

在线矩形特征选择的压缩跟踪算法

曹义亲 程 威 黄晓生

(华东交通大学软件学院 南昌 330013)

摘 要 针对压缩跟踪算法无法选择合适的矩形特征,易出现目标漂移、丢失现象,提出了一种基于在线矩形特征选择的压缩跟踪算法。首先,在初始化阶段生成投影矩阵,利用该投影矩阵提取特征来构造候选特征池,在特征池中使用矩形特征来表示目标特性,并去除与目标差异较大的矩形特征,最后计算分类分数最大的窗口,并将其作为目标窗口,从而实现跟踪。实验结果表明,该算法特征总数量比压缩跟踪算法特征总数量减少了 13%,且跟踪精度和鲁棒性方面得到了改善,对于 320pixel×240pixel 大小的视频平均处理帧速为 20frame/s,满足实时性要求。

关键词 压缩感知,在线矩形特征选择,压缩跟踪,特征池

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.1.066

Compression Tracking Algorithm for Online Rectangle Feature Selection

CAO Yi-qin CHENG Wei HUANG Xiao-sheng

(School of Software, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract Compressive tracking algorithm can not select appropriate object features which will result in drifting or make tracking not accurate when the object is occluded or its appearance changes. To address this problem, this paper proposed a real-time compressive tracking algorithm based on rectangle feature selection. Firstly, generate projection matrixes are generated in an initial phase. And the projection matrixes are used to extract the feature to construct a feature pool. The rectangle feature is used to represent the characteristics of target in the feature pool, and the rectangular features with greater difference from the target characteristics are removed. Finally, the classifier is taken to process candidate samples by Bayes classification and response results to the classifier are taken as tracking results. The experimental results show that the proposed algorithm is about 13% lower than that of compressive tracking. It improves the tracking accuracy and robustness, and the processing frame rate is 20 frame/s on a 320pixel×240pixel video sequence, which meets the requirements of real-time tracking.

Keywords Compressive sensing, Online rectangle feature selection, Compressive tracking, Feature pool

目标位置的准确跟踪是计算机视觉领域的核心问题,在视频监控、人机交互、目标跟踪中有广泛的应用^[1-3]。目标跟踪准确性主要有两个问题:(1)目标的跟偏,即目标跟踪位置发生偏离;(2)目标漂移,在跟踪过程中,目标逐渐移出跟踪窗,而背景物体逐渐移入跟踪窗,最终导致目标丢失。

Candes 和 Donoho 于 2006 年提出压缩感知(CS)概念^[2], Zhang 等人将压缩感知引入到目标跟踪中^[3],该算法是在样本独立基础上从多尺度图像特征空间中提取特征,由此生成一个非常稀疏的随机测量矩阵,从而对原始特征进行压缩得到新的特征。该算法实时性好,但在光照、目标姿态变化剧烈等情况下,容易发生漂移或跟丢目标。Collins 通过在线选择器选择特征以改进跟踪效果^[4],但该算法根据上一帧的跟踪结果进行后续处理,易积累误差而产生漂移现象。Liang 等人在 Collins 的基础上提出了一种新的自适应特征选择和目标尺寸自适应方法^[5],通过计算跟踪的贝叶斯误差率来选择最佳的跟踪特征,但是没有指出怎样处理模板漂移的问题。文献^[6]提出一种实时压缩跟踪算法,在初始化阶段生成一个

非常稀疏的投影矩阵进行特征提取,并估计正负样本特征的概率分布,利用该概率分布构造朴素贝叶斯分类器进行跟踪。该算法在目标受光照或者遮挡时无法进行特征选择,易出现跟踪偏离或者目标丢失。文献^[7]对文献^[6]进行了改进,引入在线特征选择机制,且分类器的构造引入特征置信度因子,能实时选择最佳特征。但算法通过增大特征的维度来全面表示目标特性,进而导致计算量增大。文献^[8]引入粗精跟踪策略,在不同跟踪阶段使用不同数量的子特征集进行匹配,以筛选样本、减少计算量,提高了跟踪实时性。但是要根据经验值选择特征数目,而该值影响跟踪效果,如何正确地选择特征数目没有得到解决。文献^[9]根据特征的正负类条件概率分布的距离,选择能有效区分目标和背景的特征,并通过当前目标与原始目标的差异自适应更新目标外观模型,使得目标遇到较大遮挡或者姿态频繁改变时目标外观模型不会被错误更新。但该算法需要提供准确的外观模型,实时性较差。文献^[10]提出结合目标预测位置的压缩跟踪算法,该算法通过投影矩阵对原始多尺度 Haar-like 特征进行压缩,并将样本与

到稿日期:2015-02-03 返修日期:2015-04-05 本文受国家自然科学基金项目(61365008),江西省自然科学基金项目(20142BAB207025)资助。

曹义亲(1964-),男,硕士,教授,CCF 会员,主要研究方向为图像处理、模式识别,E-mail:yqcao@ecjtu.jx.cn;程 威(1987-),男,硕士生,主要研究方向为目标跟踪、无线传感,E-mail:wcheng0327@163.com;黄晓生(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为图形图像处理、机器视觉,E-mail:huangxs1800@163.com。

Mean Shift 算法框架下预测位置的距离权重输入 Bayes 分类器,形成分类背景与目标的判别函数,最后对参数的更新方式进行优化,提出了参数自适应的学习模式。但该算法实时性较差。

上述算法从不同角度对压缩跟踪算法进行了改进,取得了较好的效果,但还存在以下问题:(1)当干扰严重或遮挡时易出现跟偏或漂移现象;(2)为提高跟踪的稳定性,设计了复杂的算法,然而实时性达不到要求。对此,本文提出一种在线矩形特征选择的压缩跟踪算法,通过在跟踪过程中从候选特征池中构造矩形特征,去除与目标差异较大的矩形特征,以减少计算量,提高跟踪实时性。同时,利用未被遮挡区域的特征来更新分类器,以提高分类器分类的准确性,从而抑制目标跟偏和目标漂移现象。

1 压缩跟踪算法

压缩跟踪算法^[2,11,12]利用满足一定准则的稀疏投影矩阵对原始特征进行提取和压缩,再根据压缩特征构造分类器,据此对候选样本进行二元分类,以分类分数最大的窗口为跟踪目标位置,并在该位置提取样本、更新分类器。

1.1 特征提取和压缩

特征提取表达式为:

$$v=Rx \quad (1)$$

其中, $x \in R^{n \times 1}$ 为原始高维信号, $x \in R^{k \times n}$ ($k \ll n$)。为满足有限等距(RIP)性质^[13]的随机矩阵, $v \in R^{k \times 1}$ 为压缩后的低维信号。式(1)中, v 为特征, R 为特征提取矩阵, R 的产生十分重要,不同的特征提取矩阵提取的特征不同。如果 n 的维数比较大,矩阵的运算和存储消耗比较大。文献[2]采用一个非常稀疏的随机投影矩阵,其生成规则为:

$$R_{ij} = \sqrt{s} \times \begin{cases} 1, & \text{概率为 } 1/2s \\ 0, & \text{概率为 } 1-1/s \\ -1, & \text{概率为 } 1/2s \end{cases} \quad (2)$$

其中, s 通常为2~4之间随机选取的整数,使得矩阵 R 变得十分稀疏^[3]。 s 的选取不但降低了运算复杂度,而且只需要存储 R 的非零元素即可,减少了存储空间。实际特征提取如下:

$$v_i = \sum_{k=1}^{NR} \frac{R_{i,k} Rects_{i,k}}{\sqrt{NR}} \quad (3)$$

其中, $Rects$ 为在候选区域随机选取的图像块, NR 为图像块数目,其值在2~4之间随机选取, $R_{i,k}$ 值在1与-1之间等概率随机选取, R 的值在同一图像块中是相同的, r_{ij} 为 $R^{n \times m}$ 第 i 行 j 列的值。由式(3)可知其特征表现为图像中若干矩形特征的加权和,如图1所示。

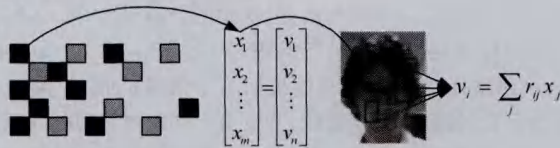


图1 特征生成示意图

1.2 分类器的构建与更新

在特征提取压缩后,将其输入朴素贝叶斯分类器进行目标和背景分类,压缩空间特征为: $v = \{F_1, F_2, F_3, \dots, F_n\}$,假设 v 中的元素相互独立,正负样本的先验概率相同,用于分类目标和背景的朴素贝叶斯准则为:

$$H(v) = \log \left(\frac{\prod_{i=1}^n p(v_i | y=1) p(y=1)}{\prod_{i=1}^n p(v_i | y=0) p(y=0)} \right) \\ = \sum_{i=1}^n \log \left(\frac{p(v_i | y=1)}{p(v_i | y=0)} \right) \quad (4)$$

$y \in \{0, 1\}$ 是二元变量,其值分别代表负样本和正样本。利用式(5)计算 $p(v_i | y=1)$ 和 $p(v_i | y=0)$,Diaconis 和 Freedman 证明了大多数高维空间的随机投影都符合高斯分布^[14],即

$$\begin{cases} p(v_i | y=1) \sim N(\mu_i^1, \sigma_i^1) \\ p(v_i | y=0) \sim N(\mu_i^0, \sigma_i^0) \end{cases} \quad (5)$$

其中, μ_i^1 和 σ_i^1 分别为目标样本第 i 个特征的均值和标准差, μ_i^0 和 σ_i^0 分别为背景样本第 i 个特征的均值和标准差。目标样本选取靠近目标位置的区域,背景样本选取远离目标的若干区域。相关参数的更新如下:

$$\begin{aligned} \mu_i^1 &\leftarrow \lambda \mu_i^1 + (1-\lambda) \mu^1 \\ \sigma_i^1 &\leftarrow \sqrt{\lambda \sigma_i^1{}^2 + (1-\lambda) \sigma^1{}^2 + \lambda(1-\lambda) (\mu_i^1 - \mu^1)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, λ 代表更新程度, λ 越小表示更新程度越快,即之前保留的特征越少。 μ^1 和 σ^1 分别为目标样本的均值和标准差, μ^0 和 σ^0 分别为背景样本的均值和标准差。 n 是样本的个数, μ^1 和 σ^1 的计算公式为:

$$\mu^1 = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} v_i(k) \quad (7)$$

$$\sigma^1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} (v_i(k) - \mu^1)^2} \quad (8)$$

更新分类器后,利用式(1)对采集的样本进行降维处理,再根据式(4)对其进行二值分类,并以分类分数最大的窗口为最新跟踪结果。

2 在线矩形特征选择的压缩跟踪算法

在跟踪过程中,当目标受噪声和遮挡时,压缩跟踪方法易发生跟偏或漂移现象,不利于分类器分类,易导致分类错误,而且分类器参数更新非常及时,使得不准确分类器参数影响下一帧分类器分类。本文提出在线矩形特征选择的压缩跟踪算法,通过构造特征池,在特征池中使用矩形特征来表示目标特性,并去除与目标差异较大的矩形特征,减少计算量。在遇到遮挡问题时,利用未被遮挡区域中能够表示目标特性的矩形特征来更新分类器,提高分类器分类的准确性。算法的关键过程主要包括特征池的构建与矩形特征的选择与计算。

2.1 特征池的构建

为了在线从特征池中选择特征用于构建分类器,需要首先构建特征池,特征池是候选特征的集合,里面包括了目标区域各个方面的信息。文献[3]通过在特征池中随机选择若干个任意位置、任意大小的矩形块像素,将它们的加权和组合作为跟踪目标的矩形特征,利用矩形特征来描述目标。在跟踪过程中,经常遇到目标遮挡或扭转,导致跟踪目标跟偏或丢失。在构造候选矩形特征的图像中,当目标某一区域被遮挡或扭转时,遮挡区域内的矩形特征不再可靠。对此,本文采用其它未被遮挡区域的矩形特征构造特征池,并去除与目标差异较大的矩形特征来更新分类器。具体特征提取过程如图2所示,符号表达同图1。

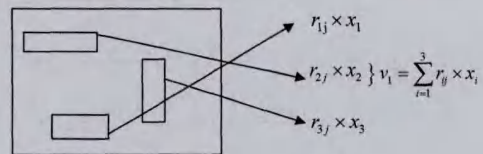


图2 特征提取

另外,背景干扰和错误分类使得不准确的矩形特征影响下一帧的分类,从而造成不准确的结果。本文利用候选特征池中未被影响的矩形特征更新分类器,该分类器对于目标和背景具有很好的区分能力,对于部分遮挡的情况,具有一定的稳定性。去除干扰特征的后续处理过程中,减少了错误分类,以抑制干扰对分类准确性的影响,增强了算法的稳定性。

2.2 矩形特征选择与计算

文献[15]采用矩形特征来表示人脸,以达到准确跟踪目标的效果。Viola和Jones在此基础上^[16]使用3种类型的矩形特征,如两矩形特征、三矩形特征、四矩形特征等,两矩形特征表示边缘特征,三矩形特征表示线性特征,四矩形特征表示特定方向特征,如表1所列。

表1 矩形特征

两矩形特征	三矩形特征	四矩形特征

如图3所示,脸部一些特征能够由矩形特征简单地描绘,比如眼睛区域的颜色比脸颊区域的颜色深,鼻梁两侧比鼻梁的颜色深。使用特征比单纯地使用像素点具有很大的优越性,并且速度更快。压缩跟踪算法在特征池中随机提取矩形框,没有对矩形特征进行选择,后续处理会产生误差导致跟踪不精确,同时计算量增加影响跟踪实时性。

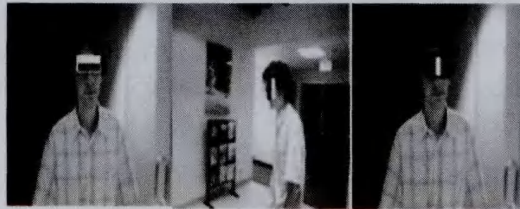


图3 矩形特征描述人脸

在压缩跟踪过程中,影响跟踪算法速度的因素是矩形特征总数,在计算 $m \times m$ 大小窗口中满足特定条件的所有矩形总数时,只需确定矩形左上顶点和右下顶点,即可确定一个矩形;条件矩形满足 (s, t) 条件:(1) x 方向边长必须能被自然数 s 整除;(2) y 方向边长必须能被自然数 t 整除。这个矩形的最小尺寸为 $s \times t$ 或 $t \times s$,最大尺寸为 $\lfloor m/s \rfloor \cdot s \times \lfloor m/t \rfloor \cdot t$ 或 $\lfloor m/t \rfloor \cdot t \times \lfloor m/s \rfloor \cdot s$,其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 为取整运算符;本文选取符合跟踪目标特征 (s, t) 条件的 $(1, 2)$ 、 $(2, 1)$ 、 $(1, 3)$ 、 $(3, 1)$ 等几个特征模板(见表2),相应的计算量减少。所以改进算法选取反映跟踪目标特点的两矩形特征和三矩形特征,并去除与目标差异较大的矩形特征。

表2 特征模板

特征模板					
(s, t) 条件	$(1, 2)$	$(2, 1)$	$(1, 3)$	$(3, 1)$	$(2, 2)$

满足 (s, t) 条件的所有矩形特征总数量为:

$$\begin{aligned} \Omega_{(s,t)}^m &= \sum_{x_1}^{m-t+1} \sum_{y_1}^{m-t+1} p \cdot q = \\ &= \sum_{x_1}^{m-t+1} \sum_{y_1}^{m-t+1} \left[\frac{m-x_1+1}{s} \right] \cdot \left[\frac{m-y_1+1}{t} \right] = \\ &= \sum_{x_1}^{m-t+1} \left[\frac{m-x_1+1}{s} \right] \cdot \sum_{y_1}^{m-t+1} \left[\frac{m-y_1+1}{t} \right] = \\ &= \left(\left[\frac{m}{s} \right] + \left[\frac{m-1}{s} \right] + \dots + \left[\frac{s+1}{s} \right] + 1 \right) \cdot \left(\left[\frac{m}{t} \right] + \right. \\ &\quad \left. \left[\frac{m-1}{t} \right] + \dots + \left[\frac{t+1}{t} \right] + 1 \right) \end{aligned} \quad (9)$$

利用式(9)计算 24×24 子窗口满足特定条件的所有矩形特征总数量,利用式(10)计算矩形特征减少量,即压缩跟踪算法计算的矩形特征总数量减去改进算法计算的矩形特征总数量。

$$\Omega^m = 2 \times \Omega_{(1,2)}^{24} + 2 \times \Omega_{(1,3)}^{24} - \Omega_{(2,2)}^{24} \quad (10)$$

矩形特征值是指灰色矩形内的像素值和减去白色矩形内的像素值和。两矩形特征为相邻两个矩形内像素颜色值和的差;三矩形特征为两边的两个矩形颜色值和减去中间矩形中像素的颜色值和;四矩形特征为两对角线上矩形内像素颜色值和之差。如图4(a)中,以 $ii(1)$ 表示区域A的像素值,以 $ii(2)$ 表示区域A+B的像素值,以 $ii(3)$ 表示区域A+C的像素值,以 $ii(4)$ 表示区域A+B+C+D的像素值。使用图4(b)计算特征值。

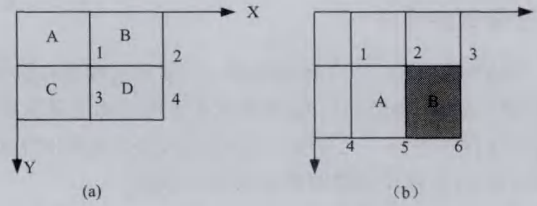


图4 积分图像

$$\text{区域 A 的像素值} = ii(5) + ii(1) - ii(2) - ii(4) \quad (11)$$

$$\text{区域 B 的像素值} = ii(6) + ii(2) - ii(5) - ii(3) \quad (12)$$

所以,该矩形特征的特征值为

$$\begin{aligned} &ii(5) + ii(1) - ii(2) - ii(4) - [ii(6) + ii(2) - ii(5) - \\ &ii(3)] = [ii(5) - ii(4)] + [ii(3) - ii(2)] - [ii(2) - ii(1)] - \\ &[ii(6) - ii(5)] \end{aligned} \quad (13)$$

2.3 算法步骤

(1)初始化:选定目标区域;

(2)构造特征池及分类器:通过式(1)提取压缩域特征,在正负样本特征池中选取适合目标的矩形特征,并构造分类器;

(3)目标跟踪:通过上一帧目标位置获取候选样本,然后利用朴素贝叶斯分类器分类,其分类分数最大的即为跟踪目标;

(4)更新特征池和特征选择:获得新的目标位置后,重新提取正负样本,并选取反映目标特点的矩形特征;

(5)更新分类器:利用式(6)更新分类器,为下一帧做准备。

3 实验结果与分析

本文的仿真实验利用MATLAB与C++混合编程方式在MATLAB R2012b编程软件实现,计算机硬件配置为Intel Core i3/3.40GHz,2.00GB内存,视频的分辨率为 320×240 。算法采用标准测试视频进行验证,本文选用David和Lemming视频序列,跟踪的部分结果如图5和图6所示。视频序列包含目标的扭转、光照变化、背景干扰和遮挡等跟踪问题。

在David视频序列中,压缩跟踪算法在光照和扭转变化不大的情况下跟踪效果很好,如图5(a)所示,目标在第170~176帧和第444~450帧中,目标处于扭转和光照变化时,压缩跟踪算法的跟踪结果出现一定的偏移现象,如图5(b)所示,而改进算法能够选择合适的矩形特征,并去除与目标差异较大的矩形特征来更新分类器,减少了分类器分类错误,提高了跟踪的准确性,所以能够准确地跟踪目标,如图5(c)所示。



(a)光照、扭转变化不大对跟踪结果的影响(第 4、6、8 和 10 帧)



(b)压缩跟踪算法的跟踪结果(第 170、172、174、176、444、446、448 和 450 帧)



(c)改进算法的跟踪结果(第 170、172、174、176、444、446、448 和 450 帧)

图 5 David 视频序列

在 Lemming 视频序列中,目标在第 442~446 帧发生轻微的遮挡时,压缩跟踪算法产生跟踪漂移现象,如图 6(a)所示。由于遮挡区域的特征不可信,将影响下一帧的跟踪,在未被遮挡区域中,背景干扰的参入越来越多,最终导致跟踪不准确。而改进算法在目标未被遮挡处选取适合目标的矩形特征来更新分类器,降低了分类器错误样本的更新,提高了跟踪的稳定性,如图 6(b)所示。在第 460~466 帧中出现大量背景干扰时,干扰影响了压缩跟踪算法的分类器样本的分类,导致后续的处理误差越来越大,产生跟偏。而改进算法仍能保持稳定跟踪结果,如图 6(b)所示。



(a)压缩跟踪算法的跟踪结果(第 442、444、446、460、462、464 和 466 帧)



(b)改进算法的跟踪结果(第 442、444、446、460、462、464 和 466 帧)

图 6 Lemming 视频序列

从图 5(c)和图 6(b)可以得出,改进算法在这两个序列中性能都比较稳定。这主要是由于改进算法能够利用合适的矩形特征进行跟踪,去除与目标无关的矩形特征以减少对跟踪的影响,矫正了不准确的跟踪。实验结果表明:改进算法克服了压缩跟踪算法的跟偏和漂移问题,提高了压缩跟踪的稳定性。

利用压缩跟踪方法和改进算法计算 24×24 子窗口特征的总数量,对比结果如表 3 所列,本文改进方法的特征总数量相比压缩跟踪方法减少了 20736 个,减少量达 13%。

表 3 特征总数量

算法	压缩跟踪算法	改进算法	减少量
特征总数量	162336	141600	13%

实时性是评估跟踪算法性能的一个很关键的指标。实验中采用文献[8]的对比方法,使用 6 个代表性序列,表 4 列出了不同跟踪算法的实验结果。其中平均运行时间一行用粗体、斜体和下划线分别表示平均运动时间最短、次短和第三的算法。由表 4 可知,压缩跟踪算法的运行时间最短,该算法在实际应用中非常有利,改进算法在牺牲约 0.02s/帧的前提下提高了跟踪的准确性,又保留了压缩跟踪算法的实时性。

表 4 算法对比

序列	CT	MIL	CBWH	L1	TLD	STRUCK	CPCT	改进算法
Girl	0.02	7.74	2.63	4.71	0.07	0.16	0.43	0.05
Sylv	0.02	7.69	0.19	4.43	0.08	0.17	0.08	0.05
Soccer	0.04	5.97	0.55	4.62	0.07	0.13	0.17	0.05
Tiger	0.03	6.44	0.10	5.10	0.06	0.17	0.04	0.06
Basketball	0.03	7.61	0.42	4.01	0.09	0.20	0.08	0.04
Lemming	0.04	7.51	1.13	5.00	0.10	0.16	0.27	0.06
平均运行时间	0.03	7.16	0.84	4.65	<u>0.08</u>	0.17	0.18	0.05

结束语 本文针对压缩跟踪算法无法选择合适的特征而导致目标漂移或者丢失的现象,提出了一种在线矩形特征选择的压缩跟踪算法。改进算法通过选取适合跟踪目标特点的两矩形特征和三矩形特征,并去除与目标差异较大的矩形特征,减少了计算量,防止错误样本的不断累积,提高了跟踪的鲁棒性。不同的视频序列中的目标跟踪结果表明,改进的算法在处理目标光照变化、扭转、轻微遮挡等方面性能表现很好。由于改进算法在保证准确跟踪的同时,使用积分图像计算量小,大大节约了每一帧所消耗的时间,这对实时目标跟踪的实际应用具有重要的意义。因此改进的压缩跟踪算法具有较强的鲁棒性和实时性。

参考文献

- [1] Hare S, Saffari A, Torr P H S. Struck: structured output tracking with kernels[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, Barcelona, IEEE, 2011:263-270
- [2] Li H X, Shen CH H, Shi Q F. Real-time visual tracking using compressive sensing[C]//2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR), 2011:1305-1312
- [3] Zhang K H, Zhang Lei, Ming-Hsuan Y. Real time compressive tracking [C]//Proceedings of European Conference on Computer Vision, Part II, 2012:866-879
- [4] Collins R T, Liu Y, Leordeanu M. Online selection of discriminative tracking features[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1631-1643

(下转第 314 页)

Science, 2011, 25(2):163-166(in Chinese)

贺志明. 不均匀光照文本图像的二值化[J]. 上海工程技术大学学报, 2011, 25(2):163-166

- [11] Ma C Y, Sun J X, Cheng S, et al. Binarization algorithm of license plate image based on multistage light processing[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(S2): 200-202(in Chinese)
马超玉, 孙俊喜, 程帅, 等. 融合多级光照处理的车牌图像二值化算法[J]. 计算机应用, 2013, 33(S2): 200-202
- [12] Burgoyne J A, Pugin L, Eustace G, et al. A comparative survey of image binarisation algorithms for optical recognition on degraded musical sources[C]//International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). 2007:509-512
- [13] Sauvola J, Seppanen T, Haapakoski S, et al. Adaptive document binarization[C]//Proceedings of the Fourth International Conference on Document Analysis and Recognition(ICDAR). IEEE. 1997:147-152
- [14] Vigiensoni G, Burlet G, Fujinga I. Optical measure recognition in common music notation[C]//Proceedings of International Symposium/Conference on Music Information Retrieval (ISMIR). 2013:125-130
- [15] Pinto T, Rebelo A, Giraldi G, et al. Music score binarization based on domain knowledge[M]//Pattern Recognition and Image Analysis. Springer Berlin Heidelberg, 2011:700-708
- [16] Guo J, Liu X Y, Wu B, et al. Binarisation method for images acquired under non-uniform illumination [J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(3):183-188(in Chinese)
郭佳, 刘晓玉, 吴冰, 等. 一种光照不均匀图像的二值化方法[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(3):183-188
- [17] Su B, Lu S, Tan C L. Robust document image binarization technique for degraded document images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(4):1408-1417
- [18] Xu H Y, Ma L L, Wu J. Document image binarization based on background estimation and edge detection [J]. Computer Applications and Software, 2014, 31(8):196-200(in Chinese)
许海洋, 马隆隆, 吴健. 基于背景估计和边缘检测的文档图像二值化[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(8):196-200
- [19] Zhang J R, Wang L J. Improved binarization algorithm of modified QR code image [J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(7):56-58(in Chinese)
张继荣, 王利军. 一种改进的 QR 码图像二值化算法[J]. 现代电子技术, 2014, 37(7):56-58

(上接第 309 页)

- [5] Liang D, Huang Q, Jiang S, et al. Mean-shift blob tracking with adaptive feature selection and scale adaptation[C]//IEEE International Conference on Image Processing, 2007 (ICIP 2007). IEEE, 2007:369-372
- [6] Zhu Q P, Yan J, Zhang H, et al. Real-time tracking using multiple features based on compressive sensing[J]. Opt. Precision Eng, 2013(2):437-444(in Chinese)
朱秋平, 颜佳, 张虎, 等. 基于压缩感知的多特征实时跟踪[J]. 光学精密工程, 2013(2):437-444
- [7] Mao Zheng, Yuan Jian-jian, Wu Zhen-rong, et al. Real-time compressive tracking based on online feature selection[J]. Opt. Precision Engineering, 2014, 22(3):730-736(in Chinese)
毛征, 袁建建, 吴珍荣, 等. 基于在线特征选择的实时压缩跟踪[J]. 光学精密工程, 2014, 22(3):730-736
- [8] Zhong Quan, Zhou Jin, Wu Qin-zhang, et al. An Improved Real-time Compressive Tracking [J]. Opt. Opto-Electronic Engineering, 2014(4):1-8(in Chinese)
钟权, 周进, 吴钦章, 等. 一种改进的实时压缩跟踪算法[J]. 光电工程, 2014(4):1-8
- [9] Shi W Z, Ning J F, Yan Y F. Feature selection and target model updating in compressive tracking [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(6):932-939(in Chinese)
石武桢, 宁纪锋, 颜永丰. 压缩感知跟踪中的特征选择与目标模型更新[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(6):932-939
- [10] Luo H L, Zhong B K, Kong F S. Object tracking algorithm by combining the predicted target position with compressive tracking[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(6):875-885(in Chinese)
罗会兰, 钟宝康, 孔繁胜. 结合目标预测位置的压缩跟踪[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(6):875-885
- [11] Jiao Li-cheng, Yang Shu-yuan, Liu Fang, et al. Development and prospect of compressive sensing [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(7):1651-1662(in Chinese)
焦李成, 杨淑媛, 刘芳, 等. 压缩感知回顾与展望[J]. 电子学报, 2011, 39(7):1651-1662
- [12] Dai Q H, Fu C J, Ji X Y. Research on compressed sensing[J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(3):425-434(in Chinese)
戴琼海, 付长军, 季向阳. 压缩感知研究[J]. 计算机学报, 2011, 34(3):425-434
- [13] Achlioptas D. Database-friendly random projections: Johnson-Lindenstrauss with binary coins [J]. Journal of computer and System Sciences, 2003, 66(4):671-687
- [14] Diaconis P, Freedman D. Asymptotics of graphical projection pursuit [J]. Annals of Statistics, 1984, 12(3):228-235
- [15] Papageorgiou C P, Oren M, Poggio T. A general framework for object detection[C]//Sixth International Conference on Computer Vision, 1998. IEEE, 1998:555-562
- [16] Viola P, Jones M J. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 57(2):137-154
- [17] Cao Ying, Miao Qi-guang, Liu Jia-chen, et al. Advance and Prospects of AdaBoost Algorithm[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(6):745-758(in Chinese)
曹莹, 苗启广, 刘家辰, 等. AdaBoost 算法研究进展与展望[J]. 自动化学报, 2013, 39(6):745-758
- [18] Zhou S R, Yin J P. LBP texture feature based on Haar characteristics [J]. Journal of Software, 2013, 24(8):1909-1926(in Chinese)
周书仁, 殷建平. 基于 Haar 特性的 LBP 纹理特征[J]. 软件学报, 2013, 24(8):1909-1926