

连续流交叉口行人延误计算模型^{*}

赵靖[†], 陈志芳, 马晓旦
(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 为了准确评价连续流交叉口行人过街服务水平, 为优化设计提供依据, 对其行人延误进行了研究。针对连续流交叉口三种行人过街设计模式, 根据行人到达离散的特性, 对不同行人流向(包括直行和对角穿行)的延误进行建模。利用 VISSIM 仿真对模型的准确性进行了验证, 其偏差均小于 3%。通过敏感性分析, 探讨了车辆需求、行人需求、斜穿交叉口行人比率对三种模式运行性能的影响。研究表明, 传统行人过街模式主要适用于机动车和行人流量均较小的情况; 穿插式行人过街模式主要适用于机动车和行人流量较大的情况; 而行人专用相位过街模式虽然被选为最优的情况较少, 但其对于流量和流向比例变化的敏感最低, 适用于交通需求波动性较大的情况。

关键词: 连续流交叉口; 行人过街; 人均延误; 交通流

中图分类号: TP391; TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2018)09-2588-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2018.09.006

Pedestrian delay models for continuous flow intersections

Zhao Jing[†], Chen Zhifang, Ma Xiaodan

(Business School, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to accurately evaluate the level of service of pedestrians and provide the basis for the optimized design, this paper analyzed the pedestrian delay of the continuous flow intersection. According to the characteristics of streams of pedestrians' arriving and leaving, this paper established the pedestrian delay models of different directions (namely straight and diagonal) for three pedestrian crossing patterns of the continuous flow intersections. VISSIM verified the accuracy of the models and the deviation was less than 3%. It discussed the effects of three key factors, namely the vehicle demands, pedestrian demands and percentage of diagonal crossing on the delay of the pedestrians under three modes by sensitivity analysis. The results show that the traditional pedestrian crossing pattern mainly applies on the conditions that vehicle and pedestrian demands are low. The pattern of interspersed pedestrian crossing is mainly applicable to the conditions of high vehicle and pedestrian demands. It is least when it selects the pattern of exclusive pedestrian crossing phase as the optimal design, but it can apply to traffic demands fluctuating largely for its insensitive to volume and percentage of diagonal crossing.

Key words: continuous flow intersection; pedestrian crossing; pedestrian delay; traffic flow

0 引言

交叉口是城市道路通行能力的瓶颈节点, 其交通问题主要由于其复杂的交通流向引起。为了更好地处理左转与直行交通间的冲突, 一种连续流交叉口的设计模式被提出。它将左转车辆与对向直行车辆的冲突点提前到交叉口上游, 消除了主交叉口左转车辆与对向直行车辆引起的冲突, 从而提高了交叉口通行能力。连续流交叉口最早于 1987 年由 Mier 等人^[1]提出, 旨在提高交叉口整体通行能力, 减少车均延误。国内外继而对此进行了一系列理论研究与实践检验, 包括几何设计、信号控制、运行效益评价等。

几何设计方面, Inman^[2]基于驾驶模拟器实验, 对连续流交叉口的标志标线系统进行了研究, 以提高其视认性。Hughes 等人^[3]给出了连续流交叉口中左转车道长度、预信号交叉口宽度、转弯半径等一系列细部尺寸建议。Tanwanichkul 等人^[4]进一步利用 VISSIM 仿真对主信号和预信号交叉口不同间距情况下的交通运行状况进行对比, 给出了主、预信号间距在不同交通需求情况下的建议值。范筱洁^[5]通过 Synchro 仿真得出其适用的交通流总量及各流向交通量比例范围。

信号控制方面, Tarko 等人^[6]针对连续流交叉口的通行特征, 制定了信号配时的基本策略。在此基础上, Esawey 等人^[7]考虑了各进出口车道流量均衡及不均衡两种情况, 提出了一种由六个相位组成的信号控制方法, 并应用 Synchro 软件实现。Zhao 等人^[8]将交叉口形式、车道功能、左转车道长度和信号配时建立在一个统一的模型中, 实现了几何设计与信号控制的协同优化。

效益评价方面, 刘秋晨等人^[9]从交通空间设计、交通组织设计、交通控制设计三个方面研究连续流交叉口的的设计方法, 并采用 VISSIM 仿真对传统平面交叉口和连续流交叉口的设计方案进行对比评价。实际应用中, 2006 年于巴顿鲁治建成的连续流交叉口使下午高峰时期车辆的平均延误由 4 min 减为 30 s^[10]。2007 年于犹他州 3500South 公路和 Bangerter 公路建成连续流交叉口通车后, 车辆的平均等待时间降低了 50%, 通行能力提高了 31%, 验证了连续流交叉口的实际意义。

上述针对连续流交叉口的研究主要集中于机动车, 但在我国, 步行是一种重要的出行方式, 处理好连续流交叉口的行人过街交通, 是其在我国应用的必要条件。对此, Jagannathan 等人^[11]提出了连续流交叉口行人信号的要求。Coates 等人^[12]进一步提出了一种旨在提高连续流交叉口行人安全的人行横道

收稿日期: 2017-05-04; 修回日期: 2017-06-28 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51608324)

作者简介: 赵靖(1983-), 男(通信作者), 副教授, 博士, 主要研究方向为交通系统设计、交通管理及控制(jing_zhao_traffic@163.com); 陈志芳(1992-), 女, 硕士, 主要研究方向为交通信号控制与设计; 马晓旦(1966-), 男, 副教授, 主要研究方向为交通规划与交通控制。

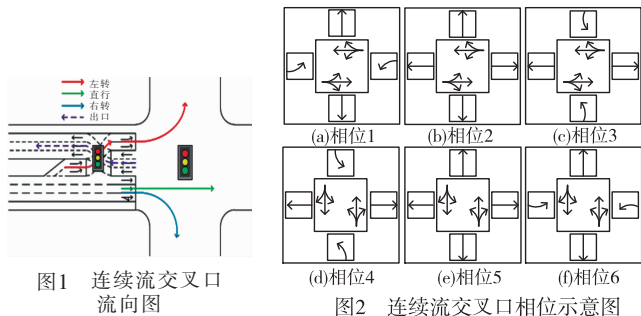
几何及信号配时方法。但这些研究并未为对连续流交叉口行人过街延误进行深入探讨。

对于常规交叉口行人延误,目前已建立了一系列的计算模型。美国的通行能力手册^[13]和日本的交通信号控制手册^[14]都建立了相应的行人延误计算公式。冯树民等人^[15,16]研究了无干扰情况下的信号交叉口行人过街平均延误计算方法,建立了考虑行人过街的交叉口信号配时优化模型。高利平^[17]分析了不同行人过街方式下的信号交叉口行人过街延误情况,建立了信号交叉口基于过街方式的行人延误模型。钱大琳等人^[18]针对道路等级相差较大的两相位信号交叉口,建立了基于行人专用相位的行人过街延误计算模型和交叉口信号配时优化模型。基于延误模型学者们还提出了权衡机动车和行人的交叉口优化设计方法。马万经等人^[19]研究了行人相位与机动车相位的组合设置问题,提出了多相位信号控制交叉口行人相位的设计方法。也有学者对交叉口不同方向行人过街的延误进行了研究。孙迪^[20]针对过街双向行人之间互相干扰的特点,建立了对向行人干扰情况下的过街延误模型。卢凯等人^[21]针对行人斜穿信号交叉口的过街需求,引入时距图分析方法,提出行人斜穿信号交叉口的绿波带设计理念,并利用行人到达和离开人行横道的时刻线,推行人连续横穿信号交叉口的过街延误模型。对于连续流交叉口在城市道路的应用,行人服务水平是一项重要的因素。针对目前连续流交叉口的研究主要集中在机动车交通方面,行人延误的评价主要依靠仿真得到,缺乏相应的计算模型,有必要对其进行研究,建立连续流交叉口行人延误计算模型,为其进一步优化,增强其在我国的适用性提供理论基础。

1 基本概念及行人过街设计模式

1.1 连续流交叉口基本概念

连续流交叉口(continuous flow intersection)^[22]的基本设计概念如图1所示。在交叉口之上游设置预交叉口,将左转车流在预交叉口处疏导到对向车流左侧,从而消除了主交叉口处左转车流与对向直行车流的冲突。其相位相序如图2所示。



1.2 连续流交叉口行人过街设计模式

1.2.1 传统行人过街模式

如图3所示,行人在直行机动车绿灯信号相位过街,由于连续流交叉口在主信号采用两相位控制,过街行人与左转和右转机动车存在冲突。

1.2.2 行人专用相位过街模式

如图4所示,主交叉口在机动车两相位信号控制的基础上增加行人专用相位,允许各流向行人(包括对角线方向)通行。

1.2.3 穿插式行人过街模式

如图5所示,主交叉口采取两相位信号配时,行人按照设计的人行道在同向直行机动车和对向左转机动车中间通行,从而避免了行人过街与左转机动车的冲突,但过街行人将受到多次信号阻滞。

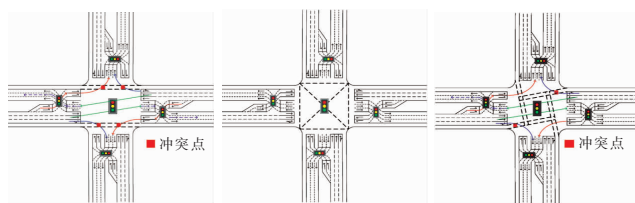


图3 传统行人过街模式

图4 行人专用相位过街模式

图5 穿插式行人过街模式

1.3 模型参数

为了便于介绍模型,后文要使用的主要模型参数符号如表1所示。

表1 符号和参数

参数、符号	说明
i	主交叉口相位,取值为1,2
j	行人过街方向,1为直行,2为斜穿
g_i^p	第 <i>i</i> 相位行人绿灯时间/s
g_i	第 <i>i</i> 相位机动车绿灯时间/s
Δt^p	行人绿灯间隔时间,即行人清空时间/s
Δt	机动车损失时间/s
t_s	过街等候行人消散时间/s
q	行人到达率/ped/s
s	行人饱和流量/ped/s
W	一条机动车道宽度/m
V_p	行人过街步行速度/m/s
R	行人观察、判断时间/s
l	车身长度通过的时间/s
λ_m	机动车平均到达率/veh/s 1,2为左、右转
τ	行人可安全穿越机动车的安全车时间/s
d_j	信号控制延误/s
d_c	冲突延误/s
d	行人延误/s
D	交叉口行人平均延误/s

2 行人延误模型

2.1 传统行人过街模式延误

该模式下行人过街延误包括两个方面:a)信号延误,由于行人相位的存在,行人需在路边等待,这导致信号延误;b)冲突延误,行人必须通过与左右转弯车辆的冲突区,这导致冲突延误。

2.1.1 信号控制延误

如图6所示,假设位置点A、B、C、D、E、F、G、H分别为北、东、南、西四个进口的人行横道起止点,交叉口各进口均采用一次过街方式进行行人交通组织与相位设计(行人与机动车合用信号相位),转弯车流避让过街行人或者通过信号控制与相关行人通行相位分离。

假设行人从A点出发,目的地可分为B、G、D,到达B、G点行人只需一次过街,而到达D点,行人需二次过街。下文分别对其建模,计算图示如图7所示。

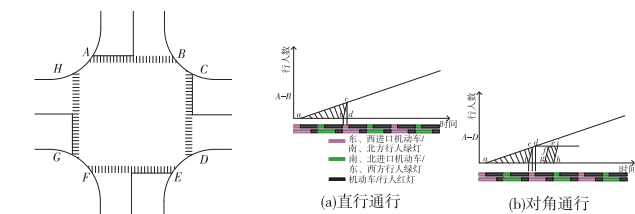


图6 交叉口行人过街位置

图7 模式1行人过街延误计算图示

1) 直行通行(假设从A到B)

直线ac段表示行人到达A的时间,斜率为到达率 q 。直线bc段表示行人离开A到达B的时间,斜率为饱和流量 s 。bd段表示行人消散时间 t_s 。

$$t_s = \frac{(g_2^p + 2\Delta t^p)q}{s - q} \quad (1)$$

阴影三角形 abc 即为行人总延误,行人平均延误计算公式为

$$d_1 = \frac{(2\Delta t^p + g_2^p)t_s s}{2Cq} = \frac{(2\Delta t^p + g_2^p)^2 s}{2C(s - q)} \quad (2)$$

2) 对角通行(假设从 A 到 D)

直线 acd 段表示行人到达 A 的时间,直线 bc 段表示行人离开 A 走向 B 的时间,折线段 efg 表示行人到达 C 点的时间,直线段 hi 表示行人到达 D 的时间。三角形 abc 中的水平线段长表示行人在 A 点等待绿灯的延误时间,多边形 $bcdefg$ 的水平线段长表示行人从 A 走向 C 的步行时间 t_{A-C} ,多边形 $efghi$ 中的水平线长表示行人在 C 点等待绿灯的延误时间。即阴影部分为行人总延误,行人平均延误计算公式如下:

$$d_2 = \frac{\left[(3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p) + (3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{Cq}{s} - C) \right] Cq}{2Cq} - \frac{t_{A-C}Cq}{Cq} = 3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{1}{2}(\frac{Cq}{s} - C) - t_{A-C} \quad (3)$$

2.1.2 冲突延误

冲突延误直接与左转及右转的车流量和车辆之间的间隙分布有关,可以根据文献[23]中的方程式进行计算:

$$d_c = \frac{\frac{1}{\lambda_1} - \left(\tau_1 + \frac{1}{\lambda_1} \right) \exp(-\lambda_1 \tau_1) \cdots \exp(-\lambda_n \tau_n)}{\exp(-\lambda_1 \tau_1) \cdots \exp(-\lambda_n \tau_n)} \quad (4)$$

τ 可采用文献[23]中的公式计算:

$$\tau = W/V_p + R + l \quad (5)$$

2.1.3 平均行人过街延误模型

无论哪种过街方式,其行人延误都是由信号延误和冲突的延误构成的。因此,这组行人总的延误可以用以下公式计算:

$$d = d_j + d_c \quad (6)$$

交叉口行人过街平均延误可以用以下公式计算:

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^2 q_i} \sum_{i=1}^2 d_i q_i \quad (7)$$

2.2 行人专用相位过街模式延误

行人享有独立的过街相位,允许直行和对角线方向行人同时过街,其过街延误为信号控制延误,计算图示如图8所示。根据图8可得出行人消散时间为

$$t_s = (\Delta t^p + 2\Delta t + g_1 + g_2)q/(s - q) \quad (8)$$

阴影三角形 abc 为行人总延误。行人平均延误计算公式为

$$D = \frac{(\Delta t^p + 2\Delta t + g_1 + g_2)(t_s s)}{2Cq} = \frac{(\Delta t^p + 2\Delta t + g_1 + g_2)^2 s}{2C(s - q)} \quad (9)$$

2.3 穿插式行人过街模式延误

该模式下行人过街延误主要为信号控制延误,此外还受到右转车辆的冲突延误。

2.3.1 信号控制延误

穿插式行人过街模式的人行道设置如图9所示。假设位置点 A, D, F, H 分别为西、南、东、北四个进口的人行横道起止点。假设行人从 A 点出发,目的地可分为 D, H, F 。下文分三种过街方式对行人延误进行建模,计算图示如图10所示。

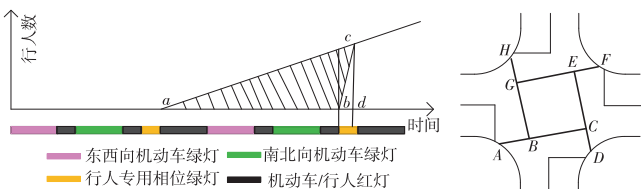


图8 模式2行人过街延误计算图示 图9 交叉口行人过街位置

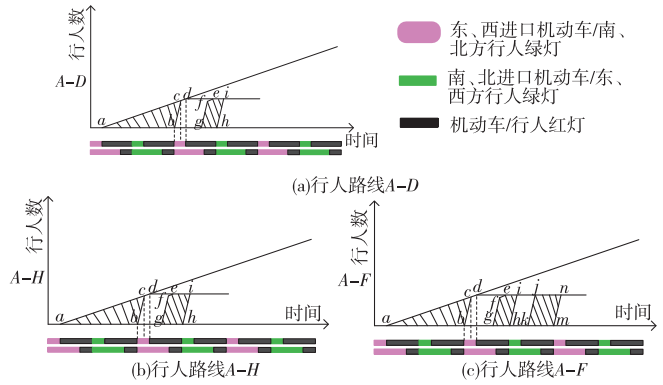


图10 模式3行人延误计算图示

1) 逆时针直行(假设行人路线为 $A-D$)

直线 acd 段表示行人到达 A 的时间,直线 bc 段表示行人离开 A 走向 C 的时间,折线段 efg 表示行人到达 C 点的时间,直线段 hi 表示行人到达 D 的时间。三角形 abc 中的水平线段长表示行人在 A 点等待绿灯的延误时间,多边形 $bcdefg$ 的水平线段长表示行人从 A 走向 C 的步行时间 t_{A-C} ,多边形 $efghi$ 中的水平线长表示行人在 C 点等待绿灯的延误时间。即阴影部分为行人总延误,行人平均延误计算公式如下:

$$d_{A-D} = \frac{\left[(3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p) + (3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{Cq}{s} - C) \right] Cq}{2Cq} - \frac{t_{A-C}Cq}{Cq} = 3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{1}{2}(\frac{Cq}{s} - C) - t_{A-C} \quad (10)$$

2) 顺时针直行(假设行人路线为 $A-H$)

直线 acd 段表示行人到达 A 的时间,直线 bc 段表示行人离开 A 走向 B 的时间,折线段 efg 表示行人到达 B 点的时间,直线段 hi 表示行人到达 H 的时间。三角形 abc 中的水平线段长表示行人在 A 点等待绿灯的延误时间,多边形 $bcdefg$ 的水平线段长表示行人从 A 走向 B 的步行时间 t_{A-B} ,多边形 $efghi$ 中的水平线长表示行人在 B 点等待绿灯的延误时间。即阴影部分为行人总延误,行人平均延误计算公式如下:

$$d_{A-H} = \frac{\left[(3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p) + (3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{Cq}{s} - C) \right] Cq}{2Cq} - \frac{t_{A-B}Cq}{Cq} = 3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{1}{2}(\frac{Cq}{s} - C) - t_{A-B} \quad (11)$$

3) 对角穿行(假设行人路线为 $A-F$)

直线 acd 段表示行人到达 A 的时间,直线 bc 段表示行人离开 A 走向 C 的时间,折线段 efg 表示行人到达 C 点的时间,直线段 hi 表示行人离开 C 的时间,直线段 jk 表示行人到达 E 点的时间,直线段 mn 表示行人离开 E 点的时间。三角形 abc 中的水平线段长表示行人在 A 点等待绿灯的延误时间,多边形 $bcdefg$ 的水平线段长表示行人从 A 走向 C 的步行时间 t_{A-C} ,多边形 $efghi$ 中的水平线长表示行人在 C 点等待绿灯的延误时间,四边形 $hijk$ 的水平线长表示行人从 C 走向 E 的步行时间,多边形 $jkmn$ 的水平线长表示行人在 E 点等待绿灯的延误时间。即阴影部分为行人总延误,行人平均延误计算公式如下:

$$d_{A-F} = \frac{\left[(3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p) + (3\Delta t^p + g_1^p + g_2^p + \frac{Cq}{s} - C) \right] Cq}{2Cq} - \frac{t_{A-C}Cq}{Cq} + \frac{(g_2^p + \Delta t^p - t_{C-E})Cq}{Cq} = 4\Delta t^p + g_1^p + 2g_2^p + \frac{1}{2}(\frac{Cq}{s} - C) - t_{A-C} - t_{C-E} \quad (12)$$

2.3.2 冲突延误

受到右转车辆影响,其冲突延误如式(4)所示。

2.3.3 平均行人过街延误模型

综合信号控制延误和冲突延误,计算公式如式(6)(7)所示。

3 模型检验与敏感性分析

3.1 模型检验

采用 VISSIM 仿真对模型的准确性进行检验。

3.1.1 仿真设计

测试的连续流交叉口几何设计如图 11 所示。预交叉口与主交叉口的间距为 100 m,仿真中行人步行速度为 1.2 m/s,行人流量为 720 ped/h(即到达率 q 为 0.2 ped/s),各条人行横道饱和流量 s 均为 8 ped/s。各进口道机动车流量如表 2 所示。

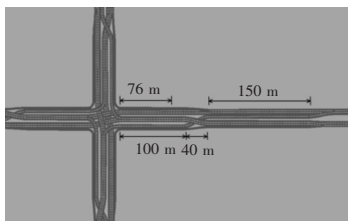


图 11 连续流交叉口几何设计图

表 2 各进口道流量

各流向流量/veh/h	东进口	西进口	南进口	北进口
左转	900	800	800	900
直行	1 100	1 200	1 200	1 100
右转	400	500	500	400
总计	2 400	2 500	2 500	2 400

3.1.2 结果对比

利用 VISSIM 对实验进行仿真,将其仿真结果与本文模型、HCM 法计算结果进行对比,如图 12 所示。结合表 3 给出的误差对比分析可见,本文模型计算结果与仿真结果非常一致,其平均误差小于 3%,与 HCM 模型相比,准确性有显著提高。

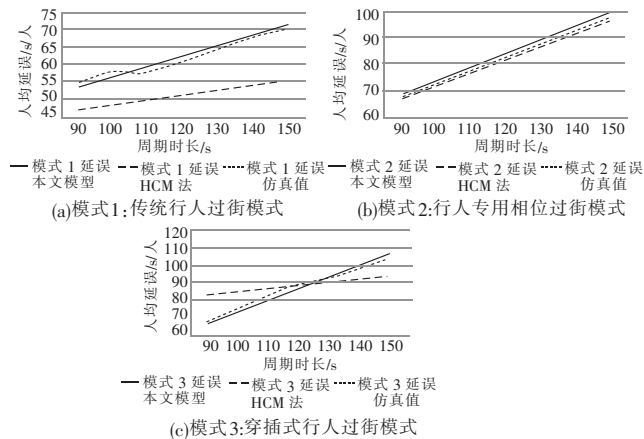


图 12 模型检验

表 3 模型误差对比

行人过街模式	本文模型误差/%	HCM 模型误差/%
模式 1	1.98	17.88
模式 2	1.24	1.29
模式 3	2.56	8.92

3.2 敏感性分析

三种行人过街模式对交通运行的影响与机动车流量、行人流量和对角穿行的比例有关。下文对其进行敏感性分析,进一步揭示三种模式的适用性。

图 13 显示了机动车流量对行人延误的影响(行人流量取 1 000 ped/h,行人对角穿行比率取 0.5)。在三种模式下,行人延误均随机动车流量的增加而增加。但模式 1 最为敏感,模式 2 最不敏感。在交通量较低(小于 400 veh/h/ln)情况下,模式 2 的行人延误最大,模式 3 次之,模式 1 最小。其原因是在模式 2 下行人需等待专有相位,等待时间过长,在模式 3 下行人

需经历多个相位,而模式 1 利用车流间隙穿越最为高效。在交通量较高(大于 400 veh/h/ln)情况下,模式 3 人均延误最小,模式 1 人均延误开始超过模式 2。其原因是模式 1 冲突延误随着机动车流量增加而显著增加,模式 3 冲突延误略有增加,而模式 2 没有冲突延误。

图 14 显示了行人流量及流向对行人延误的影响。呈线性增长趋势,但增加幅度不大,约 2%。图 15 显示了行人斜穿比例对行人延误的影响。发现其对模式 1 的影响最大,而对模式 2 几乎没有影响。当行人斜穿比例低于 0.6 时模式 1 人均延误最小;斜穿比例在 0.6~0.75 时模式 3 最小;而大于 0.75 时模式 2 延误最小。

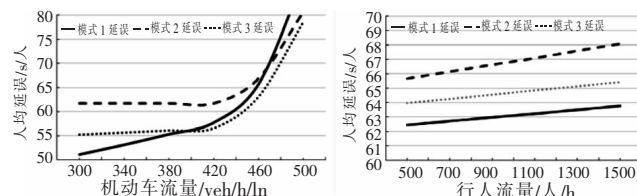


图 13 机动车流量对人均延误的影响

图 14 行人流量对人均延误的影响

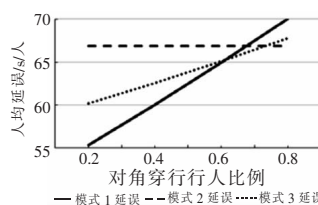


图 15 对角穿行比例对人均延误的影响

4 结束语

本文针对连续流交叉口三种行人过街设计模式,根据行人流到达离散的特性分别对不同行人流向(包括直行和对角穿行)的延误进行建模,利用 VISSIM 仿真对模型的准确性进行了验证,并通过敏感性分析,探讨了车辆需求、行人需求、斜穿交叉口行人比率对三种模式运行性能的影响,这为决策者更好地进行信号交叉口的行人过街模式的选择提供了指导意见。研究表明:a)所建立的行人延误计算模型对于传统行人过街模式、行人专用相位过街模式和穿插式行人过街三种连续流交叉口行人交通设计模式的准确率分别为 1.98%、1.24%、2.56%,比 HCM 法准确性高;b)三种设计模式中,传统行人过街模式主要适用于机动车和行人流量均较小的情况;而穿插式行人过街模式主要适用于机动车和行人流量较大的情况;c)行人专用相位过街模式虽然在算例中被选为最优(延误最小)的情况较少,但其对于流量和流向比例变化的敏感最低,适用于交通需求波动性较大的情况。

参考文献:

- [1] Mier F D, Romo B H. Continuous flow intersection; U. S. Patent 5, 049, 000[P]. 1991-9-17.
- [2] Inman V W. Evaluation of signs and markings for partial continuous flow intersection[J]. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2009, 2138: 66-74.
- [3] Hughes W, Jagannathan R. Alternative intersections/interchanges; informational report[R]. Washington DC: US Department of Transportation Federal Highway Administration, 2010.
- [4] Tanwanichkul L, Pitaksringkarn J, Boonchawee S. Determining the optimum distance of continuous flow intersection using traffic micro-simulation[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011, 9: 1670-1683.
- [5] 范筱洁. 提高城市主干道通行能力的方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

遥感图像,分别是农田、森林、海滩各100幅。图像示例见图2。

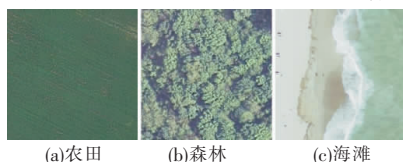


图2 实验图像示例

从每类图像中选取30幅图像用于组成冗余字典,30幅用于训练,剩下的40幅图像中随机选取20幅和40幅用来作测试。将训练图像和测试图像分别在冗余字典上进行稀疏表示,得到图像的稀疏表示特征向量。将特征向量输入分类器中进行分类。分类特征从特征向量中提取,提取向量的质心位置和最大值位置。为了防止噪声带来的干扰,采用降序法排序后,取前三个值的位置,分别记为第一特征点、第二特征点和第三特征点,代替最大值位置,从而降低噪声的干扰,提高置信度。

使用朴素贝叶斯分类算法、SVM算法、基于余弦相似度和实例加权改进的贝叶斯算法(IWIMNB)与本文提出的基于引力模型的朴素贝叶斯分类算法(G-NB)分别对数据进行分类。分类正确率对比如表1所示。

表1 不同算法在不同样本数量下的识别率

测试样本数	类别数	NB/%	SVM/%	IWIMNB/%	G-NB/%
60	3	78.33	85.00	80.00	83.33
120	3	80.83	86.67	84.16	87.50
均值	3	79.58	85.84	82.08	85.42

从表1可以看出,在不同测试样本数的情况下,G-NB有着明显高于NB和R-NB的分类效率,且测试样本数越多,其效率越高。在样本数量较少的情况下,G-NB的分类效率与SVM差不多,但是由于SVM算法对大样本数据处理能力不强,从实验数据可看出,随着样本数量增大,G-NB的分类效率提高明显高于SVM,且G-NB还可以结合其他属性加权方法,继续提高效率,故本文提出的基于引力模型的朴素贝叶斯分类算法可操作性强,且能显著提高分类效率。

3 结束语

本文提出的基于引力模型的朴素贝叶斯算法,主要是根据训练数据本身的特点,考虑了不同特征对不同分类的辨识度不

同,提出了相似距离来减少辨识度低的特征对分类的影响,降低了相似距离较大的分类概率对分类的影响,提高有效分类概率的分类影响,从而提高朴素贝叶斯分类算法的分类效率。对部分图像的稀疏表示系数进行分类的实验结果表明,本文提出的改进算法可操作性强,且能有效提高分类准确率。

参考文献:

- [1] Domingos P, Pazzani M. On the optimality of the simple Bayesian classifier under zero-one loss[J]. *Machine Learning*, 1997, 29(2): 103-130.
- [2] McCallum A, Nigam K. A comparison of event models for naive Bayes text classification[C]//Proc of AAAI Workshop on Learning for Text Categorization. 1998: 41-48.
- [3] Tarabalka Y, Fauvel M, Chanussot J, et al. SVM-and MRF-based method for accurate classification of hyperspectral images[J]. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, 2010, 7(4): 736-740.
- [4] LeDoux J E. Emotion circuits in the brain[J]. *Annual Review of Neuroscience*, 2000, 23(2): 155-184.
- [5] Kulkarni A R, Tokekar V, Kulkarni P. Identifying context of text documents using naive Bayes classification and Apriori association rule mining[C]//Proc of the 6th International Conference on Software Engineering. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2012: 1-4.
- [6] 程环环. 基于贝叶斯网络的图像内容表述与分类[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
- [7] 李静梅, 孙丽华, 张巧荣, 等. 一种文本处理中的朴素贝叶斯分类器[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2003, 24(1): 71-74.
- [8] 李方, 刘琼芬. 基于改进属性加权的朴素贝叶斯分类模型[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(4): 132-133.
- [9] 周喜. 基于粗糙集的加权朴素贝叶斯分类算法研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2013.
- [10] 王行甫, 付欢欢, 王琳. 基于余弦相似度和实例加权改进的贝叶斯算法[J]. *计算机系统应用*, 2016, 25(8): 166-170.
- [11] Shati S P, Hossain M D, Nadim M, et al. Enhancing performance of naive Bayes in text classification by introducing an extra weight using less number of training examples[C]//Proc of International Workshop on Computational Intelligence. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2016: 142-147.
- [12] 赵柳. 相对论与引力理论导论[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [13] 李硕豪, 张军. 贝叶斯网络结构学习综述[J]. *计算机应用研究*, 2015, 32(3): 641-646.
- [14] 慕春棣, 戴剑彬, 叶俊. 用于数据挖掘的贝叶斯网络[J]. *软件学报*, 2000, 11(5): 660-666.
- [15] Washington D. Highway capacity manual[J]. *Special Report*, 2000, 1(1-2): 5-7.
- [16] Japan Society of Traffic Engineers. Manual of traffic signal control[M]. Tokyo: Japan Society of Traffic Engineers, 2006.
- [17] 冯树民, 裴玉龙. 行人过街延误研究[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2007, 39(4): 613-616.
- [18] 冯树民, 裴玉龙. 考虑行人过街的两相位交叉口配时优化[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2009, 9(3): 146-151.
- [19] 高利平. 城市道路环境下人行横道处行人与机动车冲突分析与延误建模[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [20] 钱大琳, 陈小红. 基于行人专用相位的交叉口信号控制优化模型[J]. *中国公路学报*, 2013, 26(5): 140-147.
- [21] 马万经, 林瑜, 杨晓光. 多相位信号控制交叉口行人相位设置方法[J]. *交通运输工程学报*, 2004, 4(2): 103-106.
- [22] 孙迪. 行人过街交通行为分析建模[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [23] 卢凯, 胡建伟, 李福樑, 等. 行人斜穿信号交叉口绿波设计及延误模型[J]. *吉林大学学报: 工学版*, 2016, 46(6): 1818-1826.
- [24] Wikipedia. Continuous-flow intersection[EB/OL]. (2005-09-22)[2017-05-01]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Continuous-flow-intersection>.
- [25] Chen Kuanmin, Luo Xiaoqiang, Ji Hai, et al. Towards the pedestrian delay estimation at intersections under vehicular platoon caused conflicts[J]. *Scientific Research & Essays*, 2010, 5(9): 941-947.

(上接第2591页)

- [6] Tarko A, Azam S, Inerowicz M. Operational performance of alternative types of intersections: a systematic comparison for indiana conditions[J]. *Congress Proceedings*, 2010, 32(31): 386-391.
- [7] Esawey M E, Sayed T. Comparison of two unconventional intersection schemes: crossover displaced left-turn and upstream signalized crossover intersections[J]. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2007, 2023: 10-19.
- [8] Zhao Jing, Ma Wanjing, Head K L, et al. Optimal operation of displaced left-turn intersections: a lane-based approach[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 61(12): 29-48.
- [9] 刘秋晨, 张轮, 杨文臣, 等. 城市道路新型连续流交叉口的设计及仿真[J]. *交通信息与安全*, 2013, 31(2): 122-127.
- [10] Michael G, Bruce P E, Paul W, et al. Continuous flow intersection-gaining speed in the United States[N]. *CE News*, 2006-01-26.
- [11] Jagannathan R, Bared J. Design and performance analysis of pedestrian crossing facilities for continuous flow intersections[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2005, 1939(1): 133-144.
- [12] Coates A, Yi Ping, Liu Peng, et al. Geometric and operational improvements at continuous flow intersections to enhance pedestrian safety[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2014, 2436: 60-69.