

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802191

# 基于四元数局部排序二值模式特征的行人识别

田甜 黄影平 胡兴 慈文彦

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

**摘要:** 行人特征提取是行人识别中关键步骤之一。传统的做法是分别从彩色图像的每个颜色通道(即 R、G、B 通道)中提取特征描述子(如方向梯度直方图(HOG)、局部二值模式(LBP)等),最后合并成一个特征向量。传统方法不足之处在于难以兼顾不同颜色通道之间的关联信息。为此,采用四元局部排序二值模式(QLRBP)运算方法从彩色图像中提取局部特征描述子。与传统方法不同的是,该方法是一种整体的方法,是在彩色图像的四元数表示空间而非 3 个颜色通道中分别提取 LBP 特征。首先,将从车载摄像头中采集的彩色图像通过四元数转换获得其四元数表示;然后,对四元数空间中图像进行 CTQ 变换,并计算变换后的图像相位;最后,在每个四元数相位上进行 LBP 运算,并生成行人彩色图像的局部特征描述子。QLRBP 能够同时处理所有的颜色通道,因此能够同时包含三通道之间的关系。在行人判定方法上,本文首先提取所有正负样本的 QLRBP 特征,并使用 K-最近邻(K-NN)算法训练分类器。在 INRIA 数据库上测试表明,QLRBP 描述子对于彩色行人的检测比其他常用的特征描述子(如 HOG 特征,LBP 特征)具有更高的精确度,性能接近当前先进的行人识别方法。

**关键词:** 行人特征提取;四元数;四元数局部排序二值模式;行人识别;K-最近邻算法

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.4

## Pedestrian recognition based on quaternionic local ranking binary pattern local descriptor

Tian Tian Huang Yingping Hu Xing Ci Wenyan

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Pedestrian feature extraction is one of the key steps in pedestrian recognition. The traditional method of pedestrian recognition is to extract feature descriptors (such as HOG, LBP) from each color channel (R, G, B channels), Finally merge into a feature vector. it is difficult to take account of the correlation information between different color channels. In this paper, we use a holistic approach to extract local feature descriptors from color images, which is called quaternionic local ranking binary pattern local descriptor (QLRBP). Unlike traditional methods, this method extracts LBP features from the quaternionic representation space instead of the three color channels. First, Encoding a color pixel using a quaternion to get the quaternionic representation (QR) of the color image which collected from a vehicle mounted camera. Then, Applying a Clifford translation to QR of the color image. Finally, Performing a local binary coding on the phase of the transformed result to generate local descriptors of the color image. QLRBP is able to handle all color channels directly in the quaternionic domain and include their relations simultaneously. In the method of pedestrian recognition, the positive and negative samples are collected first. The QLRBP features are extracted from all the samples, and the K-nearest neighbor algorithm is used to train the classifier. The method is tested on the INRIA pedestrian database and shows that it is better than other features, such as HOG features and traditional LBP features. Performance approach to the current advanced method of pedestrian recognition.

**Keywords:** pedestrian feature extraction; quaternion; quaternionic local ranking binary pattern; pedestrian recognition; K-nearest neighbour algorithm

## 0 引 言

随着经济不断发展,汽车保有量不断增加,交通状况日趋恶化,行车安全越来越为人们所关注,而针对道路上行人安全的保护是其中的重要问题之一。基于计算机视觉的行人检测在车辆辅助驾驶系统中具有重要应用价值,也是当前热门的研究课题。其重点是利用车载摄像机拍摄车前场景,检测场景中的行人并获取行人位置信息。本文的方法是基于单目摄像头的车前行人检测的研究。目前,基于特征描述子的机器学习方法是行人检测<sup>[1]</sup>中的主流方法。该类方法首先提取样本图像的特征,然后训练特征分类器,最后使用已训练的分类器对目标图像进行检测。提取一个高效且判别性强的行人特征是方法成功的关键。近年来,在行人特征提取方面的研究已有大量的成果。Papageorgiou等首先提出使用 Haar-like 特征来描述行人<sup>[2]</sup>。Dalal 等<sup>[3]</sup>在 2005 年提出的方向梯度直方图(HOG)是目前广泛使用的行人特征描述子。因为维度高、计算量大使得检测速度较慢。最近,四元数表示(QR)的彩色图像表示备受关注<sup>[4]</sup>。QR 使用四元数对像素的所有颜色分量进行编码。与 RGB 表示相比,QR 具有以下 5 个优点:1) QR 将图像的所有彩色通道结合起来<sup>[5]</sup>;2) 与其他向量方法相比,实现了相对较低的计算复杂度<sup>[6]</sup>;3) 实现向量互相关<sup>[7]</sup>;4) 方便在 3D 或 4D 空间中执行变换<sup>[8]</sup>;5) 丰富的四元数代数理论可用于彩色图像处理。

因此,本文采用一种基于彩色图像的四元数表示的局部特征描述子——四元局部排序二值模式(QLRBP)特征描述子。它以整体的方式处理所有颜色通道,不仅显示原始彩色图像的立体特征,而且对不同的变化具有鲁棒性。另外,与全局图像描述子相比,QLRBP 是一种局部图像描述子,它能从图像的局部区域提取,对遮挡、照明或视角变化更为鲁棒。在 QLRBP 中,首先对彩色图像的 QR 进行 CTQ 变换,使得 CTQ 变换后的图像相位能够确定两个彩色像素之间的顺序;然后将 LBP 编码应用于相位图像以获得 QLRBP 编码图像,从中提取局部直方图作为局部图像描述子;最后对样本提取 QLRBP 特征,使用 K-最近邻(K-NN)算法训练分类器,进行测试,识别行人。实验表明 QLRBP 能有效提高行人识别的准确率。

## 1 相关知识

### 1.1 局部二值模式(LBP)算子

LBP 首先由 Ojala<sup>[9]</sup>提出,是描述图像中局部信息的简单而有效的工具,是一种用于纹理分类的特征。在给定的  $3 \times 3$  的窗口中,给定中心像素点的灰度值  $x_m$ , 邻居像素点的灰度值  $x_n, n = 0, 1, \dots, 7$ 。首先,将图像进行灰度化处理;然后,取中心像素点的灰度值作为阈值,8 个邻居像素点的灰度值分别与阈值比较,大于等于阈值的,标记为 1, 否则标记为 0;最后,将标记邻居像素点的二进制数按照顺

时针的顺序转化为十进制数,即 LBP 值。 $x_m$  为灰度图像中  $S_m (3 \times 3)$  块的中心像素值,通过比较  $x_m$  与其周围像素大小来得到 LBP 编码如下:

$$LBP_{x_m} = \sum_{n=0}^{|S_m|-1} h(x_n - x_m) 2^n$$

$$h(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $|S_m|$  是  $S_m$  中元素的数量。在图像单元上计算直方图并用作图像特征。计算过程如图 1 所示。

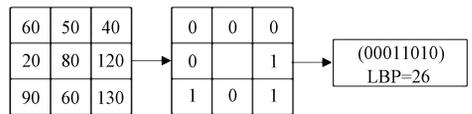


图 1 LBP 算子原理

### 1.2 基于排序的 LBP

从式(1)可以发现 1 和 0 可认作  $x_m$  和  $x_n$  之间的简单排序关系。1 表示  $x_n$  位于  $x_m$  之前, 否则  $x_n$  位于  $x_m$  之后。这个排序关系由  $x_n - x_m$  和  $h(t)$  的组合决定。从排序的角度来看,公式(1)可以写成:

$$R_{LBP}(x_m, x_n) = x_n - x_m \quad (2)$$

$$\bar{h}(x_m, x_n) = \begin{cases} 1, & R(x_m, x_n) \geq 0 \\ 0, & R(x_m, x_n) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

基于 LBP 的方法均具有相应的排序函数,排序方法对方法的性能影响较大,因为不同的排序函数能够从不同的角度展示图像的局部信息。

### 1.3 四元数和四元表示

#### 1) 四元数代数

四元数代数是 1843 年由 Hamilton 首次引入,它是复数的四维生成,有 1 个实部和 3 个虚部<sup>[10]</sup>。在一个四元数  $\dot{q} \in H$  可以用复数形式表示如下:

$$\dot{q} = a + ib + jc + kd \quad (4)$$

其中  $a, b, c$  和  $d$  是实数,  $i, j$  和  $k$  是虚数单位,满足  $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ 。 $a$  称为四元数的实部,  $ib + jc + kd$  是虚部。将实部和虚部分别表示为  $S(\dot{q})$  和  $V(\dot{q})$ , 能得到  $\dot{q} = S(\dot{q}) + V(\dot{q})$ 。

复数的几个性质也已推广到四元数,如下:(1) 结合律,  $\dot{q}^* = a - (ib + jc + kd)$ ; (2) 纯四元数,  $\dot{q} = ib + jc + kd$ ; (3) 四元数模,  $|\dot{q}| = \sqrt{\dot{q} \dot{q}^*} = \sqrt{\dot{q}^* \dot{q}} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2}$ ; (4) 单位四元数,  $|\dot{q}| = 1$ ; (5) 逆,  $\dot{q}^{-1} = \frac{\dot{q}^*}{|\dot{q}|^2}$ , 得到  $\dot{q} \dot{q}^{-1} = 1$ ; (6) 乘积的模,  $\forall \dot{q}_1, \dot{q}_2 \in H$ ,  $|\dot{q}_1 \dot{q}_2| = |\dot{q}_1| |\dot{q}_2|$ ; (7) 作为复数,四元数也可以用极数形式表示如式(5)。

$$\dot{q} = |\dot{q}| e^{i\theta} = |\dot{q}| (\cos\theta + \dot{\mu} \sin\theta) \quad (5)$$

式中:  $\dot{\mu}$  是单位四元数。用于计算  $\theta$  的四象限反正切的定义域为  $0 \ll \theta \ll \pi$ 。 $\dot{\mu}$  和  $\theta$  称为特征轴和相位(特征角),计

算如下:

$$\dot{\mu} = \frac{V(\dot{q})}{|V(\dot{q})|} = \frac{ib + jc + kd}{\sqrt{b^2 + c^2 + d^2}} \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{|V(\dot{q})|}{S(\dot{q})} = \tan^{-1} \frac{\sqrt{b^2 + c^2 + d^2}}{a} \quad (7)$$

四元数 CTQ 变换是四元数与单位四元数相乘的等距映射,定义如下:假设  $\dot{q}$  是四元数,  $\dot{p}$  是单位四元数。CTQ 的左右变换分别定义如下:

$$CTQ_r(\dot{q}, \dot{p}) = \dot{q}\dot{p} \quad CTQ_l(\dot{q}, \dot{p}) = \dot{p}\dot{q} \quad (8)$$

本文的 QLRBP 特征描述子使用了 CTQ 变换。

#### 2) 四元数的加权 $L_1$ 相位

在式(7)中定义的相位描述了  $\dot{q}$  实部和虚部之间的关系,并使用虚部系数  $(b, c, d)$  的  $L_2$  范数。但是众所周知,  $L_1$  范数因其简单性,对离群点和噪声不敏感等特点而广泛应用。在计算特征描述子时,利用  $L_1$  范数来扩展原始相位,并提出了一种新的用于  $\dot{q}$  的加权  $L_1$  相位,展示如下:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\alpha_1 |b| + \alpha_2 |c| + \alpha_3 |d|}{a} = \tan^{-1} \frac{\boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\beta}}{a} \quad (9)$$

式中:  $\boldsymbol{\omega} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)^T$  表示加权向量;  $\boldsymbol{\beta} = (|b|, |c|, |d|)^T$ 。如果  $\boldsymbol{\omega} = (1, 1, 1)^T$ ,  $\boldsymbol{\omega}^T \boldsymbol{\beta}$  是  $(b, c, d)$  的  $L_1$  范数。在式(9)中引入  $\boldsymbol{\omega}$  有两个优点,它不仅可以用来调节指定虚部分量的权重还可以通过选择合适的  $\boldsymbol{\omega}$  来改变  $\delta$  的值域。

#### 3) CTQ 变换

CTQ 具有以下性质。

**性质 1** CTQ 不改变四元数的模,即:

$$|CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})| = |CTQ_l(\dot{q}, \dot{p})| = |\dot{q}| \quad (10)$$

**性质 2** CTQ 不满足乘法的非共轭性,即  $CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})$  与  $CTQ_l(\dot{q}, \dot{p})$  不等,但它们的相位相同,即:

$$\theta_{CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})} = \theta_{CTQ_l(\dot{q}, \dot{p})} \quad (11)$$

本文用  $\theta_{CTQ(\dot{q}, \dot{p})}$  表示  $CTQ(\dot{q}, \dot{p})$  的左或右相位。

**性质 3** 如果  $\dot{q}$  和  $\dot{p}$  是纯四元数,则  $CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})$  和  $CTQ_l(\dot{q}, \dot{p})$  的加权  $L_1$  相位相等。即:

$$\delta_{CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})} = \delta_{CTQ_l(\dot{q}, \dot{p})} \quad (12)$$

#### 4) 彩色图像的 QR

在彩色图像的四元数表示中,四元数的虚部用于表示图像中的彩色像素<sup>[11]</sup>,即:

$$\dot{q} = ir + jg + kb \quad (13)$$

式中:  $r, g, b$  分别是颜色像素的红色、绿色和蓝色分量。式(13)中彩色图像的 QR 给出了四元数空间和 RGB 颜色空间之间一一对应的关系。四元数算子包括模值、相位、ROQ 和 CTQ,都能以整体的方式处理彩色图像。使得本文在四元数空间计算 LBP 时,能结合 3 个颜色通道的信息,而不是将彩色图像灰度化以后求 LBP 特征,丢失彩色图像三通道之间的联系。

## 2 基于 QLRBP 特征的行人识别

通过介绍 QLRBP 特征描述子<sup>[12]</sup>的原理及提取过程,

继而训练分类器进行行人识别。

### 2.1 四元数局部排序二值模式

#### 1) CTQ 排序四元数

LBP 可以使用不同的排序函数  $R(x_m, x_n)$  来改进性能。由于在四元数表示中,直接考虑四元数的模值或相位时,很难导出适当的排序函数,需要引入一个参考四元数,对两个四元数进行变换,再根据新相位或模对它们进行排序。

在不丢失一般性的情况下,  $\dot{q} = ir + jg + kb$  和  $\dot{p} = ir' + jg' + kb'$ , 其中  $r, r', g, g', b, b'$  分别是红色、绿色和蓝色分量的强度值,而参考四元数  $\dot{p}$  是单位纯四元数。从 CTQ 的性质,四元数的左、右 CTQ 的相位相等,以  $\dot{q}$  关于  $\dot{p}$  的右 CTQ 变换为例:

$$CTQ_r(\dot{q}, \dot{p}) = (ir + jg + kb)(ir' + jg' + kb') = -(rr' + gg' + bb') + i(gb' - bg') + j(br' - rb') + k(rg' - gr') \quad (14)$$

则  $CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})$  的相位是:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(gb' - bg')^2 + (br' - rb')^2 + (rg' - gr')^2}}{-(rr' + gg' + bb')} \quad (15)$$

如果  $\dot{q}$  和  $\dot{p}$  彼此相似,则  $CTQ_r(\dot{q}, \dot{p})$  的相位较大,可以作为两个四元数相似度的度量。 $\dot{q}$  和  $\dot{p}$  两个分量的交叉乘法的差设有相同的权重。因彩色图像的不同颜色通道包含不同的视觉信息,为了自适应特定分量的权重,使用式(9)中定义的加权  $L_1$  相位:

$$\delta = \tan^{-1} \frac{\alpha_1 |gb' - bg'| + \alpha_2 |br' - rb'| + \alpha_3 |rg' - gr'|}{-(rr' + gg' + bb')} \quad (16)$$

上式是式(15)的加权版本,通过设置不同的  $\alpha_1, \alpha_2$  和  $\alpha_3$  的值,可以突出对应颜色分量的差异。为了对 2 个四元数  $\dot{q}_m$  和  $\dot{q}_n$  排序,首先用给定的参考四元数  $\dot{p}_1$  对它们进行 CTQ 变换,然后根据经 CTQ 变换后的 2 个四元数的相位值(由式(16)给出)做出排序决策。排序函数表示为:

$$R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_n) = \delta_{CTQ(\dot{q}_m, \dot{p}_1)} - \delta_{CTQ(\dot{q}_n, \dot{p}_1)} \quad (17)$$

图 2 所示为 QLRBP 的框架,用不同参考四元数  $\dot{p}_t (t = 1, 2, 3)$  对彩色图像的 QR 进行 CTQ 变换,然后计算图像相位来排列相邻像素。

#### 2) QLRBP 编码

利用四元数表示 QR 和式(17)中的排序函数,可以获得彩色图像的 QLRBP 编码。原始的 LBP 算子定义在  $3 \times 3$  的窗口内,只覆盖了一个固定半径范围内的小区域,因而无法提取较大尺寸的结构纹理特征。为了适应不同尺度的纹理特征,满足旋转不变性,并且降低总体模式的数量,选择用均匀模式下的旋转不变 LBP 编码<sup>[13-14]</sup>,考虑以图像像素  $\dot{q}_m$  为中心,半径为 1,采样点为 8 的圆形区域  $S_m$  和指定的参考四元数  $\dot{p}_1$ , QLRBP 编码计算如下:

$$U(QLRBP_{p,r}) = \sum_{i=0}^{p-1} |h(R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_i)) - h(R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_{i-1}))|, \dot{q}_{-1} = \dot{q}_{p-1}$$

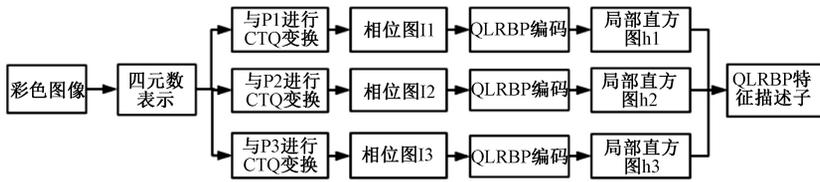


图 2 QLRBP 框架

$$QLRBP_{\dot{p}_m \dot{p}_R} = \begin{cases} \sum_{n=0}^{P-1} h(R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_n)), & U(QLRBP_{R,R}) \leq 2 \\ P+1, & \text{其他} \end{cases} \quad (18)$$

其中  $P$  是  $S_m$  中选取的采样点的数量;  $R$  为半径。式(1)和(17)定义了  $h(\cdot)$  和  $R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_n)$ 。图 3 所示为 QLRBP 在彩色图像局部区域中的具体实现。

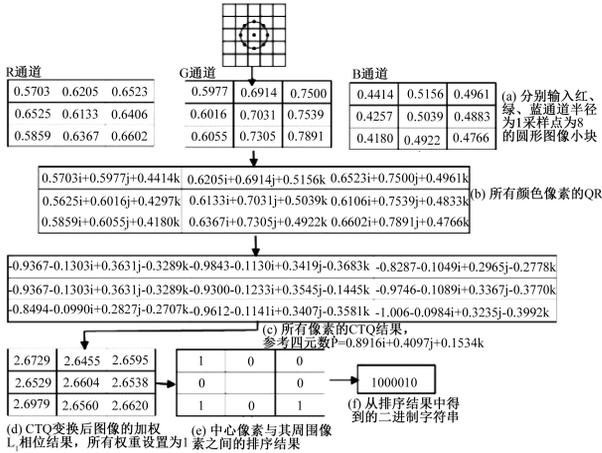


图 3 QLRBP 在彩色图像局部区域的具体实现

通过式(18)获得的编码后的图像。由排序函数  $R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_n)$  决定。不同的参考四元数会产生不同的  $R_{QLRBP}(\dot{q}_m, \dot{q}_n)$ ，图像编码也会随之而改变。利用多个参考四元数  $\{\dot{p}_1, \dot{p}_2, \dots, \dot{p}_L\}$  进行 QLRBP 编码, 能从原始图像中提取综合信息, 再将这些 QLRBP 特征级联生成最终的特征描述子。

### 3) 使用 QLRBP 的特征表示

本文方法用于识别的特征描述子是 QLRBP 编码图像的直方图。为了获得对光照、视角、姿态和遮挡等变化更鲁棒的特征, 本方法从部分重叠的图像单元块中提取直方图。所有单元块在图像内均匀分布, 并对所有细胞单元直方图进行归一化。最后, 级联归一化直方图生成原始彩色图像的 QLRBP 特征表示。在算法 1 中给出了 QLRBP 特征提取的详细步骤。

### 4) 参数选择

#### (1) 参考四元数的选择

由于彩色图像有 3 个颜色通道, 所以本文选择 3 个参

## 算法 1. QLRBP 特征描述子的提取

输入: 彩色图像  $I$ , 参考四元数设置为  $\{\dot{p}_1, \dot{p}_2, \dots, \dot{p}_L\}$ , 局部单元块的边长设为  $d$ 。

步骤 1) 用公式(13)表示  $I$  的所有像素。将四元图像表示为  $Q_i$ 。

步骤 2) For  $i = 1$  to  $L$

- (1) 用  $\dot{p}_i$  对  $Q_i$  的所有元素进行 CTQ 变换, 然后用式(16)计算变换后的图像  $CTQ(Q_i, \dot{p}_i)$  的相位;
- (2) 按式(18)执行 QLRBP 编码;
- (3) 根据边长  $d$  将 QLRBP 编码图像划分为多个重叠单元;
- (4) 计算每个单元的归一化直方图。将所有直方图组合在一起以实现特征向量  $f_i$ 。

输出: 图像  $I$  的 QLRBP 特征向量:  $\{f_1, f_2, \dots, f_L\}$ 。

考四元数用于 QLRBP。从特征提取的角度来看, 参考四元数应具有代表性, 以显示图像的颜色分布, 并且彼此不同。

经过实验, 本文采用  $\dot{p}_1 = 0.992 2i + 0.085 7j + 0.090 7k$ ;  $\dot{p}_2 = 0.091 2i + 0.990 8j + 0.099 9k$ ;  $\dot{p}_3 = 0.085 2i + 0.085 5j + 0.992 7k$ ; 作为参考四元数。

#### (2) 权重 $\alpha_1, \alpha_2$ 和 $\alpha_3$ 的选择

经过实验对比, 发现较小的权重值效果更好, 当设置为  $\{0.4, 0.5, 0.6\}$  时, 效果最好, 所以在提取 QLRBP 特征时, 本文采用上述权重值进行加权相位计算。

## 2.2 K-NN 算法

K-NN 算法是由 Hastie 等<sup>[15]</sup> 首先提出, 由 Arya 等<sup>[16]</sup> 进一步将推广应用。K-NN 算法的工作原理如下: 存在一个训练样本集, 其中每一个数据都有一个标签表示其对应的类别。输入没有标签的新数据后, 会将新数据的每一个特征与样本集中数据对应的特征进行比较, 然后提取样本集中与新数据最相似(最近邻)的分类标签。一般来说, 如果一个样本在特征空间中的  $K$  个最相似(即特征空间中最近邻)的样本中的大多数属于某一个类别, 则该样本也属于这个类别。通常  $K$  取不大于 20 的整数。这里取最大值 20。

在 K-NN 算法中, 通过计算不同特征值之间的距离实现分类, 本文采用最简单的欧氏距离来进行分类。距离越大, 代表两者之间差异越大。公式如下:

$$d_{enc}(x, y) = \left[ \sum_{j=1}^d (x_j - y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = [(x - y)(x - y)^T]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

### 3 实验比较与结果分析

#### 3.1 数据集预处理

本文采用 INRIA (<http://pascal.inrialpes.fr/data/human/>) 行人数据集作为训练和测试数据库。训练样本中有 2 416 个正样本, 1 296 个负样本。测试样本中有 1 126 个正样本, 536 个负样本。为了方便提取特征, 将训练样本图像剪切为  $64 \times 128$  的图片, 对正样本要保留包含行人的部分, 图 4 所示为部分训练样本图像。



(a) 正样本库



(b) 负样本库

图 4 部分训练样本

接下来将剪切后的训练样本进行分块, 采用  $16 \times 16$  的块大小对样本图像进行分割, 因为  $LBP_8^s$  算子<sup>[17]</sup>能表示最大比例的纹理信息, 因此, 选择  $LBP_8^s$  算子来进行 QLRBP 特征提取。

#### 3.2 实验结果

将本文的方法与 HOG、LBP、HOG-LBP<sup>[18]</sup> 融合特征、Harry-like<sup>[19]</sup> 等特征描述子进行比较。分别统计这五种方法的正样本正确分类数(TP)、正样本错误分类数(FP)、负样本正确分类数(TN)以及负样本错误分类数(FN)。结果如表 1 所示。其中如果 TP 越大或 FN 越小, 说明算法的性能越好。表 2 所示为在相同的训练样本库以及测试样本库的情况下, 不同特征算子经过 K-NN 分类器进行训练识别的识别率, 可以看出 QLRBP 特征优于其他几种特征, 提高了行人识别的准确率。图 5 所示为部分行人检测的效果。当行人所穿的衣服与背景相似或相互靠近的行人像素值差异不大时, 容易出现漏检。本文选择的特征因为充分利用了各通道的颜色信息, 对于色彩差异比较敏感,

能有效避免上述情况出现的漏检。

表 1 不同特征算子 TP、FP、TN、FN 比较

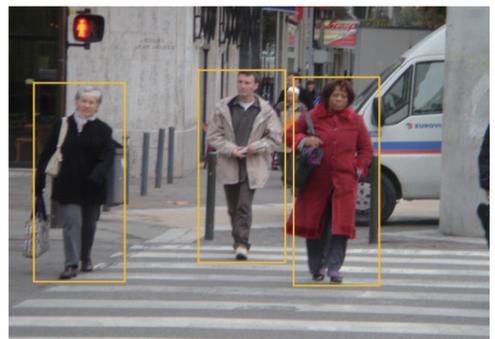
特征	TP	FP	TN	FN
Harr-like	740	73	463	582
HOG	1 008	29	507	118
LBP	1 016	17	519	110
HOG-LBP	1 020	14	522	106
QLRBP	1 028	12	524	98

表 2 不同特征算子识别率比较

特征	正确识别个数	识别率/%
Harr-like	1 203	72.3
HOG	1 515	91.1
LBP	1 535	92.3
HOG-LBP	1 542	92.7
QLRBP	1 552	93.4



(a) HOG等方法





(b) 本文方法

图 5 行人识别效果

## 4 结 论

本文利用四元数的性质和 CTQ 变换,将图像转换到四元数空间,并与改进的 LBP 算子结合,引用了能有效描述彩色图像各通道信息的 QLRBP 特征,并且使用 QLRBP 特征与 K-NN 算法进行行人识别,通过与 HOG 等其他特征的比较,实验结果显示本文方法有效的提高了行人检测的精确度。由于 K-NN 算法需要大量的计算,时间复杂度较高,未来将对 K-NN 算法进行改进,提高计算速度。

## 参考文献

- [1] 苏松志,李绍滋,陈淑媛,等.行人检测技术综述[J].电子学报,2012,40(4):814-820.
- [2] VIOLA P, JONES M J. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance [C]. International Conference on Computer Vision, IEEE, 2003:734-741.
- [3] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005: 886-893.
- [4] GUO L, DAI M, ZHU M. Quaternion moment and its invariants for color object classification [J]. Information Sciences, 2014, 273(273):132-143.
- [5] Ell T A, SANGWINE S J. Hypercomplex Fourier transforms of color images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(1):22-35.
- [6] DENIS P, CARRE P, FERNANDEZ-MALOIGNE C. Spatial and spectral quaternionic approaches for colour images[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2007, 107(1/2):74-87.
- [7] MOXEY C E, SANGWINE S J, Ell T A. Hypercomplex correlation techniques for vector images [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(7): 1941-1953.

- [8] PAUL T K, OGUNFUNMI T. A kernel adaptive algorithm for quaternion-valued inputs [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2015, 26(10):2422-2439.
- [9] OJALA T. Gray scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns[C]. European Conference on Computer Vision, Springer, 2000:404-420.
- [10] HARDY A S, CHRISTIE A S. Elements of quaternions[J]. Science, 1901, 75(2):564.
- [11] 陈北京,孙星明,王定成,等.基于彩色图像四元数表示的彩色人脸识别[J].自动化学报,2012, 38(11): 1815-1823.
- [12] LAN R, ZHOU Y, TANG Y Y. Quaternionic local ranking binary pattern: a local descriptor of color images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 25(2):566-579.
- [13] GUO Z, ZHANG L, ZHANG D. A completed modeling of local binary pattern operator for texture classification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(6):1657-1663.
- [14] OJALA T, PIETIKÄINEN M, MÄENPÄÄ T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2000, 24(7):971-987.
- [15] HASTIE T, TIBSHIRANI R. Discriminant adaptive nearest neighbor classification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1996, 18(6):607-616.
- [16] ARYA S, SILVERMAN R. An optimal algorithm for approximate nearest neighbor searching in fixed dimensions[J]. JACM,1994,45(6):573-582.
- [17] 邱天圆.基于多特征融合的行人检测算法研究[D].南京:南京邮电大学,2015.
- [18] WANG X. An HOG-LBP human detector with partial occlusion handling [J]. International Conference on Computer Vision, 2009, 30(2):32-39.
- [19] ZHANG C, LIU J, LIANG C, et al. Image classification using Harr-like transformation of local features with coding residuals[J]. Signal Processing, 2013, 93(8):2111-2118.

## 作者简介

田甜,硕士研究生,主要研究基于车载视觉的行人识别及追踪。

E-mail:837862359@qq.com

黄影平(通信作者),博士、教授、博士生导师,主要研究方向为机器视觉、汽车电子等。

E-mail:huangyingping@usst.edu.cn