

# 基于颜色聚合向量的线序检测方法

吴宗胜<sup>1</sup>, 薛茹<sup>2</sup>

(1. 咸阳师范学院 计算机学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 西藏民族大学 信息工程学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:** 颜色聚合向量方法被采用于检测各种连接线的线序; 首先对采集到的线束图像进行中值滤波, 消除部分噪声; 然后截取检测线束的检测区域图像并将其二值化; 接下来分割各根导线, 得到每根导线的轮廓, 再根据各轮廓位置获取原图像中对应各导线的图像块, 并计算各根导线图像块的颜色聚合向量 (color coherence vector, CCV) 特征; 最后利用欧氏距离将各导线的归一化的 CCV 颜色特征和模板各导线的颜色特征进行比较。实验结果表明, 该方法在线序检测中能获得较高的准确率 (97.8%) 和速度 (15 fps), 满足实时检测要求。

**关键词:** 线序检测; 颜色聚合向量; 特征提取

## A Line Order Detected Method Based on Color Coherence Vector

Wu Zongsheng<sup>1</sup>, Xue Ru<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China;

2. School of Information Engineering, Xizang Minzu University, Xianyang 712000, China)

**Abstract:** The color coherence vector method is used to detect the line order of various connection lines. Firstly, the collected image of the wire harness is filtered by median filter to eliminate the noise. Then, the image of the detection area of the wire harness is cropped and binarized. After that, each wire is segmented to get their contours. According to the position of each wire, the corresponding image blocks of each wire in the original image are extracted, and whose color coherence vector (CCV) features are calculated. Finally, the normalized CCV features of each detected wire and the features of each wire in the template are compared by using Euclidean distance. The experimental results show that the proposed method can achieve high accuracy (97.8%) and speed (15fps) in the line order detection, and meets the real-time detection requirements.

**Keywords:** line order detection; color coherence vector (CCV); feature extraction

## 0 引言

随着电子制造业的飞速发展, 越来越多的电子设备需要各种连接线 (带插头), 比如接插线、通讯连接线、电脑连接线、汽车连接线、屏蔽线等。这些连接线内部是由各种颜色的散线按一定顺序排列组成, 每种用途的线由不同颜色的散线按不同的顺序排列。比如 A 类网线 (双绞线) 的线序为: 白绿、绿、白橙、蓝、白蓝、橙、白棕、棕。由于生产过程不可预知因素, 生产出来的线束颜色排序可能发生了变化, 那么不符合颜色排序规则的就是不合格产品。因此在实际中就需要将这些不合格产品剔除出去, 不能在市场上售卖。目前大多靠人眼判别的方法进行产品检验, 而在线序检测中, 并排的导线往往较细, 个别线之间的颜色有时也会较相似, 长时间专注的检测极易引起视觉疲劳, 会导致漏错和检错, 从而也会降低企业的生产效率

和产品质量。随着信息化、工业化、自动化的发展, 用机器视觉代替人工视觉进行线序检测越来越受到关注。

各种连接线的线束一般是按不同的颜色排列的, 因此颜色特征是最明显的特征。颜色特征是一种全局特征, 与其他的视觉特征相比, 颜色特征对检测对象的尺寸、方向、视角依赖性较小, 能较好表征线束表面的特征。使用颜色特征识别不同的导线, 是线序检测中常用的一种有效方法。常用的颜色特征提取方法有颜色直方图、颜色集、颜色矩、颜色聚合向量、颜色相关图等, 其中直方图是最常用方法<sup>[1]</sup>, 它不受图像旋转和平移变化的影响, 归一化直方图方法<sup>[2]</sup>则不受图像尺度变化的影响, 但是直方图方法不能表达颜色空间信息, 它适用于比较难分割的图像, 不适用于线序检测。而二维直方图则常用于图像分割<sup>[3]</sup>。颜色集方法<sup>[4]</sup>将图像从 RGB 空间转化到视觉均衡的颜色空间中, 并对颜色空间量化成 bins; 再将图像划分成区域, 用量化颜色空间的 bin 索引每个区域, 整幅图像就可以用一个颜色索引集表示。图像匹配时只需比较颜色集距离和区域空间关系即可。颜色矩<sup>[5]</sup>能避免颜色量化对颜色特征的影响, 是图像检索中常用的方法, 能有效体现图像中颜色的分布状况, 有一阶矩、二阶矩和三阶矩等; 颜色矩包括 3 个颜色分量及每个分量上的 3 个低阶矩, 共 9 个分量。相比之下颜色矩表达比较简洁, 不需量化, 向量维数低, 但是其检索效率不高。直方图和颜色矩方法都无法表达图像色彩的

收稿日期: 2018-12-22; 修回日期: 2019-01-08。

基金项目: 陕西省科技厅自然科学基金面上项目 (2017JM6086), 咸阳师范学院专项科研项目 (XSYK18012), 陕西省教育科学“十三五”规划项目 (SGH18H373)。

作者简介: 吴宗胜 (1974-), 男, 广西藤县人, 博士, 讲师, 主要从事机器人识别方向的研究。

薛茹 (1974-), 女, 陕西长安人, 教授, 主要从事数字图像处理方向的研究。

空间位置, 因此提出使用颜色聚合向量方法, 它是对直方图方法的一种改进<sup>[6]</sup>, 常被应用于图像检索<sup>[7-8]</sup>。颜色聚合向量法用阈值将直方图中的每个 bin 分为两部分, 如果 bin 内的像素所占连续连通区域的面积大于阈值, 则这些像素作为聚合像素, 否则为非聚合像素。若  $\alpha_i, \beta_i$  分别表示直方图中第  $i$  个 bin 中聚合像素和非聚合像素的个数, 那么图像的颜色聚合向量为  $\langle (\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_n, \beta_n) \rangle$ , 颜色直方图为  $\langle \alpha_1 + \beta_1, \alpha_2 + \beta_2, \dots, \alpha_n + \beta_n \rangle$ ; 由此可以看到颜色聚合向量包含了图像颜色分布的空间信息, 在图像检索中效果较好。颜色相关图方法不但能体现图像中某种颜色的像素占整个图像像素的比例, 还能体现颜色对的空间相关性; 但是在处理任何颜色之间的相关性的图像时, 其生成的颜色相关图会变得很复杂, 时间复杂度较高。

在利用颜色特征对线序进行检测时, 考虑到算法检测结果的准确度和算法的时间复杂度问题, 本文采用了颜色聚合向量方法进行线序检测。首先描述了对线束图像进行预处理、颜色空间转换与 CCV 颜色特征提取的方法, 然后给出特征匹配方法, 接着描述了线序检测的过程步骤, 最后使用该方法进行实验并分析实验结果。

## 1 颜色特征提取

### 1.1 图像预处理

由于在拍摄线束的图像中会包含着一些颜色噪声, 这些噪声在一定程度上会影响检测精度, 因此有必要除去这样的噪声。欲有效地消除噪声, 则需要采用适合的滤波方法。在本类检测场景中采用中值滤波消除噪声是较好的方法。图像的中值滤波是把图像中局部区域中各个点的像素值按大小顺序排列, 然后将其中间值作为输出值。即在输入图像中用奇数值为边长的窗口滑动, 并把滑动窗口中的像素抽取出来按颜色值的大小顺序排列为一个一维序列  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , 再在该序列中取其序号为中心点的那个像素值作为滤波输出。可用以下公式 (1) 表示中值滤波:

$$y_{i,j}^c = \text{Med}_A \{f_{i,j}\} \quad (1)$$

其中,  $A$  为滑动窗口,  $f_{i,j}$  为二维图像的像素值,  $y_{i,j}^c$  为输出图像像素值,  $c$  为彩色图像的 RGB 通道。中值滤波的窗口形状和尺寸对滤波效果影响较大, 为了保持图像中有效的线束主颜色, 采用  $3 \times 3$  方形窗口。中值滤波是非线性的滤波, 比起其他滤波方法在很大程度上可防止边缘模糊。

### 1.2 颜色空间转换

色彩是人类视觉系统对光的反应和光与物体的相互作用的感知。它是光源、表面光谱反射率和传感器灵敏度 (即, 数字传感器或人眼锥体) 的产物。颜色特征检测是线序检测中最常用的方法。因为图像背景的复杂度及其图像大小和方向对图像的颜色影响不大。颜色特征提取的关键问题包括颜色空间、颜色量化和相似性函数的选择。图像的每个像素可以表示为 3D 颜色空间中的点, 如果描述一个图像的颜色特征, 必须首先确定使用的颜色空间。用数值来描述颜色空间的一般模型包括 RGB, CYMK, YCbCr,

HSV 等, 不同颜色空间的选取取决于实际的需求。本文在对线序进行检测时, 采用了 HSV 颜色空间。

常用的颜色空间是红绿蓝的 RGB 空间, 它由红色、绿色和蓝色 3 个原色色度定义, 并且可以产生由这些颜色定义的任何色度。由于 RGB 颜色空间是三维矢量空间, 并且每个像素由红色、绿色和蓝色的有序三元组 (R、G、B) 定义, 它们分别表示红色、绿色和蓝色光颜色的强度。HSV 颜色空间与 RGB 颜色空间有着本质的不同, 因为它从颜色信息中分离出了光强度。本文用 HSV 颜色空间代替 RGB 颜色空间, 主要有两个原因, 一是明度分量是图像的独立因素, 二是色调和饱和度的分量与人类视觉感知的模式紧密相连。HSV 颜色空间模型由 3 个部分组成: 色调  $H$ , 范围从  $0^\circ \sim 360^\circ$ , 起始于  $0^\circ$  的红色原色, 经过  $120^\circ$  的绿色原色和  $240^\circ$  的蓝色原色, 然后回到  $360^\circ$  的红色; 饱和度  $S$ , 范围从 0 到 100%, 有时被称为“纯度”值; 颜色亮度  $V$ , 范围从 0 到 100%。从 RGB 颜色空间转移到 HSV 颜色空间<sup>[9]</sup>的公式定义如式 (2), 公式中的  $R$ 、 $G$  和  $B$  为红绿蓝 3 种原色。

$$\begin{cases} H = \cos^{-1} \frac{(R-G) + (R-B)}{2 \sqrt{(R-G)^2 - (R-B)(G-B)}} \\ S = 1 - \frac{3}{R+G+B} (\min(R,G,B)) \\ V = \frac{1}{3}(R+G+B) \end{cases} \quad (2)$$

### 1.3 CCV 颜色特征提取

颜色聚合向量 (CCV) 是一种更复杂的颜色特征表达方法<sup>[10]</sup>, 它能包含图像颜色的分布空间信息, 避免了直方图方法提取颜色特征信息过程中不能体现图像色彩空间位置信息的缺点。一般情况下, 将像素属于一个颜色相似区域的程度定义为颜色相关性, 将这些颜色相似的区域称为相干区域, 它们对于表示图像非常重要。根据颜色相关性的度量将像素分为相干和不相干两类, 相干像素是邻接较大区域的一部分, 而非相干像素则是分散不相接的零碎区域。而颜色相关性向量就是表示图像中每个颜色的这种相干性程度。按照相关性把相关的像素分为聚合类像素 (coherence pixels), 把不相干的像素分为非聚合类像素 (incoherence pixels)。聚合类像素属于一个大的相邻接的连通区域, 非聚合类像素位于一个小的零散的连通区域。属于聚合类像素连通区域大小通过阈值给定, 通常取值为整幅图像像素数的 1%。如果连通区域中的像素数大于整幅图像像素数的 1%, 则该连通区域中的像素为聚合像素。

在对图像提取 CCV 特征时, 首先使用  $3 \times 3$  的模板对目标图像进行平滑滤波, 接着采用均匀量化方法把  $0 \sim 255$  的颜色区间量化为 32 个颜色区间, 即直方图的 32 个 bin, 然后划分相关性像素的连通区域, 每一个连通区域只有一个量化的灰度值, 最后计算颜色聚合向量 CCV 的值。图像的颜色聚合向量用式 (3) 表示, 而图像一般的颜色直方图则使用式 (4) 表示:

$$\text{CCV} = [(C_1, N_1), (C_2, N_2), \dots, (C_i, N_i), \dots, (C_n, N_n)] \quad (3)$$

$$HIST = [(C_1 + N_1), (C_2 + N_2), \dots, (C_i + N_i), \dots, (C_n + N_n)] \quad (4)$$

式中,  $i$  为每一个颜色区间的灰度级, 对应直方图的每一个 bin,  $C_i$  是聚合像素的个数, 即灰度值为  $i$  的所有大的连通区域像素之和,  $N_i$  是非聚合像素的个数, 即灰度值为  $i$  的所有零散的小连通区域像素之和。由式 (3) 可以看出, CCV 是一种更复杂的直方图, 由两个直方图组成, 一个为统计聚合像素的直方图, 一个为统计非聚合像素的直方图。

## 2 特征匹配

在获取线束模板图像 CCV 特征和检测中的线束图像 CCV 特征后, 需要对这连个特征进行相似度对比, 即特征匹配, 从而识别出检测中的线束颜色是否与模板颜色一致。在特征匹配之前, 需要对 CCV 特征进行归一化处理, 即每个 bin 的聚合像素数和非聚合像素数分别使用它们与图像总像素数的比值来替代。假设线束模板图像归一化后的 CCV 特征为  $CCV_T = \langle (C'_1, N'_1), (C'_2, N'_2), \dots, (C'_n, N'_n) \rangle$ , 检测中的线束图像归一化后的 CCV 特征为  $CCV_D = \langle (C_1, N_1), (C_2, N_2), \dots, (C_n, N_n) \rangle$ , 则使用欧氏距离比较两个特征图像的相似度。那么线束模板图像与检测图像的距离由下式 (5) 计算:

$$D = \sum_{i=1}^n \sqrt{|C'_i - C_i|^2 + |N'_i - N_i|^2}, n = 32 \quad (5)$$

式中, 两图像的距离  $D$  的值在一定的阈值范围内表示他们的颜色特征相似, 本文中使用的阈值范围为  $[0, 1.5]$ , 默认为 1.0。  $D$  的值越小, 说明两图像颜色特征越相似。

## 3 线序检测步骤

在开始检测种类线束时, 首先需要创建该种类线束的正确模板。把颜色顺序正确的线束放置在检测台上, 并先使用矩形方框标注设置线束端子区域 (头部区域) 和导线的检测区域, 接着与检测线束时一样先采集线束图像, 然后进行中值滤波, 再选择检测区图像并二值化后分割各根导线, 得到每根导线的区域、线宽和线数, 然后根据得到的各导线区域取原图像的对应区域图像块, 计算每根导线图像块的 CCV 颜色特征, 最后按导线排列顺序依次将其颜色特征值保存到数据库中, 同时保存该线束的线宽和线数, 以及线束二值化分割阈值。

创建好线束的模板后, 就可以使用该模板对同种类线束的线序进行检测, 检测流程如图 1 所示。在将待检测线束放到检测台上进行检测时, 先采集图像并判断线束是否放置到位, 然后提取导线检测区的图像, 接着对图像进行二值化并提取各根导线的中心区域, 得到各根导线对应原图像的彩色图像块, 计算各根导线图像块的 CCV 特征, 最后, 根据式 (5), 按照线束导线的排列顺序将每根导线的 CCV 特征和对应模板的导线特征进行相似性比较, 其结果小于指定阈值即两根导线相似。如果所有导线按顺序比较其颜色一致, 则表示该线束的线序是正确的, 否则就是错误的。

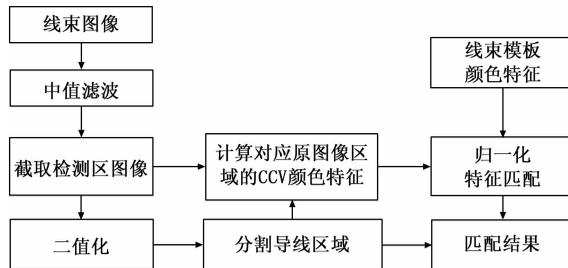


图 1 线序检测流程框图

## 4 实验结果与分析

为了实现本文的线序检测方法, 我们使用 VS2015 C++ 语言与 OpenCV 编写了检测软件, 软件界面如图 2、图 3 所示。在实验中, 我们使用了海康威视的 130 万像素彩色高性能工业相机 (MV-CE013-50GC) 进行采集图像, 该相机采用 GigE 接口, 支持千兆以太网, 帧率为 30 fps, 采集的图像分辨率为  $1280 \times 960$ 。在使用 CCD 摄像机采集图像时, 为了得到高倍放大的线束图像, 在 CCD 前端连接一个 6~60 mm 的光学镜头。另外, 为了获取到清晰稳定、背景较纯净的图像, 我们使用了上下 LED 固定光源, 即在线束上方围绕摄像头设置一圈 LED 白色光源, 在放置线束的白色毛玻璃平板上也设置一组 LED 白色光源。检测前, 先将某个线束放置在检测区台上, 调整相机焦距和上下 LED 灯亮度, 确保检测系统能捕获到颜色清晰、背景白净的线束图像。然后进入模板设置界面 (图 2), 设置检测区和检测参数, 并保存该线束模板。最后回到检测界面 (图 3) 进行线束检测。检测时, 将线束拿平并快速放到检测区, 听到检测响应声音后迅速抽出, 系统将会自动识别和检测。如检测正确, 则显示 OK, 否则显示 NG。



图 2 线序检测软件模板设置界

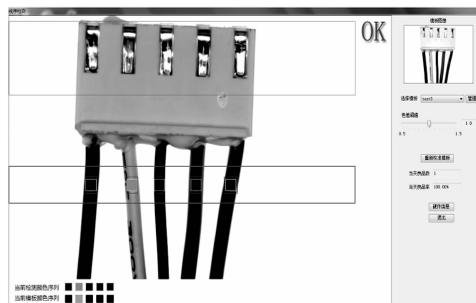


图 3 线序检测软件线束检测界面

为了检验本文方法的性能, 我们实验中使用不同的颜色特征检测方法, 分别对 10 种不同的线束各检测 100 次, 然后取所有线束检测结果的平均值, 得到表 1 的实验结果。

表 1 各种颜色特征在线序检测中的实验结果

检测方法	检测准确率/%	检测速度/fps
RGB 特征方法	94.5	25
HSV 特征方法	93.6	23
颜色矩特征方法	95.2	20
颜色相关图特征方法	98.5	3
本文方法	97.8	15

从表 1 中的实验结果可以看出, 在检测线序时, 使用 RGB 和 HSV 颜色特征速度较快, 但准确率较低; 使用颜色矩特征方法检测准确率和检测速度适中; 使用颜色相关图特征方法检测时准确率最高, 但速度太慢; 而使用本文方法时可以在获得较高准确率的情况下, 保持较高的检测速度, 能达到实时检测的要求。同时, 使用本方法编写的软件进行线束检测时, 如果线束放置有一定角度的倾斜, 或其中有某几根导线紧靠在一起, 仍然可以正确检测。

## 5 结束语

在电子工业中, 线序检测是各种连接线在生产后必经的一个过程, 本文采用了颜色聚合向量方法对各种连接线进行线序检测。在该方法中, 对采集到的线束图像先进行中值滤波处理消除图像部分噪声, 接着根据事先设置好的检测区截取检测线束的图像并将其二值化; 然后分割各根导线获取它们的中心区域块, 根据各区域位置取出原图像对应的颜色块, 计算各个颜色块的颜色聚合向量特征; 最后利用欧氏距离将各导线的归一化 CCV 颜色特征和模板各

导线的颜色特征进行匹配。经过大量实验证明, 本文方法在线序检测中能获得较高的准确率和速度, 所编制的系统软件也已经在实际生产中应用。

## 参考文献:

- [1] 曾慧, 李斯琪, 等. 基于梯度方向直方图的热核特征提取方法 [J]. 仪器仪表学报, 2017, 38 (4).
- [2] 张伟. 基于归一化投影直方图不变矩的图像特征提取 [J]. 计算机工程, 2011, 37 (1): 226-228.
- [3] 张虎龙. 基于二维直方图和模糊熵准则的阈值化方法 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (5): 236-239.
- [4] 金韬. 图像检索中颜色特征的提取与匹配 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12 (6): 459-462.
- [5] 员伟康, 木拉提·哈密提, 严传波, 等. 基于颜色矩特征的新疆维吾尔药材图像检索分析 [A]. 中华医学会医学工程学会全国学术年会 [C]. 2015.
- [6] Pass G, Zabih R, Miller J. Comparing images using color coherence vectors [A]. Proceedings of the 4th ACM International Conference on Multimedia (MM) [C]. ACM 1996: 65-73.
- [7] 徐朝辉, 樊银亭, 闫奎名, 等. 一种基于加权颜色聚合向量的图像检索方法 [J]. 微电子学与计算机, 2014 (2): 31-34.
- [8] 张永库, 李云峰, 孙劲光. 基于多特征高效索引的图像检索 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (7): 181-185.
- [9] Su C H, Chiu H S, Hung J H, et al. Color Space Comparison between RGB and HSV Based Images Retrieval [J]. Advanced Materials Research, 2014, 989-994: 4123-4126.
- [10] Ravanmehr R, Mirali M, Baniyasi M. Parallel CBIR System Based on Color Coherence Vector [A]. IWSSIP 2010 - 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing [C]. 2010.
- [6] 李永波, 李柏林, 熊鹰. 基于 HOG 特征的铁路扣件状态检测 [J]. 传感器与微系统, 2013, 32 (10): 110-113.
- [7] Xia Y Q, Xie F Y, Jiang, Z G. Broken railway fastener detection based on Adaboost algorithm [A]. Optoelectronics and Image Processing International Conference [C]. 2010: 313-316.
- [8] Khan R A, Islam S, Biswas R. Automatic detection of defective rail anchors [A]. 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems [C]. 2014: 1583-1588.
- [9] 朱其刚, 朱志强. 基于自适应邻域灰度直方图均衡的超声内窥镜图像增强 [J]. 山东科技大学学报 (自然科学版), 2004 (3): 120-123.
- [10] 刘海. 一种图像自适应中值滤波算法 [J]. 软件导刊, 2018, 17 (5): 59-61.
- [11] 杨樊, 陈建政, 吴梦. 一种基于计算机视觉的铁轨扣件缺失检测方法 [J]. 电脑知识与技术, 2014, 10 (10): 2367-2370.
- [12] 吴梦, 陈建政, 林森. 基于图像处理的轨道扣件状态检测 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2013 (1): 46-47.

(上接第 181 页)

提升了近 60%; 同时通过实验验证了该基于特征距离的扣件状态识别方法能够实现潘得路快速弹条扣件状态的识别。

## 参考文献:

- [1] 昆山艾力克斯铁路配件有限公司. Fast 快速弹条扣件系统 [EB/OL]. [http://cn.ksalex.com/koujianxitong/pro\\_show-186.html](http://cn.ksalex.com/koujianxitong/pro_show-186.html), 2018-10-10/2018-10-10.
- [2] Yang J F, Tao W, Lu C F, et al. High-speed fastener detection system based on machine vision [J]. Sensors & Transducers Journal, 2012, 145 (10): 138-148.
- [3] Yang J F, Tao W, Liu M H, et al. An efficient direction field-based method for the detection of fasteners on high-speed railways [J]. Sensors, 2011, 11 (8): 7364-7381.
- [4] Babenko P. Visual inspection of railroad tracks [D]. US Florida; University of Central Florida, 2009.
- [5] Shah M. Automated visual inspection/detection of railroad track [R]. Final report. Contract No: BD550, RPWO 8. University of Central Florida, 2010.