

一种新的适用于彩色图像处理的 彩色空间变换方法

郁道银 张 宏 李云青 王文隽

(天津大学精密仪器系, 天津 300072)

摘 要 从人眼的视觉特性角度出发, 在 CIE 国际颜色标准系统和孟塞尔系统基础上, 提出了一种适用于彩色图像处理的色空间转换模式, 并利用此方法对医用胃镜输出的图像进行了不破坏色调前提下的图像增强处理, 明显地提高了彩色图像的细节分辨, 实践证明该方法不失为一种具有实用意义的彩色空间变换及图像处理方法。

关键词 视觉特性, 彩色图像, 色空间变换, 均匀颜色空间。

1 引 言

彩色图像的大量出现以及人们对彩色图像的成像质量和分辨率提出越来越高的要求, 需要寻找一些新的方法来研究和处理这些图像。与灰度(单色)图像相比较, 彩色图像所特有的特征是其色彩部分, 如果对彩色图像的亮度(灰度)分量和色彩分量分别进行描述, 则不仅可以从图像中获取更多的有用信息, 而且还可以充分利用目前已发展趋于成熟的灰度图像处理技术。彩色图像的色空间变换是实现这一目的的常用方法, 即把彩色图像(通常是以 $R-G-B$ 形式描述)变换到一定的表色体系中, 从而分别描述其亮度和颜色成分, 并在此基础上进行分析和处理, 目前已提出了多种表色方法, 其中常用的是 Strickland 等提出的 $L-H-S$ 空间^[1], Yachida 等人提出的 $r-\theta-s$ 空间^[2]等, 这些变换空间的目的是将彩色图像变换到亮度 (L)—色调(H)—饱和度(S)空间。但是这些变换都是在 $R-G-B$ 的直角坐标空间中通过几何分析而得到的, 不仅变换公式较为复杂, 有些甚至不能进行反变换; 此外, 由于人眼视觉的复杂非线性颜色感觉, 使得上述方法在实际的彩色图像处理中较难实现, 因此本文从人眼的视觉特性角度出发, 提出了一种既实用, 又易于实现的色空间变换方法, 并以此色空间变换方法为基础, 对医用胃镜输出的图像进行了亮度分量和彩色分量的处理, 在不破坏原图像色平衡的前提下, 提高了原图像的细节分辨, 有利于内窥镜图像的病变诊断。

2 问题的提出

大量的研究表明^[3], 人眼对颜色的主观感觉可分为亮度, 色调和饱和度。这三者的理想化模型如图 1 所示, 这是一个枣形的颜色立体, 沿轴线的坐标代表其亮度, 在不同的垂轴平

面上的位置代表颜色，即以离轴距离表示饱和度，以不同的圆周方位代表色调。这只是一理想化的颜色模型，真正体现这一思想并且广泛使用的实用表色体系是孟塞尔颜色立体(如图 2)，在孟塞尔颜色立体中，两种颜色在垂轴方向上的角距离代表其色调差，若色调差相同，

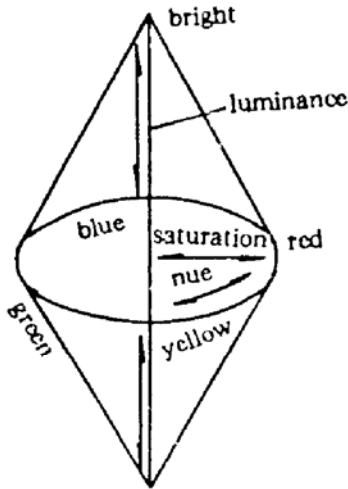


Fig. 1 The model of color space

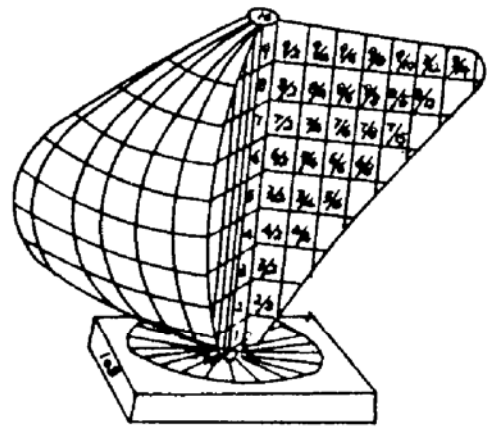


Fig. 2 The model of Munsell color space

其角位移也相同，而沿轴距离是代表其亮度，在等亮度平面上相对中心的距离代表其饱和度。由此可见，孟塞尔系统是比较理想的表色体系，如果能将彩色图像用孟塞尔坐标来表示，将使图像分析和处理变得简单，而又有明确的物理意义。遗憾的是，孟塞尔系统本身只是一套实验数据表和一套标准比色卡^[4]，这与实际的电视系统图像很难建立相应的关系，为了满足实用要求，必须寻找一种解析方法来描述这一系统。利用孟塞尔系统来分析和比较各种表色方法，结果表明，在 CIE 表色方法中，CIE1976 均匀颜色空间 ($L^* u^* v^*$) 和 CIE1976 均匀颜色空间 ($L^* a^* b^*$) 的等色调线与等饱和度线，如图 3，图 4 所示，是在平面上所能够实现，也是最接近线性的变换，其中 $a^* b^*$ 图在总体上虽略优于 $u^* v^*$ 图，但在色调上， $u^* v^*$ 图要优于 $a^* b^*$ 图，而 $u^* v^*$ 坐标与 R-G-B 座标的变换较 $a^* b^*$ 坐标简单，这是在彩色图像处理中更为重要的问题，因此 $u^* v^*$ 坐标是较为理想的孟塞尔系统的解析化基础。

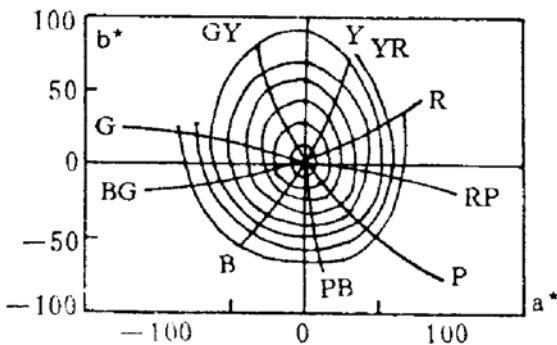


Fig. 3 The traces of equal hue and equal color saturation in $a^* - b^*$ system

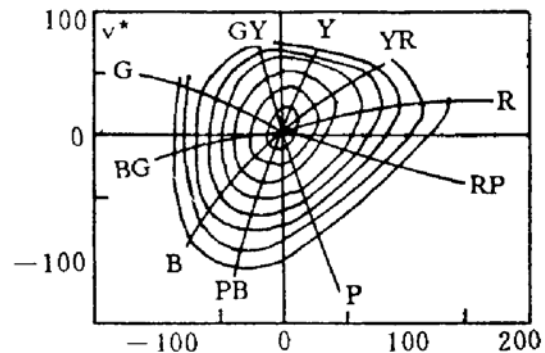


Fig. 4 The traces of equal hue and equal color saturation in $u^* - v^*$ system

3 彩色空间的变换

首先，在 $L^* u^* v^*$ 基础上建立亮度 (L)- 色调 (H)- 饱和度 (S)- 空间，其中 L^* 为主视亮度 (明度)，而对于图像的亮度描述则应为 Y ，即：

$$L = Y, \quad H = \tan^{-1}(v^*/u^*), \quad S = (u^{*2} + v^{*2})^{1/2}, \quad (1)$$

式中 u^*, v^* 为：

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16, & u^* &= 13L^*(U' - U_0), & v^* &= 13L^*(V' - V_0), \\ \text{而 } U' &= \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}, & V' &= \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}, \\ U_0 &= \frac{4X_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0}, & V_0 &= \frac{9Y_0}{X_0 + 15Y_0 + 3Z_0}, \end{aligned} \right\} (2)$$

其中 V_0, U_0 为光源的色坐标。由(1)(2)可整理得:

$$L = Y, \quad H = \tan^{-1}\left(\frac{V' - V_0}{U' - U_0}\right), \quad S = 13L^*[(U' - U_0)^2 + (V' - V_0)^2]^{1/2}, \quad (3)$$

式中 U', V', U_0, V_0 与公式(2)相同。

考虑到目前绝大部分彩色图像均以 $R-G-B$ 形式存贮, 而根据我国采用的 PAL 制式电视系统的三原色, 得到:^[5]

$$\begin{aligned} X &= 0.430R + 0.342G + 0.178B, & Y &= 0.222R + 0.707G + 0.071B, \\ Z &= 0.020R + 0.130G + 0.939B \end{aligned} \quad (4)$$

可见, 通过(2), (3), (4)可方便地将 $R-G-B$ 图像转换为 $L-H-S$ 图像和进行逆变换。在实际的转换中, 要考虑到实际的实验设备与条件, 对于通用的彩色图像处理设备, 其彩色监视器在出厂时已被 D_{65} 校正过, 而对于图像处理板, 也已经在出售时校正了电平(必要时可自行校正), 同时, 其 R, G, B 三分量的范围限制在 $0 \sim 255$, 所以当 $R = G = B$ 时为白色(光源色), 则得到 $Y_0 = L_0 = 255, V_0 = 0.4683, U_0 = 0.1977$, 由这些已知值, 再经过(2), (3), (4)式便可以进行实际坐标的正逆变换。在逆变换时, 要考虑到 Y, u^*, v^* 三分量的范围, 以防止在逆变换后得到的 R, G, B 三分量超出 $0 \sim 255$ 范围, 产生赭色。

4 基于 $L-H-S$ 的图像处理实验

彩色图像变换到 $L-H-S$ 坐标空间后, 将使彩色图像的处理更加方便和有效。例如, 对彩色图像的 L (亮度)分量进行处理, 可以充分利用已有的灰度图像处理技术, 在不改变彩色图像的 H 与 S 分量, 即不改变彩色图像的原色特征情况下, 可改变其彩色图像的成像质量。当然, 对彩色图像的 H 和 S 分量, 同样也可以进行适当的处理, 以便更进一步来提高图像的质量, 但对 H (色调)分量, 在进行图像增强处理后, 对图像质量没有明显的作用, 且人们不太容易接受色调改变了的彩色图像, 但色调处理在颜色分割、识别等方面具有广泛用途。对 S (饱和度)分量, 由于其代表颜色的纯度, 人眼视觉对饱和度的变化不甚敏感, 为了弥补这一缺陷, 作者采用类似亮度的处理方法, 对 S 分量进行了线性拉伸的增强处理, 其目的是企图突出彩色图像的细微结构。下面给出了一个利用上述色空间变换方法, 对医用胃镜输出的彩色图像进行 L (亮度)增强和 S (饱和度)线性拉伸处理的实验例子, 图 5(a)为处理前的原图像, 图 5(b)为处理后的图像。图 6 是对图像的同一半部处理前后的对比图像, 右半部为处理前的原图像, 左半部为对其进行增强处理后的镜像图像。

比较处理前后的图像, 可以看出在原图像中, 由于胃部图像的色调在很大面积上趋于红色, 观察者不易区别胃壁上的血管细微差别。通过亮度和饱和度增强处理后的图像, 不仅在亮度对比上更加明显, 而且在色调相同的部位, 由于其颜色饱和度差别被放大, 胃壁上的血管细微差别比较清晰, 将会对医学诊断提供有益的帮助。

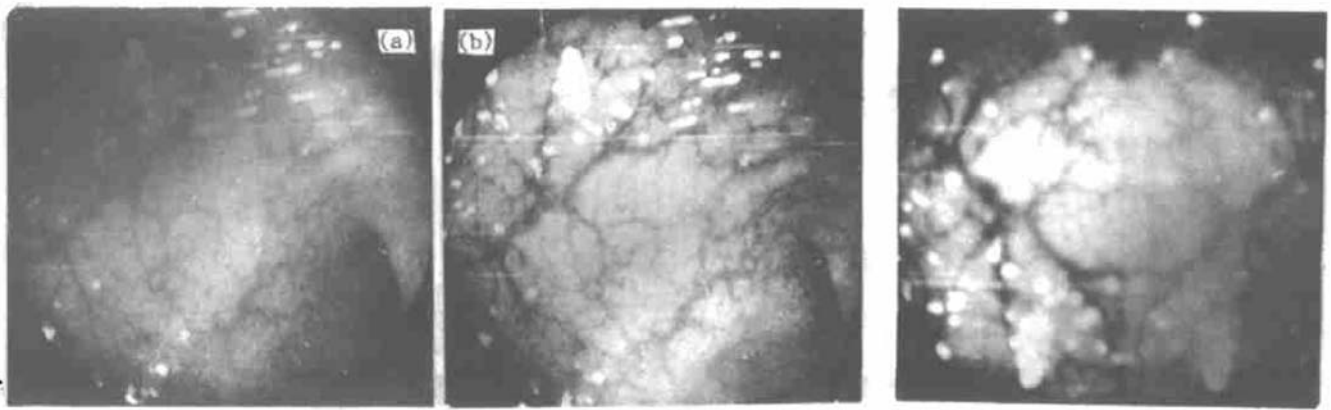


Fig. 5 (a) The original color image, (b) The processed color image

Fig. 6 The contrast image

结 论 从 $R-G-B$ 转变到 $L-H-S$ 颜色空间, 为彩色图像的彩色不失真处理提供了一种较为适用的数学表达方法, 本文在此变换基础上对彩色图像进行了初步的处理实验, 获得了预定的处理结果, 验证了该方法的可行性, 有关利用该方法对彩色图像进一步的处理, 特别是针对亮度之外彩色信号的处理, 以提高彩色图像的质量, 有待于更深入地研究和探讨。

参 考 文 献

- [1] Robin. N. Strickland, Digital color image enhancement based on the saturation component. *Opt. Engng.*, 1987, 26(7): 610~613
- [2] M. Yachida, One approach for color image processing ICASSP 86. Tokyo, 1781
- [3] 東越新, 颜色光学基础理论. 山东科学技术出版社, 1981: 304~306
- [4] 汤顺青, 色度学. 北京理工大学出版社, 1990: 124~125
- [5] 荆其诚等, 色度学. 北京, 科学出版社, 1979: 285

A New Color Space Transform Method Suited to Color Image Processing

Yu Daoyin Zhang Hong Li Yunqing Wang Wenjun

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

(Received 5 February 1994; revised 9 June 1994)

Abstract In consistent with the human visual characteristic, a new transform method of color space is presented on the basis of CIE international color standard system and Munsell color system. This method is suitable for color image enhancement processing and greatly increases the detail resolution of gastroscope color image without destroying the color balance. It has been proven to be a high practical color space transformation and color image processing method.

Key words visual characteristic, color image, color space transformation, uniform color space.