

基于 5G 手机的交叉路口行人检测*

黎帆¹, 杨成成^{2**}, 蒋建春²

(1. 成都工业学院 学生处, 成都 611730; 2. 重庆邮电大学 汽车电子与嵌入式系统工程研究中心, 重庆 400065)

摘要:针对目前在交叉路口通过摄像头进行行人识别与检测容易受到天气的影响,且摄像头统计范围有限的问题,利用 5G 通信低时延的特性,提出了一种基于 5G 手机的交叉路口行人检测方法。该方法采集行人携带的 5G 移动终端的位置、速度、密度、方向 4 个典型运动特征,然后在路侧设备上建立模型进行行人检测,降低单一运动特征的行人检测造成的误差,提高了准确率。通过搭建车联网测试平台对该方法的有效性进行验证,试验结果表明:该方法可以准确地统计交叉路口行人,同时也实现了满意的检测速度,为未来的智能交通、安全预警等方向研究和应用提供技术支持。

关键词:5G; 交叉路口; 行人检测; 运动特征; 移动终端; 路侧设备

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2020)01-0033-09

0 引言

随着 5G 通信技术的不断发展和成熟,支持 V2X (Vehicle to Everything) 的 C-V2X (Cellular Vehicle to Everything) 将作为 5G 通信的一部分,更好地实现人、车、路、云之间的通信^[1-3]。V2X 车联网依靠发达的网络技术和通信技术制定安全高效的道路通行策略,提供了解决交通问题的契机^[4]。交叉路口由于交通流量较大,是交通拥堵和交通事故的高发区域,如何制定高效的交叉路口车辆、行人通行策略和减少交通事故是车联网现阶段的研究重点^[5-6]。要实现交通调度与安全预警,需要解决交通对象的识别与实时统计问题,其中行人作为交通对象的一种,其检测与统计比车辆更难。

在行人检测方面,目前主要采用基于图像、雷

达、激光、红外线等方式^[7-10],这些方式方法对能见度、温度、仪器精度等条件要求较高,行人运动状态监测难,并且处理时间较长,在交叉路口实际交通场景中的应用范围有限,成本高。因此,寻求一种便捷、高效的行人检测方法是当前主要的研究方向。

本文提出基于 5G 通信的交叉路口行人检测方法,综合考虑行人在交叉路口的位置、速度、密度、方向等多个运动特征,建立交叉路口行人运动模型,提高检测效率,降低基于行人单一运动特征的行人检测造成的误差。在车联网测试环境进行试验分析,验证了方法的可行性。

1 基于 5G 的信息获取系统结构

基于 5G 的通信框架利用路侧设备接收和广播交叉路口各类交通信息,车载设备将车辆的状态信

收稿日期:2019-05-09;修回日期:2019-06-18.

* 基金项目:国家重大专项基金(2018ZX03001023-006).

作者简介:黎帆(1981—),女,四川成都人,硕士,从事计算机应用研究.

** 通讯作者:杨成成(1993—),男,贵州毕节人,硕士研究生,从事交通对象识别研究. Email:814616524@qq.com.

息广播到周围环境并接收来自其他设备的信息,行人携带的移动终端将自身的状态信息发送到路侧设备并接受来自其他设备的信息。行人检测中的数据收集借鉴传统无线传感器网络的模式,采用树形结构和分簇结构相结合的 5G 信息收集模型^[11],如图 1 所示。

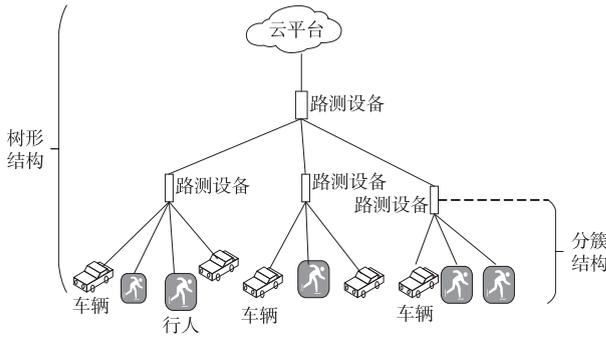


图 1 5G 信息收集模型

Fig. 1 5G information collection model

5G 通信框架中,行人和车辆一样作为传感器网络的叶子节点,按照区域分簇,将收集的数据发送给它的父节点,父节点的路侧设备将收集到的数据进行检测后把结果传输给它的父节点,这样形成层层向上传输的模式,最后将数据传送到云管理平台。

行人的信息采集采用支持 C-V2X 的移动终端,未来的 5G 也会支持 C-V2X 功能,之后就可以采用 5G 智能手机作为采集设备,降低成本,提高普及率。

根据该系统结构,本文研究的行人检测可以分为如下几个部分:

在移动终端采集行人交叉路口的位置、速度、密度、方向等行人信息;在路侧设备建立基于位置、速度、密度、方向的行人检测模型;路侧设备根据移动终端的运动信息,进行行人检测。

2 交叉路口行人特征

2.1 位置

行人位置包括经纬度、海拔信息,它是交叉路口行人检测中需要考虑的首要因素。交叉路口按照功能可以分为人行道、自行车道、机动车道、斑马线等区域,不同交通参与者在不同区域位置出现的概率不同。

行人行动自由度比较高,在交叉路口的各个位置都有可能出现,但在不同区域出现的概率有明显的区别,行人在交叉路口不同区域出现的概率可以用式(1)表示。

$$P_{roadType} = p(roadType) \quad (1)$$

式(1)中, $roadType$ 为道路类型编号,0—3 分别表示人行道、斑马线、机动车道、自行车道等。

图 2 是交叉路口功能区域分布图,重叠区域 3 和重叠区域 4 是道路使用者在经过斑马线区域时由于个人习惯、人流量大等因素在斑马线区域外出现的区域。重叠区域 3 表示为 $\{(x, y) | x \in L_2, y \in d_6\}$,重叠区域 4 表示为 $\{(x, y) | x \in L_2, y \in d_5\}$ 。根据行人的行为习惯,重叠区域 3 的宽度 d_6 一般为斑马线与停止线之间的距离,在 100 ~ 300 cm 之间, d_5 与 d_6 相同。

不同区域移动终端携带者类别与所在区域之间的关系如式(2)所示。

$$\sum_{roadType=0}^3 (p_{pedes}(roadType) + p_{vehi}(roadType) + p_{bicy}(roadType)) = 1 \quad (2)$$

式中, $P_{pedes}(roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域出现行人的概率, $P_{vehi}(roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域出现车辆的概率, $P_{bicy}(roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域出现自行车的概率。

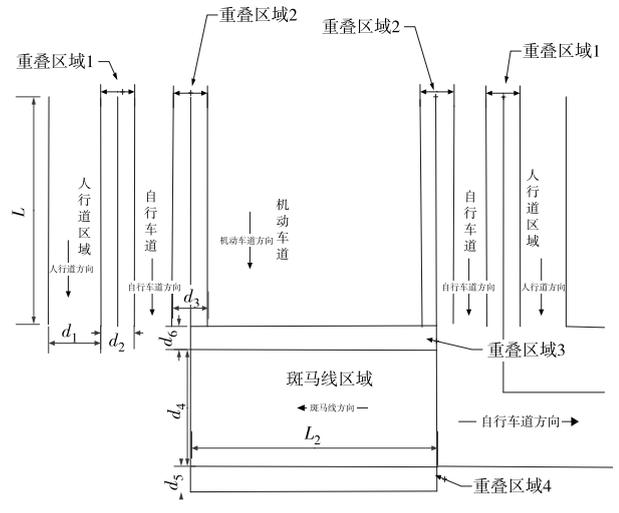


图 2 交叉路口功能区域图

Fig. 2 Intersection function area map

2.2 速度

在交叉路口,不同类型的交通参与者的瞬时速度

度可能相同,但不同种类的交通参与者平均速度和速度方差有明显的差别,与车辆相比,行人有速度慢、速度变化小的特点。行人速度均值、速度标准差与其他道路使用者相比有很大的差别,在行人检测中通过这些特征可以过滤掉其他道路使用者,减少行人检测时间。

行人的瞬时速度可直接由移动终端的定位芯片测出,当车辆在交叉路口减速时可能车辆与行人的瞬时速度极为相近,根据瞬时速度不能准确区分车辆和行人。根据平均速度、方差和标准差可以表现速度的大小水平和变化幅度。平均速度可以根据瞬时速度和距离时间两种方式计算,一般行人速度均值的取值区间为 $[3,6]$ (单位:km/h),行人方差和标准差较小,一般小于 1。式(3)用于计算交叉路口行人速度平均值、方差和标准差。

$$\begin{cases} \bar{v} = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N v_i = L/t \\ \sigma^2 = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2 \\ \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, \bar{v} 为行人速度的平均值, v_i 为第*i*次取样的行人速度, L 为前进距离, t 为花费的时间, N 为速度采样次数, σ^2 为行人速度的总体方差, σ 为行人速度的标准差。

2.3 密度

由于交叉路口行人的位置、速度、密度、方向等特征存在相互制约的关系,通过密度判定能够提高行人检测的精确度。

行人密度使用单位面积检测到的行人数量表示,如式(4)所示。

$$\rho = \frac{1}{S} \times n \quad (4)$$

式(4)中, S 为交叉路口的面积, n 为交叉路口行人数量。

在一定范围内,行人的行走速度和行人所在区域的行人密度存在相互制约的关系,表 1 显示了行人行走时的速度与密度的关系。由表中数据看出:当行人密度小于 0.83 人/ m^2 时,行人可以以正常速度行走。

表 1 不同密度下行人通行状况

Table 1 Pedestrian walking conditions of different densities

序号	行人密度(人/ m^2)	描述
1	$[0,0.83]$	行人的活动不受周围行人的影响,速度为正常行走速度值。
2	$(0.83,1.1]$	行人速度受到一定限制,但可以慢速前进,速度值在正常行走速度 $\frac{1}{2}$ 范围内。
3	$(1.1,1.7]$	行人通行受到阻碍,停留在所在区域慢速前进,速度为正常速度的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ 。
4	$(1.7,3.3]$	行人通行受到严重限制,速度接近 0,有极其缓慢的移动。
5	大于 3.3	行人无法通行,速度为 0。

2.4 方向

移动终端直接提供航向角的硬件,但直接获取的航向角受移动终端携带方式、道路坡度等影响,如果直接用来表示其携带者的前进方向会有较大的误差。行人在交叉路口的方向自由度较高,可以结合其邻域进行表示,如图 3 所示, G 代表行人当前位置区域的单位面积,周围的区域为其前进方向邻域,不同的邻域集合代表下个时刻行人所在位置,两个位置之间的连线为行人的前进方向。假设道路方向是图 3 所示的区域一和区域三, $G1$ 是 G 的邻域,且 $G1$ 是行人接下来的位置。当道路使用者下个时刻在这两区域出现,代表其沿着道路方向前进,如果在其他区域出现,则表示道路使用者横穿此区域。

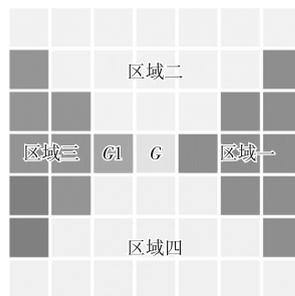


图 3 领域方向表示

Fig. 3 Field direction representation

行人前进方向在交叉路口不同区域出现的概率基本符合统计学特征,图 4 表示道路类型为斑马线时行人方向概率分布图。行人的前进方向与道路方向的夹角为 θ , 概率分布以道路正方向、反方向为中心轴对称分布。

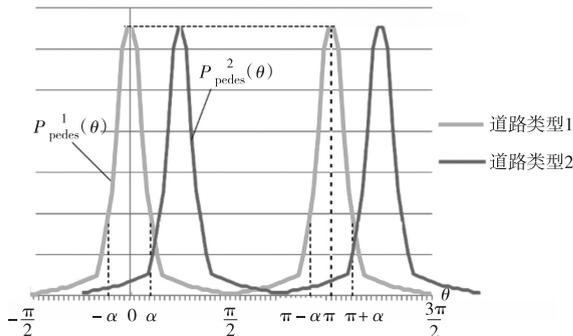


图 4 斑马线不同区域行人方向概率图

Fig. 4 Probability map of pedestrian direction in different areas of zebra crossing

图 4 中 $P_{pedes}^1(\theta)$ 和 $P_{pedes}^2(\theta)$ 分别表示交叉路口区域道路类型 1 和道路类型 2 的行人分布与行人前进方向的函数关系,是行人在某一区域前进方向的概率统计,行人前进方向与道路方向夹角的集合表示为 $[-\alpha, \alpha] \cup [\pi - \alpha, \pi + \alpha]$, 函数 $P_{pedes}^1(\theta)$ 满足式(5), $P_{pedes}^2(\theta)$ 满足同样的函数关系:

$$\int_{\theta = -\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} P_{pedes}^1(\theta) = 1 \quad (5)$$

式(5)中, θ 为行人前进方向与其所在区域道路方向的夹角。

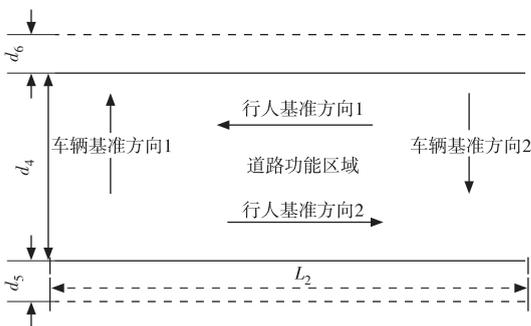


图 5 交叉路口道路使用者的方向示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the road user at the intersection

如图 5 所示,交叉路口道路使用者在某区域的行走方向一般有 4 种,分别沿道路垂直分布或水平分布,可以将这 4 种方向作为此区域的基准方向。

理想状态下,车辆的行驶方向和行人前进方向

与道路方向垂直或平行。但在实际交通场景中,受交通流、个人习惯等因素的影响,道路使用者在交叉路口区域通行的方向随时会发生变化,出现与其所在区域的基准方向产生偏角的现象,图 6 所示为本文研究中斑马线区域道路使用者的方向分布。

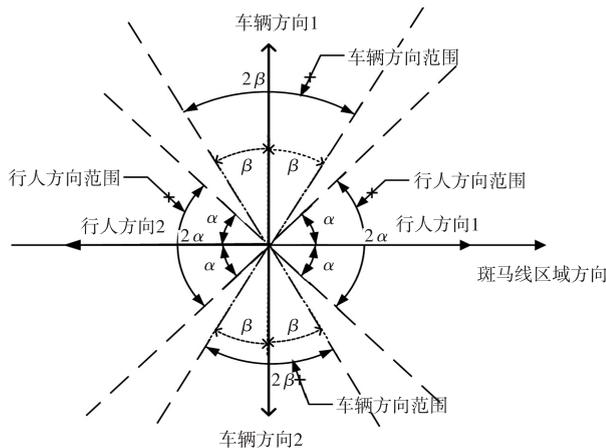


图 6 斑马线区域道路使用者方向分布

Fig. 6 Direction distribution of road users in zebra crossing area

在斑马线区域和人行道车道,行人前进方向与道路的方向夹角在 α 范围内,车辆方向与道路方向夹角在 β 范围内。即斑马线和人行道区域行人方向与道路方向的夹角范围为 $[0, \alpha]$ 。行人横穿机动车道时与机动车道方向的夹角范围为 $[\pi/2 - \alpha, \pi/2]$ 。

2.5 行人特征间关系

行人在交叉路口的运动受多种因素影响,运动特征间也存在相互影响。速度 v 受位置、周围交通参与者密度和方向的影响,如式(6)所示。

$$\begin{cases} v(0) = v_{initial} \\ v(t) = v(t-1) \times w_t \\ w_t = f(w_{pos}(t), w_{\rho}(t), w_{dire}(t)) \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中, $v_{initial}$ 为不受任何因素影响的行人速度, $w_{pos}(t)$ 为位置对行人速度的影响, $w_{\rho}(t)$ 为行人密度对行人速度的影响, $w_{dire}(t)$ 为行走方向对行人速度的影响, w_t 为其他因素对速度的影响。

交通参与者在交叉路口的位置分布比较复杂,存在行人、自行车不在其规定范围内活动的情况。对于自行车,目前国内很多城市的自行车道设置在人行道和机动车道之间,在位置定位误差较大的情况下无法仅依靠位置信息准确区分行人和自行车。

行人密度与所处位置有直接关联,并且行人的密度与其速度存在相互作用,当周围其他移动终端携带者比较少时速度会比较快,当周围行人比较多时整体通行速度就会受影响而减慢。式(7)表示行人速度与密度的关系。

$$C(t) = \rho(t) \times v(t) \quad (7)$$

式(7)中, $C(t)$ 为 t 时刻道路单位长度的行人数, $\rho(t)$ 表示 t 时刻行人密度, $v(t)$ 表示 t 时刻行人平均速度。

道路单位长度的流量守恒公式如式(8)所示:

$$C(t+1) = C(t) + \frac{1}{L_{roadType}} (r_{roadType}(t) - u_{roadType}(t)) \quad (8)$$

式(8)中, $r_{roadType}(t)$ 为 $roadType$ 区域的行人单位时间流入量, $u_{roadType}(t)$ 为 $roadType$ 区域的行人单位时间流出量, $L_{roadType}$ 为 $roadType$ 区域的长度。

交叉路口行人流入流出量存在如式(9)所示的关系:

$$\sum (r_{roadType}(t) + u_{roadType}(t)) = 2 \sum x(t) \quad (9)$$

式(9)中, $x(t)$ 为单位时间内交叉路口方向发生改变的行人数。

3 行人检测模型

根据行人特征判断移动终端携带者是否为行人,如式(10)所示。

$$F = f(pos, v, \rho, dire, w) \quad (10)$$

式(10)中, pos 为行人位置, v 为行人速度, ρ 为行人密度, $dire$ 为行人行走方向, w 为其他干扰因素。

交叉路口的区域集合表示为 S , $S_{roadType}$ 是交叉路口 $roadType$ 区域的位置集合,则交叉路口区域集合与每一类型道路的集合存在如式(11)所示的关系:

$$S = \sum S_{roadType} \quad (11)$$

交叉路口区域行人、车辆、非机动车的概率之间的关系如式(12)所示:

$$\sum P(objType) = 1 \quad (12)$$

式(12)中, $P(objType)$ 是交通参与者 $objType$ 出现概率。行人所在位置的影响因子如式(13)所示:

$$q_{pos} = \frac{S_{roadType}}{S} \times P(\text{pedes}) = \frac{n_{pedes}(roadType)}{n_{obj}(roadType)} \quad (13)$$

式(13)中, $n_{pedes}(roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域的行人总数, $n_{obj}(roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域的道路使用者总数。

行人速度对行人检测的影响因子如式(14)所示。从宏观上考虑,行人速度分布符合概率分布特征,一般以平均速度为对称中心。

$$q_v = p_v(v, roadType) \quad (14)$$

式(14)中, $p_v(roadType)$ 是 $roadType$ 区域行人速度概率分布函数,则行人速度概率函数满足式(15):

$$\int_{v_1}^{v_2} p_v(v, roadType) dv \rightarrow 1 \quad (15)$$

式(15)中, v_1 为行人行走速度下限, v_2 为行人行走速度的上限。交叉路口的行人密度存在如式(16)的关系:

$$\sum (\rho_{roadType} \times S_{roadType}) = C(t) \times L_{roadType} \quad (16)$$

式(6)中, $\rho_{roadType}$ 为交叉路口 $roadType$ 区域的行人密度。行人密度 ρ 对行人检测的影响因子表示如式(17)所示:

$$q_\rho = p_\rho(\rho, roadType) \quad (17)$$

其中, $p_\rho(\rho, roadType)$ 是行人在 $roadType$ 区域的密度分布函数,且满足式(18):

$$\int_{\rho_1}^{\rho_2} p_\rho(\rho, roadType) d\rho \rightarrow 1 \quad (18)$$

式(18)中, ρ_1, ρ_2 分别为 $roadType$ 区域行人密度最小值和最大值。

基于5G的行人检测分析交叉路口行人的运动特征,在获取到移动终端的运动信息后,根据移动终端的位置、速度、密度、方向可判断携带者的类别,如图7所示。当检测到移动终端的位置处于交叉路口区域,移动终端速度满足行人速度特性,但是方向不在行人方向范围内,这种现象需要考虑行人活动自由度比较高的情况,所以需要再次采集移动终端消息进行检测。如果接下来位置在机动车道区域且方向一直不在行人方向范围内,则确定此移动终端的携带者为机动车驾驶员,否则为行人或自行车。通过研究交叉路口区域行人特征,可以得出行人检测需要满足4个条件:检测接收到的位置

在行人区域;移动终端的速度、平均速度、速度方差一直满足行人速度条件;运动符合行人的速密关系;移动终端方向与道路区域方向之间的夹角在行人方向范围内。

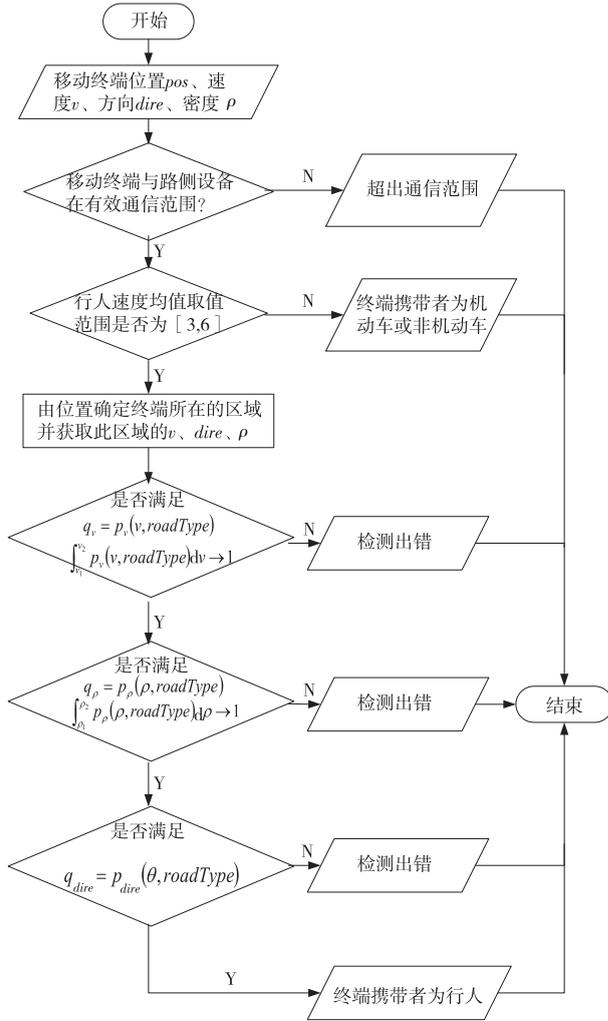


图 7 5G 手机携带者类别检测流程图

Fig. 7 5G mobile phone carrier category detection flow chart

行人方向与道路方向间夹角 θ 对行人检测的影响因子如式(19)所示:

$$q_{dire} = p_{dire}(\theta, roadType) \quad (19)$$

式(19)中, $p_{dire}(\theta, roadType)$ 为交叉路口 $roadType$ 区域行人行走方向的概率分布函数。

通过以上对行人运动特征的分析,行人检测模型表示如式(20)所示:

$$\{(pos, R_v, \rho, \theta) \mid \theta \in B, \rho = \{\rho(t_1), \dots, \rho(t_n)\}\} \quad (20)$$

式(20)中, B 为行人方向集合。

$$R_v = \{(V_{pedes}, \bar{v}, \sigma_2, \sigma) \mid v_1 < \bar{v} < v_2, 0 < \sigma_2 < 1, 0 < \sigma <$$

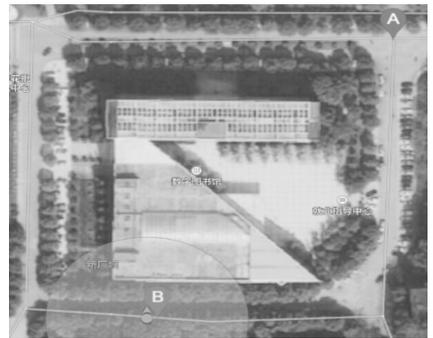
$1\}, V_{pedes} = \{v(t_1), \dots, v(t_n)\}$ 为行人速度集合,行人速度和密度满足行人速密关系。

4 试验结果与分析

本节验证和分析基于 5G 手机的交叉路口行人检测方法,首先搭建车联网测试平台,利用实验室设计的高精度定位的 5G 终端作为行人便携式终端,结合高精度地图验证基于 5G 手机的行人检测的可行性与准确率。

4.1 可行性验证

为了验证本文研究的行人检测方法的可行性,分别将终端由驾驶员和行人携带,每次采样时间是 1 s。图 8 (a)显示了终端 A 和终端 B 在某一时刻的位置,此时终端 B 所在位置是交叉路口的机动车道,周围的终端密度为 0.2,与道路夹角为 3.5° ,终端 B 旁边的标识代表车载单元,在终端 B 的运动过程中,与车载设备保持相对位置不变。终端 A 周围的终端信号密度为 1.23,在交叉路口的斑马线区域,与斑马线夹角为 5° 。图 8 (b)和 8(c)分别是终端 A 和终端 B 的运动轨迹映射到地图上的效果。图 9 显示了终端携带者速度变化情况。



(a) 5G 终端位置信息显示



(b) 终端 A 运动轨迹



(c) 终端 B 运动轨迹

图 8 终端运动轨迹

Fig. 8 Terminal motion track

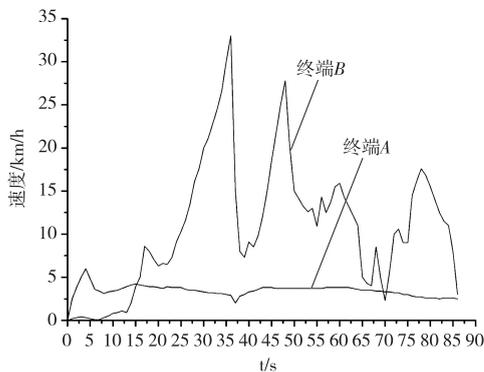


图 9 终端运动速度变化图

Fig. 9 Terminal motion speed change diagram

表 2 终端速度特征表

Table 2 Terminal speed characteristics table

	平均速度 (km/h)	速度方差	标准差
终端 A	3.215 988	0.361 642	0.601 366
终端 B	10.631 140	57.209 090	7.563 669

表 2 是终端 A 和终端 B 运动的平均速度、速度方差和标准差。由图 8 可以看出终端 A 的方向变化较大,终端 B 的方向变化与道路方向基本一致。通过分析图 8 和表 2,可以看出终端 B 的平均速度大并且速度变化快,不在行人的速度和方差范围内。终端 A 速度是正常行人的速度范围,且在交叉路口的方向和位置符合行人特征。由以上分析可以判断出终端 A 的携带者为行人。

通过以上的测试分析可以看出,该模型成功检测出了行人信息,验证了设计的多特征交叉路口行人检测模型是可行的。

4.2 行人检测耗时对比

本文和文献[12-14]中的基于图像的行人检测

的耗时对比如表 3 所示。

对比表 3 可以看出:本文提出的方法检测平均所耗费的时间比另外两种使用图像的方式检测行人的时间要少很多,极大地提高了检测的实时性,能够满足车联网中与行人相关的应用场景要求。

表 3 行人检测耗时对比表

Table 3 Pedestrian detection time comparison table

方 法	RPN+BF	ACF	DBSCAN+DFPFH+SVM	本文方法
检测时间/ms	492	46	15	2.36

4.3 行人检测准确率和召回率分析

准确率(Precision, P)代表检测到的正确行人人数占检测到的行人总数比重,召回率(Recall, R)代表检测到的正确行人人数占实际的行人总数比重。具体公式如下:

$$P = \frac{\text{检测到的正确行人人数}}{\text{检测到的行人总数}}$$

$$R = \frac{\text{检测到的正确行人人数}}{\text{实际总行人人数}}$$

目前,没有通过运动传感器记录人体运动特征的行人数据库,因此通过实验室的设备进行了若干人次的行人检测试验。为了更好地评价本文所采用的行人检测方法,与文献[12-14]中的行人检测方法进行对比,表 4 为几种行人检测方法的准确率和召回率的对比。

表 4 对比试验结果

Table 4 Comparison test results

检测方法	总行人人数/个	正确检测数	总检测数	准确率/%	召回率/%
RPN+BF	958	718	731	98.2	74.9
ACF	958	814	840	96.8	84.9
DBSCAN+DFPFH+SVM	958	900	956	93.9	94.1
本文方法	958	893	930	96.0	93.2

从表 4 可以看出,本文采用的方法准确率高于基于雷达 DBSCAN+DFPFH+SVM 的检测方法,略低

于 ACF 和 RPN+BF 两种检测方法,但是在召回率上都远高于 ACF 和 RPN+BF 两种检测方法,略低于 DBSCAN+DFPFH+SVM。主要由于本文方法采用了行人的多运动特征进行分类识别,提高了分类精度,上面的耗时分析同时可以看出本文方法是远低于其他方法,因此本文的方法整体综合性能属于最佳。

5 结束语

行人检测是车联网和智能交通一直研究的重要内容,此外研究的行人检测方法基于 5G 通信框架,通过路侧设备采集移动设备信息,建立了以路侧设备为基准的坐标空间,减少了移动设备的运动对信息精度的影响。对交叉路口区域的行人运动特征建立行人检测模型,消除了声波、视觉和图像处理造成的盲区,降低了对环境能见度的要求,在保障通信流畅的前提下不受环境条件的影响,同时模型考虑了多个运动特征,分析了行人运动特征间的关联性,减少了基于单一特征对行人检测造成的误差,极大地提高了准确率。试验结果表明该方法对行人检测更有效,检测的准确率和召回率高,实时性强。对该行人检测方法在其他场景的适应性,将在未来的研究中进一步完善。

参考文献(References):

[1] MOLINA-MASEGOSA R , GOZALVEZ J . LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications[J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2017, 12(4) : 30—39

[2] CONDOLUCI M , DOHLER M , ARANITI G , et al. Toward 5G Densenets: Architectural Advances for Effective Machine-type Communications Over Femtocells [J]. IEEE Communications Magazine, 2015, 53(1) : 134—141

[3] DI B , SONG L , LI Y , et al. V2X Meets NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access for 5G-Enabled Vehicular Networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2017,24(6):

14—21

[4] 王晓,要婷婷,韩双双,等. 平行车联网: 基于 ACP 的智能车辆网联管理与控制[J]. 自动化学报, 2018, 44(8):1391—1404
WANG X , YAO T T , HAN S S , et al. Parallel Car Networking: ACP-based Intelligent Vehicle Network Management and Control[J]. ACTA Automatica Sinica, 2018, 44(8) : 1391—1404(in Chinese)

[5] SUN W , WU X , WANG Y , et al. A Continuous-flow-Intersection-lite Design and Traffic Control for Oversaturated Bottleneck Intersections[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 56(5) : 18—33

[6] CHEN L , EGLUND C. Cooperative Intersection Management: A Survey [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, 17 (2) : 570—586

[7] FORSYTH D, Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models, Computer, 2014, 27 (2) : 6—7

[8] DOLLAR P , APPEL R , BELONGIE S, et al. Fast Feature Pyramids for Object Detection[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2014, 36(8) : 1532—1545

[9] TIAN Y , LUO P , WANG X , et al. Deep Learning Strong Parts for Pedestrian Detection [C]// 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). IEEE, 2015

[10] CHAVEZ-GARCIA R O , AYCARD O . Multiple Sensor Fusion and Classification for Moving Object Detection and Tracking [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015,17(2) :1—10

[11] CHEN S , HU J , SHI Y , et al. Vehicle-to-Everything (v2x) Services Supported by LTE-Based Systems and 5G [J]. IEEE Communications Standards Magazine, 2017(2) : 70—76

[12] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T. et al, “Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation [C]//2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Columbus, OH, USA, 2014

[13] 陈光喜,蔡天任,黄勇,等. 基于聚合通道特征及卷积神经网络的行人检测[J]. 计算机工程与设计, 2018,

39(7) : 2059—2063,2068

CHEN G X , CAI T R , HUANG Y , et al. Pedestrian Detection Based on Aggregate Channel Characteristics and Convolutional Neural Network[J]. Computer Engineering and Design, 2018, 39 (7): 2059—2063, 2068 (in Chinese)

器的行人检测方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2019, 12(6) : 1—6

HAN X F , LU J F , LI X R , et al. Pedestrian Detection Method Based on Laser Radar Sensor [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2019, 12(6) : 1—6(in Chinese)

[14] 韩晓枫,陆建峰,李祥瑞,等. 一种基于激光雷达传感

Pedestrian Detection at Intersections Based on 5G Mobile Phones

LI Fan¹ , YANG Cheng-cheng² , JIANG Jian-chun²

(1. Student Office, Chengdu Institute of Technology, Chengdu 611730, China; 2. Engineering Research Center of Automotive Electron and Embedded System, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: According to utilizing the low latency of 5G communication, a 5G mobile phone based pedestrian detection method was proposed to solve the problem that the recognition and detection of pedestrians through cameras at intersections are susceptible to weather and that the statistical range of cameras is limited. According to the four typical motion characteristics of 5G mobile terminal carried by pedestrians, such as position, speed, density and direction, this method establishes a model on the roadside equipment for pedestrian detection to reduce the error caused by pedestrian detection of a single motion feature and improve the accuracy. The validity of the method is verified by building an Internet of vehicles test platform. The experimental results show that this method can accurately count the number of pedestrians in road intersections, and work well in detection speed, which provides technical support for future research and application of intelligent transportation and safety early warning.

Key words: 5G; intersection; pedestrian detection; motion characteristic; mobile terminal; road side unit

责任编辑:李翠薇

引用本文/Cite this paper:

黎帆,杨成成,蒋建春. 基于 5G 手机的交叉路口行人检测[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2020, 37(1) : 33—41
LI F, YANG C C, JIANG J C. Pedestrian Detection at Intersections Based on 5G Mobile Phones[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2020, 37(1) : 33—41