

视频特技中色键效果算法

赵蔚¹⁾ 郭树旭²⁾ 韩建枫³⁾ 游泽清⁴⁾

¹⁾(东北师范大学广播电视学院, 长春 130024) ²⁾(吉林大学电子工程系, 长春 130023)

³⁾(天津大学管理学院, 天津 300072) ⁴⁾(天津师范大学现代教育技术中心, 天津 300074)

摘 要 针对视频编辑软件中的色键效果算法, 从理论上进行了深入研究. 通过数学建模, 得到了求解前景中视频对象的蒙片方程和通式, 在分析特例的基础上, 提出了一种双前景抠象技术, 并给出了相应的定理及证明, 利用它可将任意颜色的视频对象从任意底色中抠出, 并通过 C 语言编程实现了该技术.

关键词 α 通道 视频特技 色键效果

中图分类号: TP391.41 TN948.47 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2001)03-0250-04

Algorithms of the Key Color Effect in Video Effect

ZHAO Wei¹⁾, GUO Shu-xu²⁾, HAN Jian-feng³⁾, YOU Ze-qing⁴⁾

¹⁾(College of Broadcast & Television, Northeast Normal University, Changchun 130024)

²⁾(Dept. of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023)

³⁾(Management College, Tianjin University, Tianjin 300072)

⁴⁾(Center of Modern Educational Technology, Tianjin Normal University, Tianjin 300074)

Abstract Key color effect is commonly used in video and film editing. In this paper, the concept of Alpha channel has been described and algorithms of the key color effect have been thoroughly studied theoretically. A mathematical model that foreground image can be seen the overlay of the video object and background of this image has been established. Based on this model, the matte equation and its general formula are obtained. By discussing the special case that a desired foreground video object is separated from two backgrounds of constant color (blue and black), a double foreground technique has been presented. Corresponding theorems that can pull a matte on any color object against random backing have been given and proved. We pulled the foreground video object from a complicated background and even object that includes backing color from constant color background by this technique with C language programming. Any other key color effects cannot realize these.

Keywords α channel, Video effect, Key color effect

0 引言

色键效果是视频特技中常见的一种特技效果. 在模拟特技中, 它是通过将前景图象中的某一色度信号取出, 并用其作为脉冲信号, 去控制选通输出电路, 即在有脉冲信号时输出背景图象, 而在无脉冲信号时, 则输出前景图象, 同时在前景图象中被选定的颜色处, 用背景图象代替. 在电影编辑中, 它被称为抠像, 而在视频编辑软件中, 它是将前景图象中的视频对象从底色中抠出, 再与另一新背景叠加.

1 色键效果算法

1.1 Alpha 通道

Alpha 通道(简称 α 通道), 是在数字图象基色通道之外, 决定图象每个象素透明度的一个通道. α 通道值叫不透明度(opacity)或覆盖率(coverage percentage), 它在 0~1 之间变化, 即纯白时, $\alpha = 1$ 为不透明, 纯黑时, $\alpha = 0$ 为完全透明, 而介于白黑之间的值为部分透明. Porter 和 Duff 于 1984 年首次提出一个象素可用 4 个通道, 即 (r, g, b, α) 表示^[1], 用 α 值

乘红绿蓝通道的色度值即决定该图象各颜色对某一象素点的贡献。

1.2 色键效果算法^[2,3]

通常用于色键效果处理的前景图象为单一底色图象,因此抠象的关键是将前景图象中除底色以外的视频对象抠出。色键效果算法如下:

(1) 首先在前景图象上选定底色,然后将底色象素点的 α 通道值设为 0,而将非底色象素点的 α 值设为 1,由此即可形成一个 α 图象,这样,该图象中的一部分象素的 $\alpha = 1$,其他象素的 $\alpha = 0$ 。这种 α 图象与电影编辑中的蒙片(matte)等价,因为在电影编辑中,前景图象与背景胶片的合成,就是借助于蒙片实现的。

(2) 将 α 图象与前景图象相乘,即得到前景图象每一象素的色度值 $F = \alpha f$,该乘积叫作预乘色度值,而 f 为前景图象每一象素的非预乘色度值。

(3) 再用每个象素点的 $(1 - \alpha)$ 值与新背景图象对应象素点的色度值相乘,即 $(1 - \alpha)B$ (B 为背景图象中每一象素的预乘色度值)。

(4) 将(2)(3)两结果的对象素相加,即 $F + (1 - \alpha)B$,最终可得到一种用背景图象替换掉前景图象中所选定颜色象素的图象。

上述算法是将前景图象中某一单纯的底色从图象中抠去,可是实际上单纯的底色图象是极少的(仅用计算机产生的图象可以达到),通常用摄像机拍摄的单一底色图象中的底色只是非常接近颜色(仅亮度上有微小差别),而不是非常纯的单一颜色。

为了抠去所有非常接近的颜色,这里引入颜色距离概念。所谓颜色距离即为某一颜色距所选底色的距离,通常用亮度表示,即在该颜色距离内的颜色,由于其亮度仅有一些细小差别,因此可看作为同一颜色,而且由于这种颜色距离可人为为调节,因此,抠去所有非常接近的颜色,就是当象素颜色等于所选定的底色或距该底色小于颜色距离时,则这些象素所对应的 $\alpha = 0$,此时即可将接近选定颜色的象素挑出,然后用背景图象的相应象素值代替。

2 色键算法的数学模型

大家知道,由于抠象的关键问题就是将前景图象中的视频对象抠出,因此假定前景图象 C_f 和背景图象 C_b 均为不透明图象,即 $\alpha_f = \alpha_b = 1$ 。这里是用行矩阵 $C = [R \ G \ B]$ 及 $C' = [R \ G \ B \ \alpha]$ 来分别表示某一象素的预乘三基色值及预乘三基色和 α 通道

值。

其数学模型是把前景图象看成是前景图象中的视频对象与前景图象中底色的叠加,即前景图象中的某一象素色度值将是相应象素点上视频对象的色度值和底色色度值的函数,而且这些色度值均为预乘色度值,并永远假定色度象素的 $\alpha_k = 1$ 。

根据此模型,前景图象可看成是要抠出的视频对象 C_o 与底色 C_k (如蓝色)的叠加,这样对每一象素来说,前景图象 C_f 即可表示为

$$C_f = C_o + (1 - \alpha_o)C_k \quad (1)$$

式中 α_o 为要抠出的视频对象的 α 通道值,式(1)即称为 α 图象方程或蒙片方程,而 α_o 和 C_o 则为蒙片方程的解,而且利用此方程,通过下面的一些特例,用已知的 C_f 和 C_k 值即可精确求出 C_o 、 α_o 值,也即可将视频对象精确抠出;然后将抠出的 C_o 再与背景图象 C_b 叠加,这样在每一象素上,即可最终合成图象 C

$$C = C_o + (1 - \alpha_o)C_b \quad (2)$$

由于式(1)对应红、绿、蓝3色只有3个方程,即 $R_f = R_o + (1 - \alpha_o)R_k$; $G_f = G_o + (1 - \alpha_o)G_k$; $B_f = B_o + (1 - \alpha_o)B_k$,可是却存在4个未知数 R_o 、 G_o 、 B_o 、 α_o ,所以方程有无穷多个解。下面给出几种特例来求解蒙片方程,并得到蒙片方程的通式。

(1) 特例1 无蓝色

若前景图象中的视频对象 C_o 不包括蓝色视频对象,即 $C_o = [R_o \ G_o \ 0]$;且 C_k 为纯蓝底色色度值,即 $C_k = [0 \ 0 \ B_k]$,则式(1)变为

$$C_f = C_o + (1 - \alpha_o)C_k = [R_o \ G_o \ (1 - \alpha_o)B_k] \quad (3)$$

由式(3)可知, $R_o = R_f$; $G_o = G_f$; $B_f = (1 - \alpha_o)B_k$ 则

$$\alpha_o = 1 - \frac{B_f}{B_k} \quad (4)$$

所以

$$C_o = \begin{bmatrix} R_f & G_f & 0 \\ 1 - \frac{B_f}{B_k} \end{bmatrix} \quad (\text{若 } B_k \neq 0) \quad (5)$$

上述条件比较严格,由于要求前景图象中的视频对象不包括所有的灰色调颜色(即不包括黑色),即只有全色谱中三分之二的色调,所以式(5)只适合视频对象颜色为三维红(R)、绿(G)、蓝(B)颜色空间里 R 、 G 平面内的颜色。

纯蓝底色也是不现实的。如前所述,即使是非常纯的蓝底色也存在亮度上的微小差异,即也包含一些红、绿成分。解决亮度微小变化的一个实际方法

是先拍摄无视频对象的蓝底色图象,然后再拍摄有视频对象的前景图象,利用式(4)将其对应的每一像素点用蓝底色色度值 B_k 和有视频对象的前景图象 C_f 来计算 α_o 。

(2) 特例 2 双前景

若在两种不同蓝底色下拍摄同一视频对象,则由这两幅前景图象即可确定 C_o ,且 C_o 不需要满足任何条件。

设 B_{k_1} 、 B_{k_2} 分别表示两前景图象的底色,并满足 $B_{k_1} = cB_k$, $B_{k_2} = dB_k$,且有 $0 \leq d < c \leq 1$,即 B_{k_2} 可以是黑色背景,则有

$$\begin{aligned} C_{f_1} &= [R_o \quad G_o \quad B_o + (1 - \alpha_o)B_{k_1}] \\ C_{f_2} &= [R_o \quad G_o \quad B_o + (1 - \alpha_o)B_{k_2}] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{由} \quad B_{f_1} = B_o + (1 - \alpha_o)B_{k_1}$$

$$B_{f_2} = B_o + (1 - \alpha_o)B_{k_2}$$

得

$$\alpha_o = 1 - \frac{B_{f_1} - B_{f_2}}{B_{k_1} - B_{k_2}} \quad (7)$$

最后得

$$\begin{aligned} R_o &= R_{f_1} = R_{f_2} \\ G_o &= G_{f_1} = G_{f_2} \\ B_o &= \frac{B_{f_2}B_{k_1} - B_{f_1}B_{k_2}}{B_{k_1} - B_{k_2}} \end{aligned} \quad (8)$$

双前景方法实际上只适用于前景图象中的视频对象是非运动的,它不适合演员或天气预报员等运动视频对象,因运动视频对象的重复性很差,即在拍摄两前景图象时,处于两图象中的视频对象亮度应完全一致,若不完全相等,则与视频对象对应的各像素点的 α_o 可能不等于 1 而小于 1,从而背景图象会透过前景图象中的视频对象露出来,产生不需要的效果,所以在拍摄时,要精确控制光照及曝光时间,以保证两次拍摄时前景图象中的视频对象亮度相等。

(3) 蒙片方程通式

蒙片方程的 3 个分量方程用矩阵形式可写成如下通式

$$\begin{bmatrix} R_o & G_o & B_o & \alpha_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & 1 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 1 & t_3 \\ -R_k & -G_k & -B_k & t_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_\Delta & G_\Delta & B_\Delta & T \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 、 T 为参数

$$\text{设 } \bar{t} = [t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad t_4]$$

当 4×4 矩阵不等于零,或 $t_1R_k + t_2G_k + t_3B_k + t_4 \neq 0$,则由式(9)可得

$$\alpha_o = \frac{T - (t_1R_\Delta + t_2G_\Delta + t_3B_\Delta)}{t_1R_k + t_2G_k + t_3B_k + t_4} \quad (10)$$

$$C_o = C_\Delta + \alpha_o C_k \quad (11)$$

式中 $R_\Delta = R_f - R_k$, $G_\Delta = G_f - G_k$, $B_\Delta = B_f - B_k$

在特例 1 中,对应 $\bar{t}$ 、 T 满足以下条件:

$$\bar{t} = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]; T = 0; B_k \neq 0.$$

在特例 2 中,可看成蒙片方程满足以下条件,首先扩展式,设 $C_{\Delta_i} = C_{f_i} - C_{k_i}$; $i = 1$ 或 2.

令 $\bar{t} = [0 \quad 0 \quad 1 \quad -B_{k_2}]; T = B_{\Delta_2}; B_{k_1} - B_{k_2} \neq 0; C_k = [0 \quad 0 \quad B_{k_1}]$,式(9)右侧 $[R_\Delta \quad G_\Delta \quad B_\Delta \quad T]$ 变成 $[R_{f_1} \quad G_{f_1} \quad B_{\Delta_1} \quad B_{\Delta_2}]$.

除上述特例外,加上另外一些条件,也可使蒙片方程有解 C_o 和 α_o .由此得出如下两个定理:

定理 1 若存在两个不同底色的前景图象,其底色色度值分别为 C_{k_1} 、 C_{k_2} ,且 C_{k_1} 是任意的,而 C_{k_2} 是蓝颜色的色度值,并有 $B_{k_1} - B_{k_2} \neq 0$,则蒙片方程有解 C_o 、 α_o .

证明 $\bar{t}$ 与 T 的值同特例 2,即

$$\bar{t} = [0 \quad 0 \quad 1 \quad -B_{k_2}]; T = B_{\Delta_2}$$

$$C_k = [R_{k_1} \quad G_{k_1} \quad B_{k_1}]$$

式(9)右侧矩阵变为 $[R_{\Delta_1} \quad G_{\Delta_1} \quad B_{\Delta_1} \quad B_{\Delta_2}]$,则由式(10)可得

$$\alpha_o = \frac{B_{\Delta_2} - B_{\Delta_1}}{B_{k_1} - B_{k_2}} = 1 - \frac{B_{f_1} - B_{f_2}}{B_{k_1} - B_{k_2}} \quad (12)$$

定理 2 若存在两不同底色的前景图象,底色色度值分别为 C_{k_1} 、 C_{k_2} ,且两者都是任意的,并满足 $\Sigma_{k_1} - \Sigma_{k_2} = (R_{k_1} - R_{k_2}) + (G_{k_1} - G_{k_2}) + (B_{k_1} - B_{k_2}) \neq 0$,其中,对任一颜色 $\Sigma_a = R_a + G_a + B_a$,则蒙片方程有解。

证明 令 $\bar{t} = [1 \quad 1 \quad 1 \quad -\Sigma_{k_2}]; T = \Sigma_{\Delta_2}$;其他条件同定理 1

则

$$\begin{aligned} \alpha_o &= \frac{\Sigma_{\Delta_2} - \Sigma_{\Delta_1}}{\Sigma_{k_1} - \Sigma_{k_2}} = 1 - \frac{\Sigma_{f_1} - \Sigma_{f_2}}{\Sigma_{k_1} - \Sigma_{k_2}} = \\ &= 1 - \frac{(R_{f_1} - R_{f_2}) + (G_{f_1} - G_{f_2}) + (B_{f_1} - B_{f_2})}{(R_{k_1} - R_{k_2}) + (G_{k_1} - G_{k_2}) + (B_{k_1} - B_{k_2})} \quad (13) \\ C_o &= C_{\Delta_1} + \alpha_o C_{k_1} = C_{f_1} - (1 - \alpha_o)C_{k_1} \end{aligned}$$

或
$$C_o = C_{f_2} - (1 - \alpha_o)C_{k_2} \quad (14)$$

定理 2 条件相当广 ,只要两底色色度值之和的差不为零即可 .实践证明 ,用此技术可以将任一颜色的视频对象抠出 ,也可将透明物体抠出 ,特别是可抠出与底色具有相同颜色的视频对象 ,这是其他色键效果做不到的 .

3 实验结果

通过 C 语言编程实现了定理 1 和定理 2 的色键效果(如图 1 和图 2 所示) .图 1 中 ,一前景图象的底色是蓝色 ,另一前景图象的底色为黄色 ,视频对象为包含多种颜色的圆 ,并且视频对象中的字母 A、B 分别与底色具有相同的颜色 .通过定理 1 ,将这两字母连同其他视频对象一起抠出 .这是单一前景抠象所作不到的 .

图 2 中 ,一前景图象的底色不是单一颜色 ,另一前景图象的底色是红色 ,视频对象也是包含多种颜色的圆 ,通过定理 2 ,可将视频对象精确抠出 ,并与背景叠加 .

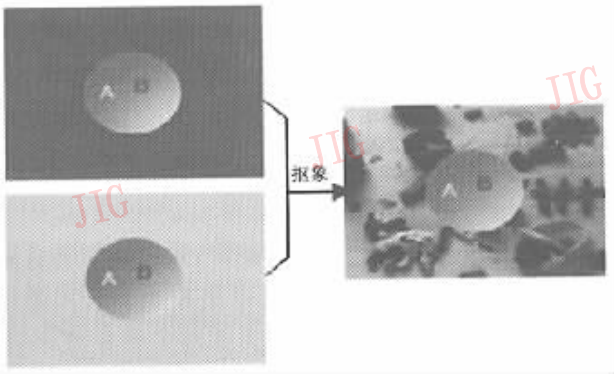


图 1 定理 1 实现的色键效果

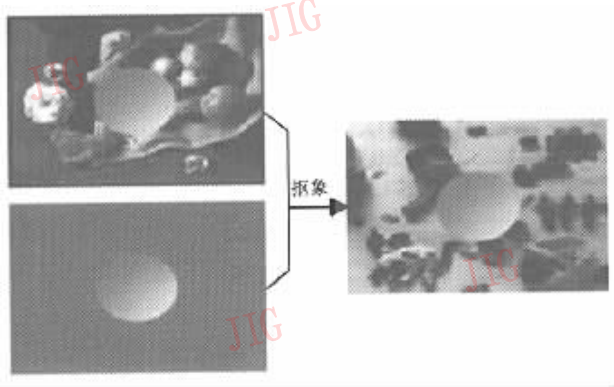


图 2 定理 2 实现的色键效果

4 结束语

抠象的关键是如何将前景图象中的视频对象抠出 .虽然本文提出的双前景技术 ,可将任意颜色的视频对象从前景图象中抠出 ,并且不限制底色的颜色 ,这是其他色键效果所做不到的 .但此技术也存在局限性 ,它只适合前景图象中静止视频对象的抠出 .

参 考 文 献

- 1 Porter T ,Duff T. Compositing digital images. Computer Graphics ,1984 ,18 (3) 253259.
- 2 Mattison P E. Practical digital video programming with examples in C. New York : John Wiley & Sons ,1994.
- 3 Wittenburg T. Visual special effects toolkit in C++ . New York : John Wiley & Sons ,1997.

赵 蔚 1963 年生 ,1999 年获天津大学电子信息工程学院博士学位 ,现为东北师范大学副教授 .主要研究方向为视频图象处理和多媒体技术 .

郭树旭 1959 年生 ,1989 年获吉林大学电子工程系硕士学位 ,现为吉林大学电子工程系教授 .主要研究领域为小波在数字图象处理中的应用和多媒体信息处理技术 .

韩建枫 1970 年生 ,1999 年获天津师范大学物理系硕士学位 ,现在天津大学管理学院攻读博士学位 .主要研究方向为多媒体信息处理、大型数据库和并行计算 .

游泽清 天津师范大学现代教育技术中心教授 ,教育部电教办电教技术开发专家组组长 .主要研究方向为多媒体技术和信息处理 .