

一种基于定点 DSP 的 YCbCr 到 HSV 的快速转换算法*

刘一方¹, 刘兆广¹, 王娅芳¹, 何晨¹, 杨阳²

(1. 山东经济学院 计算机科学与技术学院 数字媒体技术重点实验室, 济南 250014; 2. 山东大学 信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 通过分析 YCbCr 到 RGB 以及 RGB 到 HSV 之间转换的算法, 提出一种 YCbCr 空间转换到 HSV 空间的快速算法。在该算法中分别使用了移位运算和查表法代替了浮点乘法运算, 从而显著提高了算法在 DSP 上的运行速度。另外, 转换时 Y 分量不再参与计算, 从而进一步降低了运算复杂度。最后实验证明, 在 DSP 平台上, 该算法比传统算法能节省 80% 的计算时间, 在 PC 平台上能节省 46% 的计算时间。因此, 提出的算法在车牌识别、火焰检测等实时视频分析应用中有广泛的应用性。

关键词: YCbCr; RGB; HSV; 色彩空间; 数字信号处理

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)02-0741-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.02.091

Fast algorithm for YCbCr to HSV conversion based on fix-point DSP

LIU Yi-fang¹, LIU Zhao-guang¹, WANG Ya-fang¹, HE Chen¹, YANG Yang²

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Digital Media Technology, School of Computer Science & Technology, Shandong Economic University, Jinan 250014, China; 2. School of Information Science & Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: This paper proposed a fast algorithm for YCbCr space to HSV space conversion based on the analysis of the algorithms between YCbCr to RGB and RGB to HSV conversions. Rather than using the floating point multiplication, it used the shift operator and look-up table method respectively in this algorithm, so that improved the efficiency on fixed-point DSPs significantly. In addition, Y component was not involved in the calculation during the conversion of the algorithm, thereby further reduced the computational complexity. Finally, according to the experiments, it obtained the consequence that this algorithm could save 80% of the computing time than the traditional algorithm on fixed-point DSP platform and 46% of the computing time on PC platform. Therefore, the proposed algorithm can be used in high real-time video analysis systems, such as license plate recognition and flame detection.

Key words: YCbCr; RGB; HSV; color space; DSP

0 引言

随着计算机技术、图像处理技术的发展和普及, 数字图像处理应用越来越广泛。目前, 彩色数字图像可由多种色彩空间模型来表达, 如 RGB、YCbCr 和 HSV 等。YCbCr 中 Y 是指亮度分量, Cr 反映了 RGB 输入信号红色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异, 而 Cb 反映的是 RGB 输入信号蓝色部分与 RGB 信号亮度值之间的差异。人的肉眼对视频的 Y 分量更敏感, 因此通过对色度分量进行采样来减少色度分量后, 肉眼将察觉不到图像质量的变化。其主要的采样格式有 4:2:0、4:2:2 和 4:4:4。对于 HSV 模型, H、S、V 分别表示色调、饱和度、亮度。HSV 模型中的 V 轴对应于 RGB 颜色空间中的主对角线。在圆锥顶面的圆周上的颜色, V=1, S=1, 这种颜色是纯色。RGB 是按三基色加光系统的原理来描述颜色, YCbCr 是按照

亮度、色差的原理来描述颜色, HSV 是由改变色浓和色深的方法从某种纯色获得不同色调的颜色。三种颜色空间在数字图像处理中的应用都非常广泛。例如, 文献[1]提出了利用 HSV 颜色空间阈值进行森林火灾检测; 文献[2]提出了一种在 HSV 空间下的实时火焰检测技术; 喻再光等人^[3]提出了在 DSP 上快速实现对 CCD 传感器输出原始图像的三基色插值的新算法; 罗三定等人^[4,5]提出了基于改进的肤色分割和距离变换的快速人脸检测算法; Sanjay 等人^[6]利用不同颜色空间, 进行人脸检测, 并比较了检测结果; 文献[7]提出的一种基于小波变换的彩色图像人脸检测方法, 首先将图像从 RGB 空间变换到 YCbCr 空间, 用肤色模型检测出皮肤区域; 刘莎等人^[8]利用 YCbCr 颜色空间建立肤色模型, 从而准确实时地实现快速定位; Celik 等人^[9]提出在火焰或烟雾探测的图像处理中, 将 RGB 和 YCbCr 颜色空间进行分析进而得出结论; Chakraborty

收稿日期: 2011-07-24; 修回日期: 2011-08-30 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61103118); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2011FQ021)

作者简介: 刘一方(1990-), 女, 山东青州人, 本科生, 主要研究方向为视频分析、火焰检测(kamypotter@qq.com); 刘兆广(1977-), 男, 山东菏泽人, 副教授, 博士, 主要研究方向为视频编解码、视频转码、智能视频分析等; 王娅芳(1990-), 女, 重庆江津人, 本科生, 主要研究方向为火焰检测; 何晨(1990-), 女, 安徽铜陵人, 本科生, 主要研究方向为视频分析; 杨阳(1982-), 男(回族), 山东淄博人, 讲师, 博士, 主要研究方向为数字图像处理、多尺度分析、图像压缩、智能视频分析等。

等人^[10]分析和考虑了 RGB 和 HSI 颜色模型,提出了一种快速处理和检测火焰的算法。在实际应用中,由于要处理大批量的数据,三种颜色空间之间的相互转换已不能仅仅局限于传统算法,对于三种颜色空间的相互转换,人们提出了一些快速算法。周钱生等人^[11]提出了用查表法优化媒体播放软件中 YCbCr 到 RGB 的转换,以提高转换速度,减少计算量;冯永超等人^[12]提出用一种查表方法实现了 YUV 到 RGB 的转换,该方法不需要乘法,因此可以提高转换效率;刘云粼等人^[13]通过分析 YUV 与 RGB 格式间的转换算法,提出使用整型计算替代浮点运算,利用整除 256 对应右移八位操作,从而提高运算速度。笔者在前期工作^[14]中,提出了在 DSP 上实现 YCbCr 到 RGB 的快速转换算法。在误差允许范围之内,将浮点运算转换成了定点移位和加法运算,减少了浮点乘法运算时间,从而大幅度提高了运算速度。传统的 YCbCr 与 HSV 之间的转换需要通过 RGB 作为中间桥梁,首先将 YCbCr 转换成 RGB,然后再由 RGB 转换成 HSV。由于视频信息的数据量大,且都需要浮点运算,因此计算量大、耗时多。

1 背景知识

1.1 YCbCr 空间转 RGB 空间

RGB、HSV、YCbCr 都是常用的颜色模型,在视频编码器的数据采集和传输中使用的格式是 YUV 和 YCbCr,显示时使用 RGB,而数据处理时经常使用的格式是 HSV,所以,它们之间的格式转换是必不可少的。根据 ITU-R Recommendation BT. 601-5^[15],YCbCr 转换到 RGB 的公式如下:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.402 \\ 1 & -0.344 & -0.714 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

由于 YUV 和 YCbCr 的唯一区别就是直流分量,而且它们的转换矩阵是一样的,所以本文中统一使用 YCbCr^[14]。

1.2 RGB 空间转 HSV 空间

RGB 转换到 HSV 的公式如下^[16]:

$$\begin{cases} H = \begin{cases} (G - B) / \text{delta} & R = \max(R, G, B) \\ 2 + (B - R) / \text{delta} & G = \max(R, G, B) \\ 4 + (R - B) / \text{delta} & B = \max(R, G, B) \end{cases} \\ S = \text{delta} / \max(R, G, B) \\ V = \max(R, G, B) \\ \text{where delta} = \max(R, G, B) - \min(R, G, B) \end{cases} \quad (2)$$

1.3 定点 DSP 上色彩空间的转换

根据式(1)(2),如果要实现 YCbCr 到 HSV 的转换,需要通过中间变量 RGB。当然,YCbCr 到 RGB 转换可以通过快速算法实现^[1,12,14]。

如火焰检测、车牌识别等实际应用中,为了降低后台服务器的运算压力,常常需要 DSP 在获取视频的同时就对视频进行分析,并将检测结果通过互联网传送到后台服务器。DSP 端获取的视频源格式为 YCbCr,而对视频进行分析时,常常用到 HSV 空间^[1,2]。因此,研究在 DSP 上如何将 YCbCr 快速转换到 HSV 具有很重要的实际应用价值。从式(1)(2)可以看出,浮点乘法运算是转换中必不可少的,定点 DSP 进行浮点乘法时常用的有两种方法:

a) 汇编语言,它有专门进行乘法的程序包,在理论上可以获得很高的,但是在实践中并非如此。原因是公式中的数据包

含小数,所以在计算前后须将其转换成整数。这些移位操作大大降低了转换精度。另一个问题就是汇编语言相对比较枯燥,而且它在程序员和用户平台之间的通用性较差。

b) 使用 C 语言编译器来实现定点和浮点之间的数据自动转换。其好处就是编程方便、通用性较好,所以,它更容易植入用户平台。它的缺点是 C 语言编译器的运算效率不够高。

2 YCbCr 空间转 HSV 空间的快速算法

本文通过分析 YCbCr 转 RGB 以及 RGB 转 HSV 的转换公式,提出了一种在定点 DSP 上的 YCbCr 转 HSV 的快速转换方法,在保证运算精度的同时,大幅度降低了运算复杂度。

本算法实际上包含两个步骤。首先利用快速 YCbCr 转 RGB 算法。因为 DSP 内存空间资源有限,而上文提到的查表法^[11,12]需要把运算中需要用到数据都存到 DSP 中,耗费空间,因此本文在笔者以前工作^[14]的基础上,继续采用定点移位法。在第二步的 RGB 转 HSV 的转换中,由于参与乘法运算的数据范围容易确定,而且限于 1 ~ 255,占用空间不多,因此,本文应用了查表法。

2.1 YCbCr 转 RGB 的快速算法

在 YCbCr 转 RGB 的算法中,本文延续了笔者以前的工作^[14],将浮点操作转换成移位和加法操作。对于式(1),可以近似成:

$$\begin{cases} R = Y + Cr + \frac{Cr}{2^2} + \frac{Cr}{2^3} \\ G = Y - (\frac{Cb}{2^2} + \frac{Cb}{2^3}) - (\frac{Cr}{2} + \frac{Cr}{2^3} + \frac{Cr}{2^4} + \frac{Cr}{2^5}) \\ B = Y + Cb + \frac{Cb}{2} + \frac{Cb}{2^2} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中的分式均可以用移位运算代替,分母为 2 的 n 次方即右移 n 位。根据式(1)(3)中的 Cr 和 Cb 的实际值分别为 $Cr - 128$ 和 $Cb - 128$ 。

根据式(1),YCbCr 到 RGB 的转换需要使用浮点运算,计算结果为整型,而浮点运算的速度在通用 PC 和 DSP 上均远远慢于移位运算。浮点运算中除以 2 的 n 次方可以用右移 n 个比特来代替。如除以 2 可用右移 1 个比特代替,除以 4 则用右移 2 个比特代替。因此,在确保一定的误差范围前提下,浮点乘法可以用移位代替,从而大幅度提高运算速度,如: $1.402 \approx 1.40625 = 1 + 1/4 + 1/8 + 1/32$ ^[14]。在数据的运算范围较大时,查表法则需要占用大量的内存,由于 DSP 上内存空间有限,而移位运算不需要额外占用计算机内存。

本文的前提工作主要是根据式(1)将浮点运算转换为移位运算,从而提高 YCbCr 转 RGB 速度(见式(3))。本文后续工作(见 2.2 节,RGB 转 HSV 的快速算法)会用到此处 R 、 G 、 B 转换的值。可以通过分析 RGB 转 HSV 公式的特点,使其在不影响运算结果的前提下继续简化此处的移位运算。通过分析式(2)可以看出,计算分量 H 和 S 时均与 Y 分量无关,尤其分量 H 的计算是最耗时的部分。因此在本文提出的算法中,RGB 由不含 Y 分量的中间变量 R' 、 G' 、 B' 代替,这样可以在不影响转换结果的前提下节省三次加法运算。修改后的公式为

$$\begin{cases} R' = Cr + \frac{Cr}{2^2} + \frac{Cr}{2^3} \\ G' = -(\frac{Cb}{2^2} + \frac{Cb}{2^3}) - (\frac{Cr}{2} + \frac{Cr}{2^3} + \frac{Cr}{2^4} + \frac{Cr}{2^5}) \\ B' = Cb + \frac{Cb}{2} + \frac{Cb}{2^2} \end{cases} \quad (4)$$

观察式(4), G' 分量的移位运算、加法运算较多,而 R' 和 G' 分量表达式的移位次数和加法次数相对较少,考虑到可以在计算出 R' 和 B' 的基础上,把 G' 表示成 R' 、 B' 的函数,则上述公式可以进一步化简为

$$\begin{cases} R' = Cr + \frac{Cr}{2^2} + \frac{Cr}{2^3} \\ G' = -\frac{B' + R' - Cb}{2} - \frac{Cr}{2^5} \\ B' = Cb + \frac{Cb}{2} + \frac{Cb}{2^2} \end{cases} \quad (5)$$

利用式(5)计算 G' 分量,加法运算、移位运算相对于式(4)都得到缩减。比较式(3)和(5),后者的移位运算、加法运算都较少,因此处理大批量数据时,在处理效果相当的前提下,式(5)的处理速度会更快。

2.2 RGB 转 HSV 的快速算法

在 RGB 转 HSV 公式中,计算 H 和 S 分量时都用到了除法运算,而定点 DSP 上并没有除法运算,本文采用查表法来实现除法运算。计算 H 分量时的被除数 $\text{delta} = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$,显然 delta 的取值范围为 $[1, 255]$,因此可将被除数的倒数 $1/\text{delta}$ 放到一个数组 $\text{TAB}[255]$ 中。为了保证数组中的数值为整数,本文将数值调整为 $512/\text{delta}$,最后对求得的 H 分量右移 9 位即可。计算 S 分量时,由于被除数 $\max(R, G, B)$ 的范围也是 $[1, 255]$,与 delta 的范围相同,因此可共用 $\text{TAB}[255]$ 数组。根据以上讨论, TAB 数组的具体表达式为

$$\text{TAB}[\text{delta} - 1] = (\text{int})\left(\frac{512}{\text{delta}} + 0.5\right) \quad \text{delta} = 1, 2, \dots, 254, 255 \quad (6)$$

其中: (int) 表示取整,“+ 0.5”表示四舍五入。

对于 H 分量的计算,假设最大值为 R ,根据式(2), H 的计算公式为

$$H = 60 \times \frac{G - B}{\text{delta}} \quad (7)$$

本文提出的 H 计算公式如下:

$$H = 60 \times (G' - B') \times \frac{\text{TAB}[\text{delta} - 1]}{2^9} \quad (8)$$

计算结果右移 9 位,是因为 TAB 数组内的数值是 $512/\text{delta}$ 。当最大值为 G 或 B 的情况与此类似,本文不再一一赘述。

根据式(2)可知, S 分量的计算公式如下:

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \quad (9)$$

本文提出的 S 分量的计算公式如下:

$$S = \text{delta} \times \frac{\text{TAB}[\max(R, G, B) - 1]}{2^9} \quad (10)$$

由于 R' 、 G' 、 B' 是中间变量,缺少了 Y 分量,因此 V 分量计算公式如下:

$$V = \max(R, G, B) + Y \quad (11)$$

3 实验结果

本文在 DSP 和通用 PC 两个平台上对提出的快速算法进行了验证。DSP 平台为 DM642,设定了 O3 级的编译选项。PC 平台的实验环境:CPU 为 Intel Core 3.2 GHz,内存为 3 GB。选用了 akiyo、foreman、mobile 三个视频序列,长度均为 300 帧,尺寸为 CIF 格式(352 × 288)。本文验证了如表 1 所示的三种不同算法的效果。

表 1 实验中的不同算法组合

算法	YCbCr 转 RGB	RGB 转 HSV
1	式(1)	式(2)
2	文献[14]	式(2)
3	本文算法	本文算法

在表 1 中算法 1 实际上是直接利用了原转换公式;算法 2 则是首先利用了笔者前期的工作基础^[14],再利用了原转换公式;算法 3 是本文提出的算法。

表 2 给出的是三个序列的第一帧在 DM642 上转换时,所消耗的时钟周期的比较。

表 2 DM642 上各算法消耗时钟周期比较

算法	akiyo	foreman	mobile
1	213 428 860	228 344 593	226 904 239
2	83 426 847	81 746 063	81 776 699
3	49 235 316	49 197 566	46 077 907

表 3 给出的是三个序列在通用 PC 上运行耗时比较,单位为 ms,三个序列的长度均为 300 帧。

表 3 通用 PC 上消耗时间比较

算法	akiyo	foreman	mobile
1	3 049	3 093	3 048
2	2 178	2 330	2 322
3	1 656	1 768	1 598

从表 2 可以看出,在 DM642 上,本文算法相比于传统的公式转换平均可以节省约 80% 的计算时间。相比于算法 2,即 YCbCr 转 RGB 使用了快速移位算法,本文算法可以节省约 43% 的运算复杂度。根据表 3 的实验结果,在 PC 平台上,本文算法相对传统公式转换平均能节省 46% 的计算时间,相比于算法 2,本文算法可以节省约 26% 的时间。由上述实验结果可以看出,本文算法大幅度提高了 YCbCr 转 HSV 的运算速度。

除了运算速度,本文还对运算结果的精度进行了验证,实验平台为通用 PC。由于算法 1 为直接利用原始公式得到的结果,因此实验中以此结果为基准,表 4 中给出的百分比计算公式如下:

$$\Delta = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (12)$$

其中: A 和 B 分别为算法 1 和本文算法得到的 H 分量结果。

表 4 算法精度比较

算法	akiyo	foreman	mobile
算法 2 的 Δ	98.01	97.23	96.28
算法 3 的 Δ	97.34	96.28	96.11

由表 4 可以看出,本文算法对 H 分量的计算误差不超过 5%,且比算法 2 仅略有降低。由此也可以看出,本文算法的误差主要来自移位代替浮点乘法,RGB 转 HSV 中使用的查表法所带来的误差并不明显。如车牌识别、火焰检测等视频分析中,对颜色的判断常常以是否位于某个区间为准则,如车牌颜色、火焰颜色等,因此本文算法所引入的误差在此类应用中完全可以接受。

4 结束语

本文针对车牌识别、火焰检测等视频分析应用中,需要将 YCbCr 空间转换到 HSV 空间,且有很强的实时性要求,提出了一种基于定点 DSP 上的 YCbCr 转 HSV 颜色空间的快速算法。使用了移位运算和查表法代替浮点乘法,并在转换中舍去了 Y 分量,进而 G' 分量的运算可以利用已经计算出来的 R' 和 B' 分量,从而进一步地降低了运算复杂度,达到了 (下转第 760 页)

到融合图像中,得到更高性能的融合图像。

参考文献:

- [1] 王亚杰,付萍,李殿起,等.基于多策略的多聚焦图像融合方法[J].光电工程,2007,34(8):93-98.
 - [2] 王蓉,高立群,柴玉华,等.一种多聚焦图像融合算法[J].控制与决策,2005,20(11):1256-1260.
 - [3] SWELDENS W. The lifting scheme; a construction of second generation wavelets [J]. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 1998, 29(2):511-546.
 - [4] DAUBECHIES I, SWELDENS W. Factoring wavelet transforms into lifting steps [J]. *Journal of Fourier Analysis and Applications*, 1998, 4(3):245-267.
 - [5] 胡钢,刘哲,童小红,等.基于快速整数提升小波变换的多幅图像融合[J].光电子.激光,2010,21(1):144-148.
 - [6] COIFMAN R R, DONOHO D L. Translation invariant de-noising, wavelet and statistics [M]. New York: Springer-Verlag, 1995: 125-150.
 - [7] 李华锋,柴毅,张晓阳.提升静态小波域内多聚焦图像融合算法[J].光电工程,2011,38(3):131-137.
 - [8] CHAI Y, LI H F, QU J F. Image fusion scheme using a novel dual-channel PCNN in lifting stationary wavelet domain [J]. *Optics Communications*, 2010, 283(19):3591-3602.
 - [9] 张强,郭宝龙.基于非采样 contourlet 变换多传感器图像融合算法[J].自动化学报,2008,34(2):135-141.
 - [10] YANG L, GUO B L, NI W. Multimodality medical image fusion based on multiscale geometric analysis of contourlet transform [J]. *Neurocomputing*, 2008(72):203-211.
 - [11] ZHANG Qiang, GUO Bao-long. Multifocus image fusion using the non-subsampled contourlet transform [J]. *Signal Processing*, 2009, 89(7):1334-1346.
 - [12] 屈小波,闫敬文,杨贵德.改进拉普拉斯能量和的尖锐频率局部化 contourlet 域多聚焦图像融合方法[J].光学精密工程,2009,17(5):1203-1212.
 - [13] HUANG Wei, JING Zhong-liang. Evaluation of focus measures in multifocus image fusion [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28(4):932-500.
 - [14] 黄继武, SHI Y Q, 戴宪华.基于视觉系统特性的分割编码算法[J].中国图象图形学报,1999,4(5):400-404.
 - [15] TOET A, VANRUYVEN L J, VALETON J M. Merging thermal and visual images by a contrast pyramid[J]. *Optical Engineering*, 1989, 28(7):789-792.
 - [16] 刘贵喜,杨万海.基于小波分解的图像融合算法及性能评价[J].自动化学报,2002,28(6):927-934.
 - [17] QU Gui-hong, ZHANG Da-li, YAN Ping-fan. Information measure for performance of image fusion [J]. *Electronics Letters*, 2002, 38(7):313-315.
 - [18] PETROVIC V, XYDEAS C. On the effects of sensor noise in pixel level image fusion performance [C]//Proc of the 3rd International Conference on Image Fusion. Paris: IEEE, 2000:14-19.
 - [19] CHAI Yi, LI Hua-feng, ZHANG Xiao-yang. Multifocus image fusion scheme using focused region detection and multiresolution [J]. *Optics Communications*, 2011, 284(19):4376-4389.
 - [20] LI Shu-tao, YANG Bing. Multifocus image fusion using region segmentation and spatial frequency [J]. *Image and Vision Computing*, 2008, 26(7):971-979.
 - [21] CHAI Y, LI H F, GUO M Y. Multifocus image fusion scheme based on features of multiscale products and PCNN in lifting stationary wavelet domain [J]. *Optics Communications*, 2011, 248(5):1146-1158.
 - [22] SWELGENS W. The lifting scheme; a custom-design construction of biorthogonal wavelets [J]. *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 1996, 3(2):186-200.
- (上接第743页)提高运算速度的目的。最后的实验结果表明,本文提出的快速算法在 DSP 上和通用 PC 上的运行速度均远远快于传统算法,同时引入的误差处于可接受范围内,因此在视频分析系统中具有很好的应用性。
- #### 参考文献:
- [1] ZHANG Deng-yi, RAO U J, ZHAO Jian-hui, *et al.* Feature based segmentation and clustering on forest fire video [C]//Proc of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. 2007:1788-1792.
 - [2] YAMAGISHI H, YAMAGUCHI J. Fire flame detection algorithm using a color camera [C]//Proc of International Symposium on Micromechanics and Human Science. 1999:255-260.
 - [3] 喻再光,赵群飞.基于 YCbCr 三基色插值及其在 DSP 上的实现[J].计算机工程与应用,2005,41(10):104-106.
 - [4] 罗三定,周磊,沙莎.一种新的快速多人脸检测算法[J].计算机应用研究,2008,25(4):1079-1083.
 - [5] RUANGYAM P, COVAVISARUCH N. An efficient region-based skin color model for reliable face localization [C]//Proc of the 24th International Conference on Image and Vision Computing. 2009:260-265.
 - [6] SANJAY K R, SINGH D S, CHAUHAN, *et al.* A robust skin color based face detection algorithm [J]. *Journal of Science and Engineering*, 2003, 6(4):227-234.
 - [7] 陈健,周利莉,史红刚,等.一种基于 Haar 小波变换的彩色图像人脸检测方法[J].微计算机信息,2007,21(10):157-159.
 - [8] 刘莎,蔡灿辉,林志峰.一种基于肤色检测的人眼快速定位方法[J].计算机应用与软件,2009,26(10):209-221.
 - [9] CELIK T, ÖZKARAMAN H, DEMIRE H. Fire and smoke detection without sensors; image processing based approach [C]//Proc of the 15th European Signal Processing Conference. 2007:1794-1798.
 - [10] CHAKRABORTY I, PAUL T K. A hybrid clustering algorithm for fire detection in video and analysis with color based thresholding method [C]//Proc of International Conference on Advances in Computer Engineering. 2010:277-280.
 - [11] 周钱生,戴麟.快速查表法优化视频解码中 YCbCr 到 RGB 的转换[J].现代电子技术,2007(15):167-169.
 - [12] 冯永超,罗敏,贺贵明.一种快速 YUV-RGB 彩色空间变换方法[J].微型机与应用,2002(7):59-60.
 - [13] 刘云艮,王树东.基于 SSE2 的 YUV 与 RGB 色彩空间转换[J].中国图象图形学报,2010,15(1):45-49.
 - [14] YANG Yang, PENG Yu-hua, LIU Zhao-guang. A fast algorithm for YCbCr to RGB Conversion [J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 2007, 53(4):1490-1493.
 - [15] ITU-R Recommendation BT. 601-6, Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios [S]. 1995.
 - [16] WANG S J, JENG D L, TSAI M T. Early fire detection method in video for vessels [J]. *Journal of Systems and Software*, 2009, 82(4):656-667.
 - [17] POYNTON C A. Digital video and HDTV: algorithms and interfaces [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2003.