

一种对光照变化鲁棒性的彩色目标检测方法

曙 光, 洪 炳 , 梁 冰

(哈尔滨工业大学计算机科学与技术系, 黑龙江哈尔滨 150001)

摘 要: 彩色目标检测过程中由于环境光照的变化以及分布不均匀会造成物体反射光的改变, 使得检测效率降低. 彩色目标检测中最常见的光照影响是光照强度的改变和检测区域强度分布不均匀. 本文对颜色生成基本过程进行考察, 发现在很多应用中可以用简单的 DELTA 函数近似传感器的响应函数. 在此基础上用一个有限维向量量化光照变化, 对像素进行补偿, 提高对光照变化的适应能力. 并用实际应用结果说明其合理性.

关键词: 光照; 目标检测; 彩色图像; 机器人足球

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2003) 12A-2210-03

A Color Object Detection Method Robust to Illumination Variations

SHU Guang, HONG Bing-rong, LIANG Bing

(Computer Science Department Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: The variations of object's reflection light induced from illumination variations and uneven illumination distribution greatly reduce the detecting efficiency in the process of color object detection. The most familiar effects of illumination on color object detection are abrupt intensity changes and uneven illumination distribution in detection region. In this paper, the basic process of formation of color is studied and the fact that simple δ functions can approximate corresponding sensor functions fairly well in many applications is presented. And a limited dimension vector quantizing the illumination variations is used to compensate the pixels' color, so as to improve the adaptability to illumination variations. Its rationality is proved by practical application.

Key words: illumination; object detection; color image; soccer robot

1 引言

图像处理与计算机视觉、机器视觉等领域, 基于色彩信息的目标识别跟踪技术已经得到广泛应用. 在实时识别跟踪类应用大多数方法是采用 Swain 等在文献[1]中提出的彩色直方图方案, 此法因计算简单、稳定, 因而受到重视. 但该方法很难克服由于光照变化引起的色彩改变问题. 解决光照变化引起的颜色改变问题, 一般借鉴人类视觉中的颜色不变 (Color constancy, 又叫颜色恒常性) 特性. 所谓颜色不变是指在光照发生变化时视觉所具有的抑制这种变化引起的效果能力^[2]. 在文献[3, 4]中利用 Swain 的颜色直方图再用紧邻像素之间 RGB 个值之间比值不随光照变化的假设下, 探索光照鲁棒的目标检测算法. 但这种假设对于那些使用普通 RGB 相机的应用这种假设是很难成立的, 因为有些设备光谱响应函数呈积分状, 其输出是输入光关于波长的积分. 只有当像素值不是积分结果而是关于波长的离散值的时候照明不变可以成立.

在文献[5]中作者利用离散的入射光模型下推导了物体表面的材质. 只是由于这种方法对每个像素分别计算光谱反射特征, 因此计算量大, 消耗时间很难接受. 在大部分应用中可以用少数的波长成分可以近似得到光谱反射特征, 因为从

多个不同颜色反射出来的几个不同波长上的反射光完全一样的情况是非常少的. 因此本文利用少数的波长来计算反射特征, 从而在目标检测中抑制光照变化的影响. 我们首先在简单的假设下讨论光照不变的特征, 然后用该特征来补偿检测过程中光照引起的影响.

2 图像生成过程及光照变化率向量

为了量化光照变化的影响本文对传感器响应函数做简化近似. 设摄像系统的输出为 ρ , 物体表面反射、传感器响应分别为 $R(\lambda)$ 、 $S(\lambda)$, 照明光强度分布为 $I(\lambda)$ 那么

$$\rho = \int S(\lambda) R(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

其中 λ 为波长. 对于彩色相机一个像素上式(1)响应函数应为 $S_j(\lambda)$, ($j = 1, 2, \dots, N$), 因此像素值 c 可以表示为:

$$c = [\rho_0 \rho_1 \dots \rho_N]^T \quad (2)$$

$$\rho_j = \int S_j(\lambda) R(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

一般来讲, $S(\lambda)$ 和 $I(\lambda)$ 很难准确计算, 因此由 c 直接推导 $R(\lambda)$ 也是很难实现的. 在这里我们引进简单的假设简化传感器响应函数, 然后用实验结果说明其合理性.

设, $S_j(\lambda)$, ($j = 1, 2, \dots, N$) 为波长的离散 δ 函数:

$$S_j(\lambda) = \tau_j \delta(\lambda - \lambda_j) \quad (4)$$

τ_j 为与各层感度相关的常数并且 $\tau_j > 0$, 此时式(3)可以表示为:

$$\rho_j = \tau_j I(\lambda_j) R(\lambda_j) \quad (5)$$

假设有两种色彩 c_1, c_2 它们在波长 λ_j 上的反射率为:

$$R^t = [R^t(\lambda_0) \quad R^t(\lambda_1) \quad \dots \quad R^t(\lambda_w)], \quad t \in \{c_1, c_2\} \quad (6)$$

而两种光强 i_1, i_2 的强度分布为

$$I^p = [I^p(\lambda_0) \quad I^p(\lambda_1) \quad \dots \quad I^p(\lambda_w)], \quad p \in \{i_1, i_2\} \quad (7)$$

那么在照明 i_1, i_2 下, 色彩的像素值的第 j 成分为

$$\rho_{jp}^i = \tau_j I_j^p(\lambda_j) R_j^i(\lambda_j), \quad t \in \{c_1, c_2\}, p \in \{i_1, i_2\} \quad (8)$$

此时有:

$$\frac{\rho_j^{1c1}}{\rho_j^{2c1}} = \frac{\rho_j^{1c2}}{\rho_j^{2c2}} = \frac{I_j^1}{I_j^2} = k_j^i \quad (9)$$

k_j^i 为表示光照强度光谱分布的变化率, 上式在 $R_j^i(\lambda_j) > 0, I_j^i(\lambda_j) > 0$ 时成立, 并且 $k_j^i > 0$. 这个结果表明照明光的变化率与颜色无关, 同样作用于不同的颜色. 为了记述方便我们记

$$K = [k_0^i \quad k_1^i \quad \dots \quad k_{N-1}^i]^T = [k_0 \quad k_1 \quad \dots \quad k_{N-1}]^T \quad (10)$$

其中, K 称为照明光光谱变化率.

3 基于照明光变化补偿的彩色目标检测方法

彩色目标的检测识别采用 Swain^[1] 的颜色直方图方法. 其主要过程分为 Histogram Backprojection (简称 HB 法) 和 Histogram Intersection (简称 HI 法) 两步. 设输入图像和模板的颜色直方图分别为 $L = \{L_i, i = 0, 1, \dots, w - 1\}, D = \{D_i, i = 0, 1, \dots, w - 1\}$, 其中 w 为直方图区域数目. 在 HB 法由式(11)确定输入图像上像素 (x, y) 的输出值 $e(x, y)$.

$$e(x, y) = \min\left(\frac{D_i}{L_j}, 1\right) \quad (11)$$

而在 HI 法中用下式(12)确定两个直方图的相似程度.

$$S(L, D) = \sum_{i=0}^{w-1} \min(\bar{L}_i, \bar{D}_i) \quad (12)$$

其中 \bar{L}_i, \bar{D}_i 分别为 L_i, D_i 的归一化直方图. 在实际的彩色目标检测问题中环境光照在检测过程中往往有变化, 主要有两种情况:

- (1) 参考直方图生成时的光照与得到输入图像的光照强度不同;
- (2) 环境不同区域光照强度不一样, 即光照强度分布不均匀;

为了解决第二类情况我们假设光照变化率向量 K 为一个位置函数 $K(d_i), (d_i \in I, t = 0, 1, \dots, m - 1), I$ 为检测空间区域. 根据光照强度分布把它划分成 t 个区域每个区域内的光照强度近似看作均匀的. 那么目标检测开始之前首先确定光照变化率, 方法如算法 1. 待确定了光照变化向量后后续的检测中用该向量作为修正参数作用到输入图像上, 按照算法 2 进行目标检测.

算法 1 (光照变化率的检测方法)

初始化: 输入图像 G , 输入参考图像直方图 $D = \{D_i | i = 0, 1, \dots, w - 1\}$;

步骤 1 初始化光照变化率向量 $K(d_t)$, 随机的给 $K(d_t)$ 赋初始值;

步骤 2 用式(9)方式把 $K(d_t)$ 作用到输入图像上得到输

入图像直方图 L_t ;

步骤 3 用 HB 法得到图像 $E = \{(x, y) | (x, y) \in G \wedge e(x, y) \neq 0\}$;

步骤 4 比较图像 E 的归一化直方图 L' 与参考直方图 D 的 HI 相似度;

步骤 5 改变 $K(d_t)$ 的值, 重复 1~4 的步骤, 保存最大相似度所对应的 $K(d_t)$, 记为: K_{\max} .

步骤 6 结束;

算法 2 (目标检测方法)

初始化: 输入待搜索图像 G , 参考图像直方图 D 及光照变化向量 $K(d_t)$;

步骤 1 确定图像 G 上搜索区域 g , 对 g 内像素用式(9)作用 $K(d_t)$ 并计算直方图 L_{gg} ;

步骤 2 计算 L_{gg} 与 D 的 HI 相似度 $S(L_{gg}, D)$;

步骤 3 如果 $S(L_{gg}, D) \geq TH$ 执行步骤 4, 否则回到步骤 1;

步骤 4 返回 L_{gg} , 在 L_{gg} 处检测到目标, 结束;

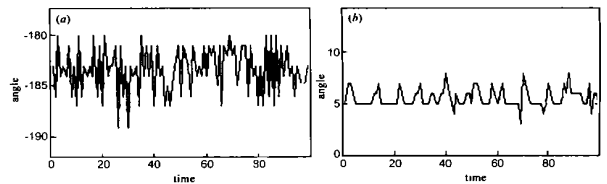


图 1 角度检测比较(a)表示旧方法所得结果(b)为新方法结果 (横轴为检测次序 纵轴表示实际角度)

设置程序在人为干预下生成参考直方图 D 和光照变化向量 $K(d_t)$, 方法如下. 首先在画面上由操作者指定目标图像并调整颜色参数使参考图像取最佳, 此时所得颜色直方图为参考直方图. 其次, 在场地范围内移动目标用算法 1 确定光照分布区域 t 的个数与具体划分, 并最终确定每一个区域的 $K(d_t)$. 跟踪和定位基本方法为算法 2, 其输出为场上个目标的位置方向坐标.

4 机器人足球比赛系统中的应用

利用上述方法实现了机器人足球比赛系统中多个机器人的跟踪定位系统. 该系统中比赛在 $150\text{m} \times 130\text{m}$ 的平台上进行^[6], 比赛整个画面由悬挂在场地正上方的相机采集到计算机进行处理. 其中图像处理部分主要完成实时计算场内本方各机器人的位置、方向及对方队员和球的位置. 在实际运行中图像处理系统的优劣对比赛的影响非常大, 主要的指标表现在对光照变化及分布的适应能力及定位计算精度等方面. 这几个要求实际上都可以归结到一个原因: 在图像上分割(检测)出的目标区域尽量与参考图一致(面积大小, 形状). 造成精度下降的原因主要有两个: 光照造成的颜色变化与运动模糊. 运动模糊可以选择高速相机进行克服. 这里我们应用上述原理抑制光照造成的影响. 在每一个机器人身上都有 2 个或以上固定大小位置的颜色块分别代表本队和队员, 同时根据 2 个颜色块中心所确定的直线与机器人正面朝向之间的固定关系能够确定机器人方向. 该系统图像定位由两个模块组成: 设置部分和跟踪部分.

5 实验结果与分析

我们利用本文的方法改造了我们机器人足球系统的视觉系统. 最初的系统没有考虑光照的补偿, 因此比赛光照条件发生变化后很难适应, 调整过程很长而且效果很不理想. 图 1、图 2 分别显示 100 次位置、角度计测数据, (a)、(b) 分别表示照明补偿前后的结果. 表 1、表 2 分别显示了静态目标识别定位和跟踪动态目标过程中照明补偿前后的实验结果.

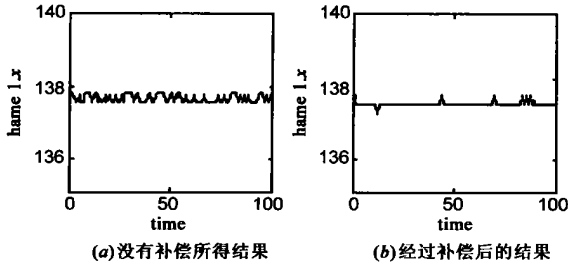


图 2 补偿前后定位过程

另外图 3 显示了一个单色区域(足球机器人标记)在不同照明区域颜色分布及其照明补偿以后的结果. 图 3(a) 表示目标在初始区域的颜色分布, 图 3(b) 表示该目标在于初始区域不同照明的位置所得到的颜色分布, 可以看出颜色分布有明显的变化. 图 3(c) 表示了利用照明变化率补偿像素值以后, 与图 3(b) 同一个位置处目标颜色分布, 可以看出与初始分布已经非常接近. 而表格 3 表示了在机器人足球平台上检测照明变化率的结果, 其中区域 4 对应图 3(b) 所对应位置的照明变化率向量.

表 1 静态目标定位实验结果

项目 方法	平均误差 (cm)	最大误差 (cm)	标准偏差 (cm)	识别率(%)
无补偿	0.624	1.147	0.261	94.4
有补偿	0.472	0.829	0.107	99.7

6 小结

本文把成像系统响应函数用波长的 σ 函数近似, 从而用简单向量表示光照强度变化因素, 并把所得结果应用到彩色目标检测上. 在我们的机器人足球比赛系统中应用该方法实现了定位, 实际应用中表现出很强的适应能力, 得到了很好的效果. 从实验数据可以看出这种近似的合理性. 另外, 本方法 $K(d_i)$ 的探索需要几个前提条件: 目标必须在搜索区域内, 而且目标颜色种类必须不得少于 2 个. 将来还要开发 $K(d_i)$ 的

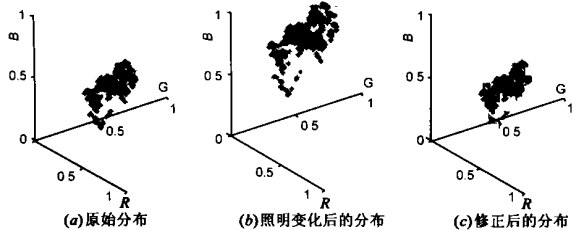


图 3 照明变化率作用前后的颜色分布

高速有效的搜索方法.

表 2 动态目标跟踪结果

项目 方法	平均误差 (cm)	最大误差 (cm)	标准偏差 (cm)	识别率(%)
无补偿	0.624	1.147	0.261	94.4
有补偿	0.472	0.829	0.107	99.7

表 3 照明变化率检测结果

区域 K	区域 1	区域 2	区域 3	区域 4
k_R	1.33	1.32	1.14	1.01
k_G	1.27	1.19	1.10	1.04
k_B	1.48	1.21	1.17	0.96

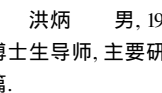
参考文献:

[1] M J Swain, D H Ballard. Color Indexing, Int'l [J]. J Computer Vision, 1991, 7(1): 11- 32.
 [2] 杨雄里. 视觉的神经机制 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996. 264- 267.
 [3] G D Finlayson, B V Funt, K Barnard. Color constancy under varying illumination [A]. Proc. IEEE 5th Intl. Conference on Computer Vision [C]. IEEE, 1995. 720- 725.
 [4] B V Funt, G D Finlayson. Color constant color indexing [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, May 1995, 17(5): 522- 529.
 [5] D Slater, G Healey. The illumination invariant recognition of 3D objects using local color invariants [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 18(2): 206- 210.
 [6] Yong-beom LEE, Bum-jae YOU, Seong-whan LEE. A real-time color-based object tracking robust to irregular illumination variations [A]. Proc. IEEE Intl. Conference on Robotics&Automation [C]. Seoul, Korea. IEEE, 2001. 05.

作者简介:



曙 光 男, 1970 年 6 月出生于内蒙古兴安盟, 博士研究生, 主要研究领域为图像处理、机器视觉及智能机器人, 发表论文十余篇.



洪 炳 男, 1938 年 8 月出生于吉林省吉林市, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为智能机器人, 虚拟现实, 发表论文一百余篇.



梁 冰 男, 1974 年出生于河北石家庄, 博士研究生, 主要研究领域为图像处理、机器视觉及智能机器人.