

非接触式心率检测方法的颜色空间选择

曹剑剑 冯 军 汤文明 余 瑛

(江西中医药大学 南昌 330004)

摘 要 采用非接触式方法进行人体心率检测,较传统接触式的测量方法更加便捷舒适。基于图像光学容积(iPPG)的非接触式心率测量方法,简要分析该方法的实现流程及颜色空间产生测量误差的机理,设计实验来对比不同颜色空间的测量误差,一方面证明了在非接触式心率测量过程中进行颜色空间选取的必要性,另一方面获得了可用以提高心率测量精度的最优颜色空间。实验结果表明,与同一时刻采用心电图测量仪(ECG)得到的心率相比,采用RGB颜色空间进行心率测量的误差最小,实验的平均误差达到1.68 bpm。因此,在非接触式心率测量中选择RGB颜色空间可以达到更高的精度。

关键词 颜色空间,非接触,心率,图像容积

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Color Space Selection of Non-contact Heart Rate Measurement

CAO Jian-jian FENG Jun TANG Wen-ming YU Ying

(Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China)

Abstract Compared with the traditional contact measurement method, the non-contact method for heart rate detection is more convenient and comfortable. Based on the non-contact heart rate measurement method of image-photoplethysmography (iPPG), this paper briefly analyzed the mechanism of this method and the measurement error of color space. The experiment compares the measurement error according to the different color space, which proves the necessity of selecting the color space during the non-contact heart rate measurement. On the other hand, optimal color space can be used to improve the accuracy of heart rate measurement accuracy of the color space. The experimental results show that the heart rate measurement with RGB color space has the smallest error compared with the heart rate obtained by electrocardiograph (ECG) at the same time. The average error of experiment is 1.68 bpm. Thus, choosing RGB color in non-contact heart rate measurement space can get higher accuracy.

Keywords Color space, Non-contact, Heart rate, Image-photo plethysmography

1 引言

人体静息心率作为一项重要的生命体征,是评价心血管功能的重要指标之一^[1]。相关研究表明,心血管疾病与静息心率的快慢有着很大关系^[2],因此心率检测对心血管疾病的监视与预防显得尤为重要。目前,心率检测的方法按照是否与人体接触分为接触式和非接触式两种。接触式的检测方法有心电信号(ECG)检测技术、光电容积描记技术^[3-4]等,非接触心率测量主要有超声波检测方法^[5]与iPPG技术^[6-7]。

本文基于图像光学容积(iPPG)的非接触式心率测量方法,即先采集一段人脸视频,利用计算机图像处理和信号处理的方法感知视频中人脸部位颜色的细微变化,然后提取像素均值信息并对其进行分析从而得到人体心率信号。在对人脸视频进行数据分析的过程中,颜色空间的选取对测量结果有着很大的影响。在不同颜色空间中,颜色和像素强度信息以程度不等的形式被混合在一起,因此在非接触式心率测量方法中利用颜色空间获取心率信号是重要的手段之一,但目前对标准颜色空间的选取并未统一。万铮结在研究影响心率检

测精度的因素时考虑了不同颜色空间的因素,否认了Vam Kampen等人对RGB空间的选取,并通过设计相关实验得到了YCbCr精度高于HSI和RGB颜色空间的结论。与之类似,赵飞帆^[8]在基于人脸视频测量脉搏方法的研究中采用的是RGB颜色空间,并介绍了其他几个主要的颜色空间,但未设计相关实验来进行详细分析。因此,如何选择合适的颜色空间进行后续结果的分析是一个实现非接触式心率测量的关键问题。基于此,本文将考虑主要的几个颜色空间,并设计实验进行数据分析以得到最优颜色空间。

2 颜色空间介绍

颜色一般可以用3个相对独立的属性来进行描述,3个独立变量综合作用从而构成一个空间坐标,即颜色空间。因此,从不同角度用3个不同的属性对颜色加以描述就产生了不同的颜色空间。本文讨论以下几种主要的颜色空间。

2.1 RGB颜色空间

RGB颜色空间是根据人眼识别的颜色而定义的颜色空间,分别以R,G,B 3个参数来描述颜色特性,其可用于表示

本文受江西中医药大学校级课题(2014jzdxk021,2014jzyb-3,2016jzyg-06)资助。

曹剑剑(1996—),男,主要研究方向为生物医学工程,E-mail:1036704467@qq.com;冯 军(1995—),男,主要研究方向为生物医学工程;汤文明(1995—),男,主要研究方向为生物医学工程;余 瑛 男,博士,E-mail:59920079@qq.com(通信作者)。

大部分颜色。其模型中的 RGB 分别代表红(R)、绿(G)、蓝(B) 3 种光原色。这些分量又称为 3 个颜色通道,分别反映了颜色在该通道上的亮度值。当 R,G,B 3 个分量的值都为 0 (即坐标为(0,0,0))时表示黑色,其值都为 255(即坐标(255,255,255))时表示白色。其模型如图 1 所示。

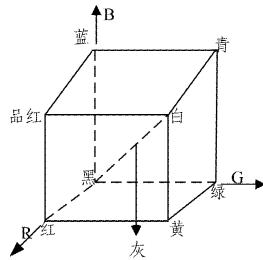


图 1 RGB 颜色空间模型

2.2 HSI 颜色空间

HSI 颜色空间一般采用 H, S, I 3 个参数来描述颜色特性,其中 H 表示颜色的波长,又称为色调; S 表示颜色的深浅程度,又称为饱和度; I 表示亮度或强度。可以采用一个双六圆锥来描述 HSI 颜色空间模型,如图 2 所示。

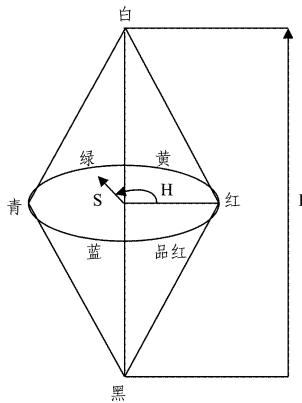


图 2 HSI 颜色空间模型

在 HSI 颜色空间模型中, I 表示强度轴,色调 H 的取值范围为 $0 \sim 360^\circ$,不同的 H 取值表示不同的颜色。例如,当 H 为 0° 时表示红色, H 为 120° 时表示绿色, H 为 240° 时表示蓝色;关于饱和度 S ,通常用 0 到 1 表示颜色总白色含量的深浅,例如 S 为 1 表示颜色中不含白色;关于亮度 I ,一般以 0 到 1 表示颜色的明亮程度,例如 I 值为 0 表示黑色, I 值为 1 时表示白色。因为人们通常习惯用色调、饱和度和亮度来描述物体的颜色,所以 HSI 表示颜色的方式和人眼感知颜色的方式紧密相联^[9]。最后,由 RGB 到 HSI 颜色空间的转换关系式如下:

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)((G-B))]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (2)$$

$$I = \frac{1}{3} (R+G+B) \quad (3)$$

2.3 YCbCr 颜色空间

YCbCr 颜色空间采用 Y, Cb, Cr 3 个参数来描述颜色特性,其中 Y 表示亮度分量,即灰阶值; Cb 代表蓝色分量,反映了 RGB 输入信号中蓝色部分与信号亮度值之间的差异大小; Cr 表示红色分量,反映了 RGB 输入信号红色部分与信号亮

度值之间的差异大小。YCbCr 颜色空间的应用比较广泛,其通常用于数字摄影系统或影像的连续处理。

可以通过下列式子对 RGB 颜色空间进行转换来得到 YCbCr 颜色空间:

$$Y = 0.257 * R + 0.564 * G + 0.098 * B + 16 \quad (4)$$

$$Cb = -0.148 * R - 0.291 * G + 0.439 * B + 128 \quad (5)$$

$$Cr = 0.439 * R - 0.368 * G - 0.071 * B + 128 \quad (6)$$

2.4 YIQ 颜色空间

YIQ 颜色空间采用 Y, I, Q 3 个参数来描述颜色特性,其中 Y 分量代表亮度,反映了图像的亮度信息; I 分量反映了颜色从橙色到青色的变化; Q 分量则反映了颜色从紫色到黄绿色的变化。与其他颜色空间相比,YIQ 颜色空间具有聚类特性较好、与 RGB 颜色空间转换的计算量小,以及能将图像中的亮度分量分离提取出来的优点,并且该颜色空间可以适应光照强度不断变化的场合,因此在彩色图像处理中具有很好的适用性。

可以通过下列式子对 RGB 颜色空间进行转换来得到 YIQ 颜色空间:

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (7)$$

$$I = 0.596 * R - 0.274 * G - 0.322 * B \quad (8)$$

$$Q = 0.211 * R - 0.523 * G + 0.312 * B \quad (9)$$

3 实验数据与结果

为了通过实验数据分析得到最优颜色空间,本文基于以 iPPG 为原理设计的非接触式心率测量系统,考虑光源强度和不同时间段参数的影响,在同一天临近时间段光照强度约 1000 lux 条件下对 20 个被测者进行了心率测量。实验首先对每个被测者拍摄一段静息状态下长约 1min 的人脸视频,拍摄过程中同时记录利用 ECG 得到的 20 个心率值(大约隔 3s 记录一个 ECG 显示的心率值),从而得到 20 个被测者的人脸视频与数据,然后分别选择不同颜色空间并选择相应颜色通道进行数据分析,并每隔约 3s 记录当前颜色空间下的测量心率值。

3.1 心率测量的实现过程

步骤 1 获取一段被测者在静坐状态下的人脸视频,时长约 1min。该视频既可以来自于本地文件,也可以通过使用摄像头进行实时拍摄而得到并分析。本文采取的是第一种,即先用 CMOS 罗技 C52 摄像头拍摄一段人脸视频并存储,再进行心率分析。

步骤 2 对获取的视频进行人脸检测与脸部追踪。

步骤 3 提取人脸视频中每帧图像的感兴趣区域(ROI),再进行后续处理。

步骤 4 读取每帧 ROI 图像,然后对其进行通道分离,这样就得到 3 个通道的颜色分量,即颜色空间的 3 个参数。将这 3 个分量保存在一个三维矩阵中,矩阵中保存的是这 3 个分量的像素值。

步骤 5 对 3 个通道分量分别取像素均值,这样就得到了 3 个通道信号的时域序列。选择包含最强心率信号的通道,进行带通滤波、FFT 变换与归一化处理。

步骤 6 找到处理后的频域图中幅值最高点对应的频率 f ,心率即为 $f * 60$ 。

3.2 颜色通道的选择

为正确地选择颜色通道以进行心率的分析,本节以 3 号

被测者为例,将该被测者的人脸视频输入至 MATLAB 进行处理,分别对 RGB,HIS,YCbCr 和 YIQ 颜色空间进行三通

分离,并分别从 3 个子信号序列中提取心率信号,如图 3—图 6 所示。

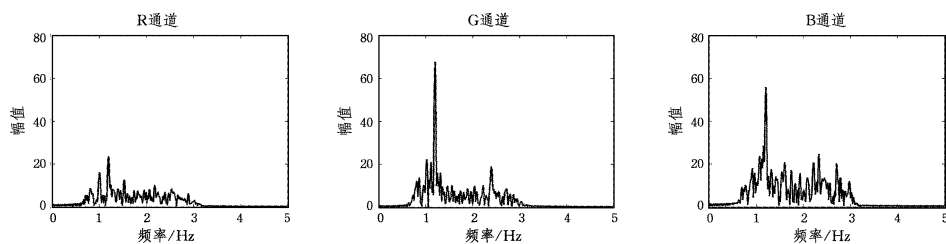


图 3 3 号被测者在 RGB 颜色空间的三通道信号

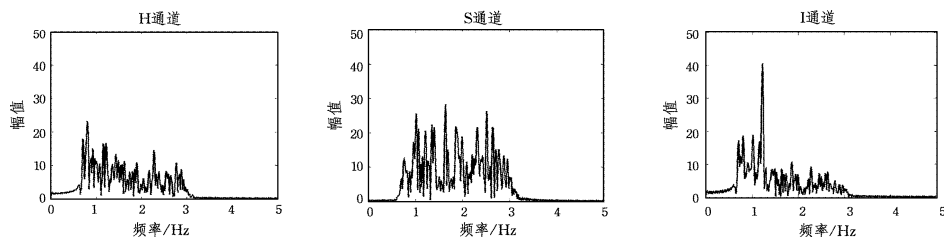


图 4 3 号被测者在 HIS 颜色空间的三通道信号

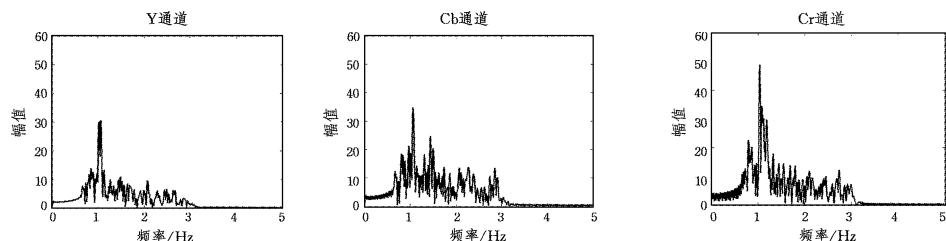


图 5 3 号被测者在 YCbCr 颜色空间的三通道信号

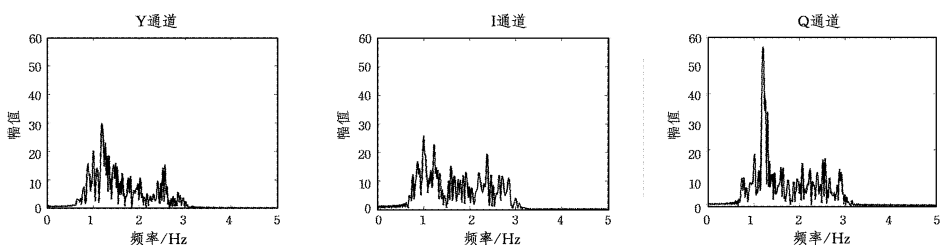


图 6 3 号被测者在 YIQ 颜色空间的三通道信号

基于选择包含最强心率信号的通道这一前提,本文在 RGB,HSI,YCbCr 和 YIQ 颜色空间分别选择 G,I,Cr 与 Q 通道来进行心率分析。

3.3 实验数据

随机抽取两个实验样本,被测者的心率数据分别如表 1、表 2 所列。

表 1 3 号被测者的心率数据表/bpm

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
通道																				
ECG	70	73	70	72	73	70	70	71	77	69	71	70	72	73	71	71	71	72	72	72
RGB	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	71	72	72	75	73
YCbCr	71	75	71	75	75	73	72	73	80	72	73	71	71	74	71	71	69	71	74	73
YIQ	71	75	73	70	72	67	68	70	79	68	73	72	72	74	74	74	72	68	70	72
HSI	69	73	76	65	76	73	71	72	79	69	72	72	73	75	73	74	70	73	73	72

表 2 16 号被测者的心率数据表/bpm

组别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
通道																				
ECG	69	70	71	70	70	70	70	66	69	70	70	70	71	70	72	71	71	69	70	70
RGB	67	71	71	70	72	71	71	70	69	70	70	71	70	71	72	70	70	69	70	70
YCbCr	70	72	72	73	72	73	72	68	72	73	71	72	70	71	73	72	71	68	69	71
YIQ	70	72	74	68	69	67	68	65	71	69	72	72	71	68	70	72	73	67	68	71
HSI	68	70	77	63	73	73	71	67	71	70	68	72	73	71	70	69	70	69	71	72

- [7] KANG W, HAN Y. SmartPDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization[J]. IEEE Sensors Journal, 2015, 15(5): 2906-2916.
- [8] PARK M C, CHIRAKKAL V V, HAN D S. Robust pedestrian dead reckoning for indoor positioning using smartphone[C]// International Conference on Consumer Electronics (ICCE). IEEE, 2015: 80-81.
- [9] 赵逢达, 闫亭亭, 孔令富. 一种基于粒子滤波的智能移动终端室内行人定位算法[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(8): 1842-1847.
- [10] MURAKAMI Y, OHTSUKI T. Localization calibration using illuminance sensor for pedestrian dead reckoning with smartphones[C]// 2014 IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC). IEEE, 2014: 2034-2039.
- [11] HUANG C, HE S, JIANG Z, et al. Indoor positioning system based on improved PDR and magnetic calibration using smartphone[C]// IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication. IEEE, 2014: 2099-2103.
- [12] QIU J W, TSENG Y C. M2M Encountering: Collaborative Localization via Instant Inter-Particle Filter Data Fusion[J]. IEEE Sensors Journal, 2016, 16(14): 5715-5724.
- [13] AKIYAMA T, OHASHI H, SATO A, et al. Pedestrian Dead Reckoning using adaptive particle filter to human moving mode [C]// International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. IEEE, 2013: 1-7.
- [14] 李红春, 赵晓光, 谭民. 无线传感器网络中基于粒子滤波的人员跟踪方法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(6): 807-814.

(上接第 262 页)

3.4 数据分析

本文对采集的所有数据进行了平均误差分析, 在不同颜色空间情况下的误差分析结果如图 7 所示。

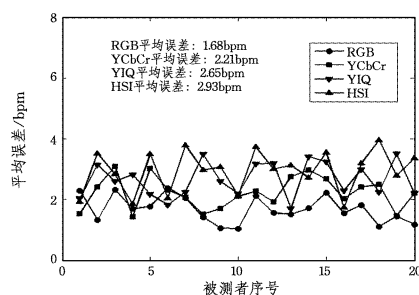


图 7 不同颜色空间的平均误差

从图 7 可以看出, 基于非接触式的心率测量方法通过采用 RGB 颜色空间可以在一定程度上提高心率测量的准确度, 同传统 ECG 测出的结果相比, 其测量平均误差达到了 1.68bpm。

结束语 人体脸部皮肤表层覆盖着丰富的血管, 由于血液对自然光源有一定的吸收能力, 当心脏周期性泵血时, 人体皮肤表面的颜色会发生周期性的细微变化, 即颜色能反映心率信息。而不同颜色空间中, 颜色和像素强度信息以程度不同的形式被混合在一起, 使得通过像素强度信息得到心率成为了可能。

因此, 在非接触式心率测量中选择一个合适的颜色空间具有一定的必要性, 但业界对标准颜色空间的选择并无统一标准。本文针对该问题, 简要分析了非接触式心率测量方法的实现流程, 设计实验来对比不同颜色空间下的测量误差, 一方面证明了进行非接触式心率测量过程中颜色空间选取的必要性, 另一方面得到了可用以提高心率测量精度的最优颜色

空间。实验结果表明, 与同一时刻采用心电图测量仪 (ECG) 得到的心率相比, 采用 RGB 颜色空间进行心率测量的误差最小, 实验的平均误差达到了 1.68bpm, 其他的颜色空间 YCbCr, YIQ 和 HSI 的平均误差分别为 2.21bpm, 2.65bpm 和 2.93bpm。因此, 在进行非接触式心率测量中选取 RGB 颜色空间可以达到更高的精度。

参考文献

- [1] 万铮结. 基于人脸视频图像的心率检测研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2014.
- [2] 李有信, 王燕慧, 张灏. 静息心率增快的研究现状[J]. 国际心血管病杂志, 2013, 40(5): 309-311.
- [3] DZIEDZIC K, VIDYASAGAR D. Pulse oximetry in neonatal intensive care[J]. Clinics in Perinatology, 1989, 16(1): 177-197.
- [4] 石萍, 喻洪流. 光电容积描记技术原理及其应用[J]. 生物医学工程杂志, 2013(4): 899-904.
- [5] 陈宇杰, 王健琪, 路国华. 非接触式生命信息检测技术的综述[J]. 医疗卫生装备, 2006, 27(3): 32-33.
- [6] ZHENG J, HU S, CHOULIARAS V, et al. Feasibility of Imaging Photoplethysmography[C]// International Conference on Biomedical Engineering and Informatics. IEEE, 2008: 72-75.
- [7] SCULLY C G, LEE J, MEYER J, et al. Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone[J]. IEEE Transactions on Bio-medical Engineering, 2012, 59(2): 303-306.
- [8] 赵飞帆. 基于人脸视频测量脉搏方法的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [9] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing (2nd ed) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.