = \frac{\vec{L} \cdot \vec{N}}{|\vec{N}|}$$

如图3. 设 P_{ij} 点的坐标为 (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) , P_{ij} 点的法线矢量

$$\vec{N} = \overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}} \times \overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \Delta x_m & \Delta y_m & \Delta z_m \\ \Delta x_v & 0 & \Delta z_v \end{vmatrix}$$

其中 $\Delta x_m = x_{i+1,j} - x_{ij}$, $\Delta y_m = y_{i+1,j} - y_{ij}$, $\Delta z_m = z_{i+1,j} - z_{ij}$, $\Delta x_v = x_{i,j+1} - x_{ij}$, $\Delta z_v = z_{i,j+1} - z_{ij}$

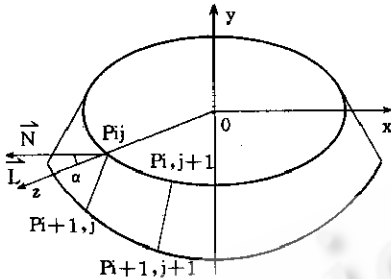


图3 旋转体表面上点的法向余弦计算

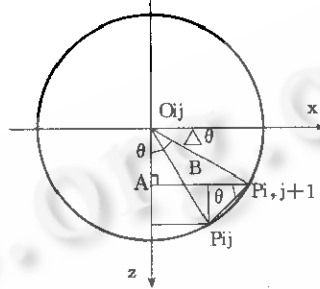


图4 纬线圆平面

假设光线矢量 \vec{L} 与 Z 轴平行, 则 $\vec{L} = 0\hat{i} + 0\hat{j} + \hat{k}$, 将 \vec{N} 和 \vec{L} 的表达式代入 $\cos\alpha$ 表达式:

$$\cos\alpha = \frac{-\Delta y_m \cdot \Delta x_v}{|\overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}}| \cdot |\overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}}|} = \left(-\frac{\Delta y_m}{\overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}}} \right) \cdot \left(\frac{\Delta x_v}{\overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}}} \right) \quad (4)$$

(4)式中的第一项只与母线有关, 当母线选定之后易求得:

$$\Delta y_m / \overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}} = (y_{i+1,j} - y_{i,j}) / \sqrt{(x_{i+1,j} - x_{i,j})^2 + (y_{i+1,j} - y_{i,j})^2}$$

(4)式中的第二项, 如图4当纬线圆等分角 $\Delta\theta$ 很小时, 即等分数较大时, 可以近似认为 $\overrightarrow{O_{ij}P_{ij}}$ 垂直于 $\overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}}$, 从而有 $\angle P_{ij}O_{ij}A = \angle AP_{i,j+1}P_{ij} = \theta$

$$\Delta x_v / \overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}} = \cos\theta = \cos(j \cdot \Delta\theta)$$

j 为以 Z 轴为起始位置 P_{ij} 点的等分点序号.

可以看出(4)式中的两项在母线确定之后都可以立刻计算出来, 结果代入(3)式就可求得节点的亮度. 然后再对相邻节点的亮度作一次算术平均以减少用直线逼近曲线产生的法向量误差. 只要计算曲面片四个顶点的亮度, 面片上其它点的亮度由线性插值获得.

6.2 双轨迹造型曲面上的亮度计算

仍采用(3)式计算象点亮度. 参看图2, 计算造型曲面上 P_{ij} 点的法矢 \vec{N} 与光线矢量 \vec{L} 的夹角余弦 $\cos\alpha$. 设线段 $\overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}}$ 与 XOY 平面的夹角为 β , 线段 $\overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}}$ 与 XOY 平面的夹角为 γ , 并设 $\overrightarrow{P_{ij}P_{i,j+1}}$ 与 $\overrightarrow{P_{ij}P_{i+1,j}}$ 垂直, 则可以证明 α, β, γ 三角之间有关系

$$\cos^2\alpha = \cos^2\gamma - \sin^2\beta \quad (5)$$

母线在采样平面上经过(1)式坐标变换后, 使嵌入线 $\overline{M_a M_b}$ 与 Y 轴重合, β 角实际上是变换后准线上对应边界 $\overline{M'_j M'_{j+1}}$ 与 Y 轴的夹角, 见图2(c).

$$\sin^2\beta = (x_{M'_{j+1}} - x_{M'_j})^2 / [(x_{M'_{j+1}} - x_{M'_j})^2 + (y_{M'_{j+1}} - y_{M'_j})^2] \quad (6)$$

在确定了母线上嵌入线位置后, 该值即可计算出来.

再计算 $\cos^2\gamma$. 见图2(a), 从 $P_{ij}, P_{i+1,j}$ 向 XOY 平面作垂线 $\overrightarrow{P_{ij}O_{ij}}, \overrightarrow{P_{i+1,j}O_{i+1,j}}$ 与 XOY 平面相交于 O_{ij} 及 $O_{i+1,j}$, 则 O_{ij} 及 $O_{i+1,j}$ 分别在嵌入线 $\overline{P_{ia}P_{ib}}$ 及 $\overline{P_{i+1,a}P_{i+1,b}}$ 上. 在母线上该垂线对

应着垂线 $\overline{M_i O_i}$, 参看图2(c), 垂线的长度对应着 M'_j 点的 X 坐标, 设 $\overline{P_{ij} O_{ij}} = x'_{ij}$, $\overline{P_{i+1,j} O_{i+1,j}} = x'_{i+1,j}$, 并设 $\Delta x'_{ij} = x'_{i+1,j} - x'_{ij}$, 该值在母线嵌入位置确定之后即可计算出来. 如图2(a) 我们有

$$\cos^2 \gamma = \overline{O_{ij} O_{i+1,j}}^2 / (\overline{O_{ij} O_{i+1,j}}^2 + \Delta x'_{ij}{}^2) \quad (7)$$

$\overline{O_{ij} O_{i+1,j}}$ 的长度随着嵌入线上节点 P_{ij} 的位置变化, 从轨迹线 A 上的 $\overline{P_{ia} P_{i+1,a}}$ 变至轨迹线 B 上的 $\overline{P_{ib} P_{i+1,b}}$. 设 $\overline{P_{ia} P_{i+1,a}} = L_{ia}$, $\overline{P_{ib} P_{i+1,b}} = L_{ib}$, $\overline{M'_a M'_b} = L_0$, 则 $\overline{O_{ij} O_{i+1,j}}$ 可以近似用线性插值计算:

$$\overline{O_{ij} O_{i+1,j}} = L_{ia} + y'_j / L_0 (L_{ib} - L_{ia}) \quad (8)$$

将结果代入(7)式求得 $\cos^2 \gamma$, 再和 $\cos^2 \beta$ 一并代入(5)式求出 $\cos \alpha$, 按照光照模型求出该点亮度. 求得小面片上四个顶点的亮度后, 面片上其它点的亮度在屏幕坐标系上用线性插值求得.

上述计算假设了面片两条邻边 $\overline{P_{ij} P_{i,j+1}}$, $\overline{P_{ij} P_{i+1,j}}$ 相互垂直, 并用线性插值来近似计算 $\overline{O_{ij} O_{i+1,j}}$ 的长度, 这样大大简化了计算. 应用证明这样假设所造成的误差是不大的.

§ 7. 色 彩

本系统使用的图形显示器每一象素的颜色码在帧存储器中用一字节表示, 一帧图象可有 $2^8 = 256$ 种不同颜色码, 每一种颜色码表示的实际颜色由它的红、绿、兰三基色成份决定. 每种基色由6比特表示其数值, 取值范围为0-63, 三基色共可组合成 $(2^6)^3 = 2^{18}$ 种颜色.

在真实感图象显示时我们计算出某个点的亮度值, 实际上是该象素的颜色码值. 如何用这有限数量的颜色码既表示物体的颜色, 又反映立体表面的亮度变化?

将全部颜色码分成 n 个区段, 每一种颜色占一个区段. 例如 $n=8$, 每个区段长度为 $L = 256/n = 32$. 设某一区段立体造型的色彩为 $c = (r, g, b)$, 其中 r, g, b 为颜色码 c 的三基色成份, 它们之间的比例关系决定了该颜色码的色彩, 即区段的色彩, 而亮度由 r, g, b 的数值大小决定. 取 r, g, b 的最大值 $O_m = \max(r, g, b)$, 则具有最大亮度的颜色码三基色为

$$C_m = (r, g, b) \cdot 63 / O_m = 63(r / O_m, g / O_m, b / O_m)$$

让该区段内色彩的亮度随颜色码的数值线性递增, 则该区段第 i 个颜色码对应的三基色为

$$C_i = (r_i, g_i, b_i) = 63 \cdot i / L (r / O_m, g / O_m, b / O_m) \quad (9)$$

其中 $i=1, 2, \dots, L$.

我们按这一原理编写了色彩设计与显示子程, 提供了三种色彩设计方式: (1) 人机对话设计, 每一色区三基色比例由人机对话输入. (2) 直观选择, 在数字化仪上设计了一个全色彩表, 色彩与坐标位置建立了一一对应关系. 用数字化仪定位器可以很方便地将某种颜色直接赋给某一造型体或某一花纹色块. (3) 随机选取, 三基色成份随机产生, 这样往往能得到意想不到的色彩效果.

§ 8. 压缩存储

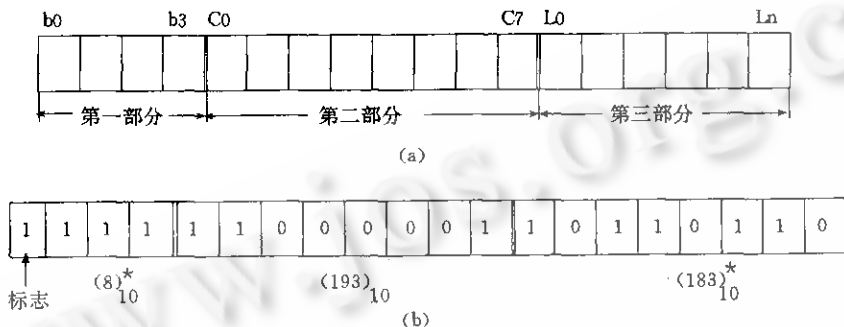
帧存的信息量为1兆, 如不压缩, 一张1.2兆的软盘只能存储一幅作品. 我们采用了两种压缩存储方法.

8.1 参数法

记录并保存整个作图过程以及所用到的全部参数. 恢复过程实际上是将作图过程重复一遍, 重新作出此作品. 这种方式存储一幅作品只需数百或数千字节存储空间.

8.2 变长压缩法

这种方法按水平线方向上相同象素长度进行压缩. 一串连续相同象素压缩后的信息由三部分组成, 如图5(a)所示. 第一、第三部分是变长的. 第一部分标志信息位数, 本身占1或4位; 第二部分为象素颜色码, 占8位; 第三部分为连续象素长度值, 占0-8位.



* 该数据以(000)₂表示1, (001)₂表示2, ..., (10110110)₂表示183, 即它所表示的值等于其本身的二进制数加1.

图5

当第一部分的第一位为0时, 表示是一个孤立点, 接着的8位为该孤立点的颜色码, 没有第三部分. 当第一部分的第一位为1时, 第一部分的长度为4位, 其中的后三位存放第三部分的信息长度, 而第三部分则为连续相同象素长度值. 例如, 一串连续相同象素的长度为183, 其颜色码为193, 则压缩后的信息如图5(b)所示. 这种方式, 除孤立点增加信息量1/8外, 随着连续相同象素增加, 压缩效率近似成指数增高. 一帧图象压缩存储时间大约一分钟, 而恢复显示则更快些.

使用效果:该系统在景德镇市建国瓷厂等单位用于花瓶、茶咖具、餐具及其它产品的设计, 给设计师带来了极大的便利, 提高了设计效果, 保证了产品设计的一次成功率.

参考文献

- 1 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics (Papers in Summary only Received), Computer Graphics (USA), Vol. 21, No. 1, Jan. 1987.
- 2 K. L. Howard, Solid Modelling, Its Application in the Real World of Engineerings and Industrial and Industrial Design, Computer Graphics'85 Proceedings of the International Conference, London, England, Oct. 1985.
- 3 N. Marovac, Interactive Computer Aided 3D Engineering and Art Design, Comput. & Graphics (GB), Vol. 4, No. 2, (1979).
- 4 C. J. Beams, 3D Modelling and Model Management Applied to Ship Design, Comput. Aided des. (UK), Vol. 19, No. 10, Dec. 1987.
- 5 Yu Cheng, A Mathematic Model for Computer Pattern Art Design and Creative Method of Random Directional Change, in Proc. of CADDM'87, Beijing, April 1987.
- 6 余成, 纺织花型准备系统, 《自动化学报》, 1987年第5期.