

文章编号:1671-6833(2011)02-0033-04

基于不变矩算法的行人识别方法研究

高向东, 杨大鹏, 刘 红

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 行人识别对于智能辅助驾驶和智能车辆至关重要. 采用一种基于不变矩算法的行人特征提取和识别方法, 通过利用不变矩在目标平移、旋转和缩放的不变性, 在 HU 不变矩基础上添加 3 个表达式, 使不变矩包含更多的细节特征, 将其作为行人目标的识别特征, 利用支持向量机分类器作为主要手段对不变矩进行分类识别, 并分析影响识别效果的影响因素. 试验结果表明, 选择改进的不变矩作为行人特征具有较好的行人识别效果, 较高的识别率使行人和非行人能得到有效的识别.

关键词: 不变矩; 行人识别; 智能辅助驾驶; 智能车辆; 支持向量机分类器

中图分类号: TP391

文献标志码: A

0 引言

据统计, 全世界每年死于交通事故多达 39 000 人, 在交通事故中受伤的高达 430 000 人^[1]. 由此可见, 交通道路事故已成为社会关注的公害. 因此, 开展车辆前方行人识别技术研究, 及时告知驾驶员车辆前方行人的存在, 并进行安全预警, 对减少和避免车辆与行人发生碰撞事故具有重要意义.

由于图像区域的某些矩对于平移、旋转、尺度等几何变换具有一些不变的特性, 适用于形状特征分析, 因此, 矩的表示方法在模式识别、目标分类和目标识别等方面具有重要意义^[2]. 自从 HU^[3] 在 1962 年给出具有平移不变性、旋转不变性和比例不变性的 7 个不变矩表达式, 不变矩算法的改进一直没有间断过. 不变矩理论广泛应用于多个领域, SONG 等^[4] 以不变矩为特征点进行交通数字识别研究, 实现车牌和标识牌等自动识别; ZHANG 等^[5] 使用不变矩特征对驾驶员眼睛进行检测, 实现监视驾驶员进行安全驾驶; 张涛等^[6] 以不变矩为特征点进行车辆识别, 达到识别不同类型的车辆的目的. 鉴于不变矩算法具有目标识别的功能, 笔者对不变矩算法的行人识别进行试验研究. 采用摄像机获取行人样本图像, 建立行人试验样本图像库, 以不变矩作为行人特征点, 采用支持向量机分类器进行行人识别试验.

1 不变矩算法

在离散状态下, 二维函数 $f(x, y)$ 的 $(j+k)$ 阶矩和中心矩表达式如下^[6]:

$$m_{jk} = \sum_x \sum_y x^j y^k f(x, y) \quad (1)$$

$$u_{jk} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^j (y - \bar{y})^k f(x, y) \quad (2)$$

其中, $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$, $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$, $j, k = 0, 1, \dots, n$.

HU^[3] 根据二阶和三阶中心矩的非线性组合, 构成了 7 个不变矩表达式:

$$\left\{ \begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} + \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} + 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}^2(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \right. \quad (3)$$

收稿日期: 2010-07-11; 修订日期: 2010-00-00

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(092102210155); 郑州市科技计划项目(10PTGG399-9)

作者简介: 高向东(1963-), 男, 河南郑州人, 郑州大学教授, 博士后, 博士生导师, 主要研究领域为模式识别和自动控制, E-mail: xdgao@hotmail.com.

其中, $\eta_{ik} = \eta_{jk}/(u_{00})^r$, $r = (j+k)/2 + 1$, $j+k = 2, 3, \dots, n$.

由于行人的外形特征具有多变性,为了准确而快速地从样本图像中识别出行人和非行人,在 HU 不变矩的基础上添加总次数为 3 的 3 个表达式^[7],这样增加更多的细节特征,而且低阶的表达式在计算上实现了快速性,具体如下:

$$\begin{cases} \varphi_8 = 2[\eta_{11}[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] - \\ \quad (\eta_{20} - \eta_{02})(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})] \\ \varphi_9 = [(\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) + (3\eta_{21} - \eta_{03}) \cdot \\ \quad (\eta_{21} + \eta_{03})](\eta_{20} - \eta_{02}) + 2\eta_{11}[(3\eta_{21} - \eta_{03}) \cdot \\ \quad (\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})] \\ \varphi_{10} = [(3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) - (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \cdot \\ \quad (\eta_{21} + \eta_{03})](\eta_{20} + \eta_{02}) - 2\eta_{11}[(\eta_{30} - 3\eta_{12}) \cdot \\ \quad (\eta_{30} + \eta_{12}) + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{03} + \eta_{21})] \end{cases} \quad (4)$$

F. JAN 等^[8]人在 HU 不变矩的基础上做了修改,提出了仿射不变矩,以下是具有二阶和三阶中心矩构成的仿射不变矩:

$$\begin{cases} \psi_1 = [u_{20}u_{02} - u_{11}]/u_{00}^4 \\ \psi_2 = [u_{30}^2u_{03}^2 - 6u_{30}u_{21}u_{03} + 4u_{30}^3u_{21} + 4u_{21}^3u_{03} - \\ \quad 3u_{21}^2u_{12}^2]/u_{00}^{10} \\ \psi_3 = [u_{20}(u_{12}u_{03} - u_{12}^2) - u_{11}(u_{30}u_{03} - u_{21}u_{12}) + \\ \quad u_{02}(u_{30}u_{03} - u_{21}^2)]/u_{00}^7 \\ \psi_4 = [u_{20}^3u_{03}^2 - 6u_{20}^2u_{11}u_{12}u_{03} - 6u_{20}u_{02}u_{21}u_{03} + \\ \quad 9u_{20}^2u_{02}u_{12}^2 + 12u_{20}u_{11}^2u_{21}u_{03} + 6u_{20}u_{11}u_{02}u_{30}u_{03} - \\ \quad 18u_{20}u_{11}u_{02}u_{21}u_{12} - 8u_{11}^3u_{30}u_{03} - 6u_{20}^2u_{02}u_{12}u_{30} + \\ \quad 9u_{20}u_{02}^2u_{21}^2 + 12u_{11}^2u_{02}u_{30}u_{12} - 6u_{11}u_{02}^2u_{30}u_{21} + \\ \quad u_{02}^3u_{30}^2]/u_{00}^{11} \end{cases} \quad (5)$$

张涛等^[6]对 HU 不变矩做了修正,用以作为目标的识别特征,具体修正方法如下:

$$\begin{aligned} \varphi'_1 &= \varphi_1, \varphi'_2 = \varphi_2/\varphi_1^3, \varphi'_3 = \varphi_3/\varphi_1^3, \varphi'_4 = \\ \varphi_4/\varphi_1^3, \varphi'_5 &= \varphi_5/\varphi_1^6, \varphi'_6 = \varphi_6/\varphi_1^4, \varphi'_7 = \varphi_7/\varphi_1^6 \end{aligned} \quad (6)$$

2 试验与结果分析

行人识别试验由三部分组成:首先根据不变矩表达式获取试验样本图像的不变矩特征数据;然后构造支持向量机分类器,并使用训练样本对分类器进行训练;最后使用训练后的分类器对样本图像进行行人识别。

2.1 不变矩特征提取

采用 300×400 像素的图像作为试验图像,图 1 列举了部分行人和非行人样本图像。



图 1 行人和非行人样本图像

Fig. 1 Sample images of pedestrian and non-pedestrian

从统一的试验样本图像中分别获取式(3)~(6)所表示不变矩表达式的数据.假设求得的不变矩为 ϕ_i , $i = 1, 2, \dots, n$.由于不变矩的变化范围比较大,并且可能出现负值,为了方便整体的比较,采用对数方法对不变矩数据进行处理,具体方法如下:

$$M_i = |\lg(\phi_i)| \quad (7)$$

为了得到较好试验效果,需要对直接提取的试验数据进行归一化处理.本次试验采用的归一化映射如下:

$$f: x \rightarrow y = 2 \times \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} + (-1) \quad (8)$$

其中, $x, y \in \mathbb{R}^n$, $x_{\min} = \min(x)$, $x_{\max} = \max(x)$,归一化的结果是把原始数据规整到 $[-1, 1]$ 范围内,即 $y_i \in [-1, 1]$, $i = 1, 2, \dots, n$.

2.2 支持向量机分类器

采用支持向量机作为特征的分类器.支持向量机是 VAPNIK 等^[9]提出的建立在统计学习理论基础上的一种机器学习方法,对于给定的有限样本进行训练学习,根据样本信息在模型复杂度与经验风险之间进行折中,以获得最好的推广能力.支持向量机能有效地避免经典学习方法中过学习、维数灾难、局部极小等传统分类中存在的问题,在小样本条件下具有良好的泛化能力,已经成功应用在很多领域^[10].

为了获取合适的核函数,采用以下几种核函数分别进行试验^[11].

(1)线性核函数:

$$K(x_i, x_j) = x_i \cdot x_j \tag{9}$$

(2)多项式核函数:

$$K(x_i, x_j) = [r(x_i \cdot x_j) + c]^q \tag{10}$$

(3)径向基核函数:

$$K(x_i, x_j) = \exp(-r \|x_i - x_j\|^2) \tag{11}$$

(4)Sigmoid 核函数:

$$K(x_i, x_j) = \tanh(r(x_i \cdot x_j) + c) \tag{12}$$

构造的支持向量机分类器中,选择 $c = 0, q = 3$,分类器可变参数仅包括惩罚参数 v 和核函数参数 r (线性核函数没有此项). 为了找到最佳分类器可变参数,试验采用交叉验证法,把试验数据分为 N 份,分别让每一份作为测试集进行预测,此时,其余部分($N - 1$ 份)作为训练集对分类器进行训练,取最后得到的所有分类器准确率的平均数.

2.3 行人识别试验

以样本图像的各种不变矩特征为试验数据,使用支持向量机分类器对试验图像数据进行行人识别. 为了得到好的行人识别效果,试验分两个阶段.

第一阶段分析数据处理与支持向量机参数对行人识别的影响,分析造成不变矩特征的试验结果不同的原因. 试验统一使用径向基核函数构造支持向量机分类器. 首先直接设定支持向量机分类器的参数(v 取 1, r 取 0.05),对比原始数据直接进行行人识别和原始数据进行归一化处理后进行行人识别结果,用来分析数据处理是否对行人识别造成影响;其次使用原始数据,对比预先设定分类器参数(v 取 1, r 取 0.05)和编程进行分类器参数寻优后的行人识别结果,用来分析支持向量机参数对行人识别的影响;最后结合数据处理和分类器参数寻优相结合进行行人识别试验,对比前面的试验结果,进行总的试验分析. 试验所得的行人识别率结果如表 1 所示.

表 1 不同试验方法的识别率试验结果

Tab.1 The recognition rate of different test methods

试验方法	%			
	HU 不变矩	Flusser 不变矩	张改进 不变矩	本文改进算法
直接识别法	77.005 3	73.796 8	71.123 0	79.144 4
数据归一化法	86.631 0	75.935 8	81.818 2	88.770 1
分类器参数寻优法	93.048 1	94.117 6	86.096 3	97.326 2
归一化和参数寻优结合法	96.791 4	94.657 4	91.443 9	97.861 0

分析表 1 可知,从样本图像中提取的原始数据直接进行行人识别的效果很不理想,识别率没有达到 80%. 对原始数据进行归一化处理后的识别率得到提高,说明对样本数据进行恰当的归一化处理能提高识别率,但不能保证数据处理后能把识别率提高很多. 对分类器参数进行寻优,所有不变矩特征的识别率都得到提高,说明分类器参数对行人识别的影响非常大,出于预先设定参数不能保证较高的识别率,采用交叉验证法则能获得合适的参数,从而大大提高识别率. 与前面 3 种方法相比,结合数据归一化处理和参数寻优的方法在每个不变矩试验中都获得了最高的行人识别率. 对比采用同样试验方法的不变矩数据,得出 7 个 HU 不变矩表达式基础上添加 3 个不变矩表达式的本文改进算法具有较高识别率,这表明用于反映图像的矩特征越多,识别器的准确度越高. 张改进的不变矩识别效果一般,表明并非所有的改进不变矩算法都具有广泛的适用性.

第二阶段分析不同支持向量机核函数构造的分类器的行人识别效果. 由第一阶段试验可知,结合数据归一化处理和参数寻优的方法有较好的识别效果,因此,这阶段统一采用此方法进行试验,改变的只是支持向量机分类器的核函数,分类器的核函数分别为线性核函数、多项式核函数、径向基核函数和 Sigmoid 核函数,试验所得的行人识别率结果如表 2 所示.

表 2 不同核函数的识别率试验结果

Tab.2 The recognition rate of different kernel functions

核函数	%			
	HU 不变矩	Flusser 不变矩	张改进 不变矩	本文改进算法
线性核函数	86.096 3	76.470 6	79.144 4	85.026 7
多项式核函数	85.561 5	73.796 8	70.053 5	91.978 6
径向基核函数	96.791 4	94.652 4	86.096 3	97.861 0
Sigmoid 核函数	63.101 6	60.427 8	74.866 3	63.101 6

分析表 2 可知,采用径向基核函数的支持向量机分类器具有较高行人识别率,4 种不变矩的试验结果都是此核函数分类器的识别率最高,其余 3 种分类器的核函数不能保证在每次识别试验中具有很高的识别率,而且准确性都不理想,由此可知分类器采用径向基核函数具有较好的行人识别效果. 对比采用同样分类器核函数的试验结果,本文改进算法具有明显优势,最高识别率达 97% 以上,具有较高的行人识别率.

3 结论

以改进算法作为行人的特征向量,通过对样本图像的特征提取获取不变矩数据,采用支持向量机分类器进行行人识别训练,并将训练后的支持向量机分类器用于行人的识别.对分类器的重要参数和核函数进行了不同的试验,试验结果表明,以改进的不变矩作为行人特征包含了更多的细节特征,能有效地识别样本图像中的行人和非行人图像,是一种有效的特征匹配算法.

参考文献:

- [1] GAVRILA D M. Sensor-based pedestrian protection [J]. IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(6): 77-81.
- [2] 张德丰. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2009: 293-294.
- [3] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, 8(2): 179-187.
- [4] SONG Zheng-he, ZHAO Bo, ZHU Zhong-xiang, et al. Research on traffic number recognition based on neural network and invariant moments [C]//Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Hongkong: ICMLC, 2007(1): 389-393.
- [5] ZHANG Goang-yuan, CHENG Bo, FENG Rui-Jia, et al. Real-time driver eye detection method using support vector machine with Hu invariant moments [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Kunming: ICMLC, 2008(5): 2999-3004.
- [6] 张涛, 费树岷, 李晓东. 基于 GA-RBF 神经网络及边界不变特征的车辆识别[J]. 智能系统学报, 2009, 4(3): 278-282.
- [7] 刘进, 张天序. 图像不变矩的推广[J]. 计算机学报, 2004, 27(5): 668-674.
- [8] JAN F, TOMAS S. Pattern recognition by affine moment invariants [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(1): 167-174.
- [9] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory [M]. New York: Wiley, 1998.
- [10] 杜晓东, 李岐强. 支持向量机及其算法研究[J]. 信号处理与模式识别, 2005(3): 37-40.
- [11] MATLAB 中文论坛. MATLAB 神经网络 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 112-120.

Pedestrian Recognition based on Invariant Moments Algorithm

GAO Xiang-dong, YANG Da-peng, LIU Hong

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Pedestrian recognition is essential for intelligent assisted driving and intelligent vehicles. A method of pedestrian feature extraction and recognition based on invariant moments algorithm is proposed. The invariant moments have the accustomed invariance for translation, rotation and scaling of targets which can be used as the invariant characteristic vectors. It includes more details of features which are added to three expressions on the basis of HU invariant moments. The support vector machine classifier is used to test the recognition of pedestrians, and the effect of factors affecting recognition is analysed. The experimental results show that the invariant moments can be selected as the pedestrian characteristics and can give good effectiveness for pedestrian recognition. The high rate of pedestrian recognition demonstrates that the proposed method can recognize the pedestrians and non-pedestrians effectively.

Key words: invariant moment; pedestrian recognition; intelligent assisted driving; intelligent vehicle; support vector machine classifier