

交叉口行人信号延误 定性推理模型研究

钮志强^{1,2} 钱大琳^{1,2} 王啸啸^{1,2}

1. 北京交通大学, 交通运输学院, 北京 100044

2. 北京交通大学, 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室
北京, 100044

摘要: 根据服务水平评价不需要精确值的特点, 本文运用定性推理, 结合定量空间、定性关系等定性定量方法, 提出了研究交叉口行人服务水平评价指标——行人信号延误的新方法。文章推导出了信号延误的定性推理结构, 确定了变量的定量空间, 进而通过推理形式表征了变量间的定性关系。结果表明, 定性推理得到的信号延误定性值可以较好地符合服务水平指标值的区间特性。通过实例的设计和对比给出了应用定性推理方法的具体步骤, 验证了该模型的可行性。

关键词: 交叉口; 行人信号延误; 定性推理; 小波分析; 服务水平

中图分类号: U491.2*32

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2011)02-0107-08

Study on Pedestrian Signal Delay Based on Qualitative Reasoning at Intersections

NIU Zhi-qiang^{1, 2} QIAN Da-lin^{1, 2} WANG Xiao-xiao^{1, 2}

1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University,
Beijing 100044, China

2. MOE Key Laboratory for Urban Transportation Complex Systems Theory
and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: According to the unnecessary of an accurate value for evaluating of service level,

收稿日期: 2010-03-31.

基金项目: 国家自然科学基金: 信号平交路口行人服务水平若干问题研究(70972041)。

作者简介: 钮志强(1986-), 男, 汉族, 山东潍坊人, 北京交通大学交通运输规划与管理专业硕士在读, 研究方向为交通系统工程、智能交通系统等。

a model to study pedestrian service level evaluation index named pedestrian signal delay at intersections was presented combined with the qualitative space, and qualitative relationship. A qualitative reasoning structure of the signal delay was deduced and the qualitative space of the variable was determined. Furthermore, a qualitative relation among the variables was expressed. The results showed that qualitative value of the signal delay by qualitative reasoning were in accord with the interval characteristics of level of service (LOS) evaluation index. A numerical example was designed and comparatively analyzed, to get the concrete steps of the qualitative reasoning methods, and verify the feasibility of the model proposed in this paper.

Key words: Intersection, pedestrian signal delay, qualitative reasoning, wavelet analysis, level of service

0 引言

行人的出行质量可用服务水平来表征,而行人从交叉口设施状况、环境和交通条件等方面可能得到的服务程度或服务质量的被称为服务水平,具体是步行者在安全、舒适、便利等方面感受到的服务质量。信号延误就是评价行人在信号交叉口服务水平方面的重要指标之一。本文中的行人信号延误在此可理解为行人受到信号灯控制的影响,等待过街而造成行程时间上的损失,这些指标反映了行人行进的连续性和等待过街时间的长短。

美国《HCM2000》在假定行人均匀到达的情况下,给出了基于周期长和有效绿灯时间的行人延误计算公式^[1]; M. Kruszyna 等人基于行人进入交叉口的过程的可变性,认为行人信号延误的大小取决于红灯相位到达的行人数目(PedRed)与整个周期到达行人数目(PedCycle)之间的关系^[2];李庆丰、王兆安综合考虑了信号配时和行人到达分布,建立了多因素影响下的行人延误模型^[3]。

现有的行人信号延误计算大多采用精确的定量模型^[4-6],但行人交通系统运行机理复杂,充满了各种不确定性,从方法论角度看存在着精确描述和简化描述的两难境地;行人在交叉口的交通行为不是用定量值就能加以描述的,其在实际交通环境中的自主性、随机性和智能性,加之我国特殊的混合交通环境,使对行人信号延误的研究变得较复杂。由于服务水平只划分等级,不需要精确的值,本文提出采用定性推

理方法对行人信号延误进行研究的新方法。

1 定性因果推理的基本原理

定性推理的目标是寻求一种计算理论来模拟人类处理定性知识的自然过程,特点是可以处理不完整的系统知识,其目的之一是提取和运用常识,充分利用定性及不完全、不精确的信息来推理系统定性行为^[7]。因果推理是定性推理中的重要领域,它不需要对具体的数学方程进行运算,而是通过了解哪些变量出现在哪个方程中,求出自容的(Self-Contained)方程组中变量之间的因果依赖关系,然后以有限表分析法把系统抽象成有关变量间的约束关系,使系统变成半自容约束集,然后用因果结构算法把有限约束集转化为因果推理结构。

1.1 基本概念与定义^[7]

借鉴定性推理中的一些定义,给出本文中一些概念和术语。

[定义 1] 变量及其值域

变量 $x(i)$ 是信号延误以及影响因素变化的统称,其中信号延误是结果变量,也称之为因变量。值域在本文中指变量的变化波动范围,即值域为 $R^* = [0, X_{MAX}]$ 。

[定义 2] 变量的定性值和定量空间

变量的定性值是指变量 $x(i)$ 在值域 R^* 上的一个闭区间或开区间值,表示为 $l_j = [a, b]$ 或 $l_j = (a, b)$, $x(i)$

的量值在一个区间内部不存在定性差异, 而 $x(i)$ 在不同区间时则存在定性差异。

定性值的有序集合叫做定量空间 U , U 用定性值的全序集 $l_1 < l_2 < \dots < l_j$ 表示, 变量 $x(i)$ 的状态由定量空间中的定性值唯一确定。

[定义 3] 变量的定性状态

变量 $x(i)$ 的定性状态由变量量值在其定量空间中的位置表示, 即 $Q(x) = l_j$ 。

1.2 定性因果推理的基本过程

定性因果推理的核心在于推导出变量间的因果关系, 分析原因变量对结果变量的影响, 其主要过程包括以下几个方面:

- (1) 选定基本数学模型或方程;
- (2) 抽象出有限约束集, 验证是否为半自容约束集;
- (3) 运用算法将有限约束集转化为因果结构集, 给出因果推理结构。

本文所指的定性因果推理在上述基本过程的基础上进行了扩展和细化, 结合了定量空间和定性关系等定性定量相结合的方法。它主要包括以下的几项过程:

- ① 分析并确定描述行人信号延误的数学模型;
- ② 利用有限表因果分析算法推导出变量间的因果结构;
- ③ 确定变量值域和定量空间;
- ④ 按已确定的定量空间, 推导出定性关系。
- ⑤ 整理定性关系, 获得信号延误的定性推理值。

2 信号延误定性因果推理结构建立

行人交通系统中, 有很多学者对信号延误的计算方法展开了研究^[1-6], 通过整理分析计算方法的演变, 探讨行人信号延误的影响因素, 并以这些因素为基础, 将行人信号延误解析模型抽象成有限约束集。基础模型中每个方程说明其中的变量存在约束关系, 去掉运算后, 把变量放在有限表中, 形成约束。

2.1 基本数学模型选定

李庆丰、王兆安^[3]综合考虑了信号配时和行人到达分布, 建立了多因素影响下的行人延误模型。此模型考虑因素较全面, 本文将作为信号延误的基础模型。此模型可归纳为以下的几个数学方程:

$$d = \frac{lkR_E^2}{2C} \tag{1}$$

$$l = \frac{CN_R}{N_C(C-G)} \tag{2}$$

$$R_E = C - (G + 0.67A) \tag{3}$$

$$k = 1 - [1 - (-0.08 + 0.90q)]P_W \tag{4}$$

式中, d 为行人信号延误; l 是非均匀到达调整系数; k 为行人行为系数; R_E 为有效红灯时间; N_C 为周期内到达人数; N_R 为红灯相位到达的行人数; C 为信号周期; G 为有效绿灯时间; A 为净空时间(本文中净空时间定义为常量); P_W 为违章人数比例; q 为行人流量。

2.2 实际模型抽象成有限约束集

式(1)~(4)中, 每个方程说明其中的变量存在约束关系, 可去掉运算把变量放在有限表中, 形成约束。下面的式(5)~(9)就是对于行人信号延误数学方程的有限约束集 S :

$$(d \ l \ k \ C \ R_E) \tag{5}$$

$$(l \ C \ N_C \ N_R \ G) \tag{6}$$

$$(R_E \ C \ G) \tag{7}$$

$$(k \ q \ P_W) \tag{8}$$

$$(C) (G) (q) (N_C) (N_R) \tag{9}$$

式中 $(C) (G) (q) (N_C) (N_R)$ 为给定的初值方程转化来的变量, 即给定的系统初值。约束集中共有 $m=10$ 个变量, $k=9$ 个约束, $m > k$, 因此有限约束集 S 为半自容约束集。

2.3 因果推理模型的建立

使用有限表因果分析算法^[7], 从半自容约束集中

获得行人信号延误的定性因果推理结构。过程大致为：给定一个半自容约束集 S_1 ，求 S_1 的一个最小半自容约束集 A_1 及其闭包 A_1' ， A_1' 中的变量均可通过 A_1' 中的约束确定，在 $(S - A_1')$ 中删去出现在 A_1' 中的变量，形成新的半自容约束集 S_2 ，再在 S_2 中求 A_2 及 A_2' ，重复上述过程直到 $S_n = A_n'$ 为止。对 S_1 中每个约束 e_i ，令 V_i 表示 e_i 中出现的变量集合， W_i 为 V_i 中属于下标数最大的 A_i 的变量集合，则 W_i 中的变量被称为直接因果依赖于 $(V_i - W_i)$ 中的变量，约束 e_i 记为 $(W_i|V_i - W_i)$ 。首先求出 S 的一系列最小半自容集 $A^{[7]}$ ，结果如下：

$$\begin{aligned} A_1 &= \{C\} & A_2 &= \{G\} & A_3 &= \{q\} \\ A_4 &= \{N_C\} & A_5 &= \{N_R\} & A_6 &= \{l\} \\ A_7 &= \{R_E\} & A_8 &= \{k\} & A_9 &= \{P_W\} \\ A_{10} &= \{d\} \end{aligned}$$

在上述过程中，按照上述过程进行迭代运算，最终约束集变为因果结构集：

$$\begin{aligned} (R_E|C \ G) \quad (l|C \ G \ N_C \ N_R) \\ (k|q \ P_W) \quad (d|l \ k \ C \ R_E) \\ (C) \ (G) \ (q) \ (N_C) \ (N_R) \end{aligned}$$

图 1 所示为行人信号延误定性因果推理结构。

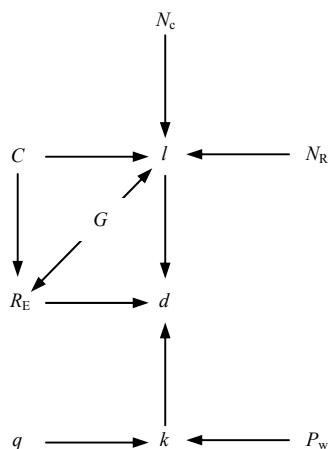


图 1 行人信号延误定性因果推理结构

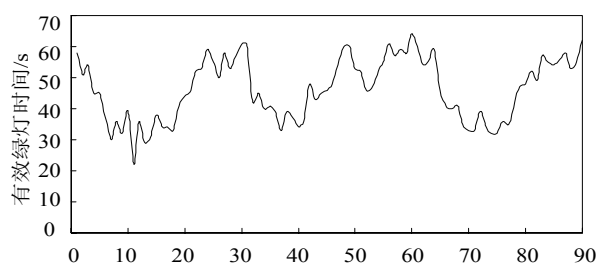
Fig.1 Structure of qualitative reasoning for pedestrian delay

3 行人信号延误定性定量研究

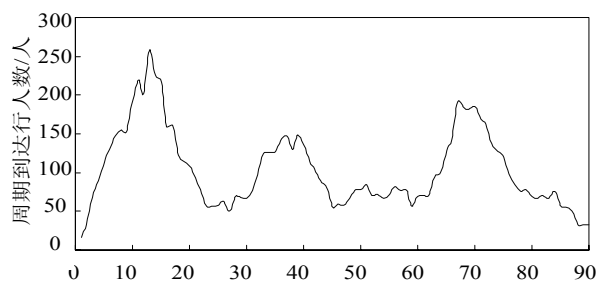
在定性推理结构中，已经得到的原因变量有以下几项：周期时长(C)，有效绿灯时间(G)，周期到达行人人数(N_C)，红灯期间到达行人人数(N_R)，行人流量(q)和违章比例(P_W)。为了减少变量个数，简化模型，假定无违章情况；另外行人流量和周期到达行人人数属同类型变量，表征行人数量的多少。因此选取有效绿灯时间(G)，周期到达行人人数(N_C)，红灯期间到达行人人数(N_R)作为待建模型的原因变量。

3.1 变量值域确定

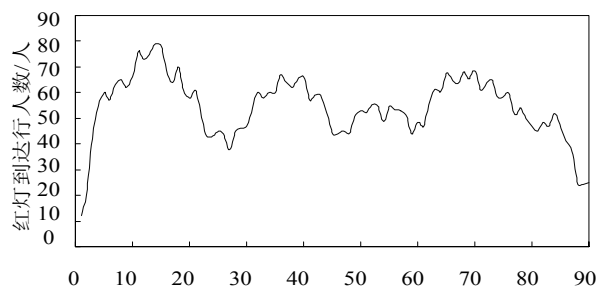
结合实际交通调查，利用 VISSIM 软件建立仿真模型，采用实际调研数据与仿真模拟数据相结合的方法得到样本数据，见图 2。



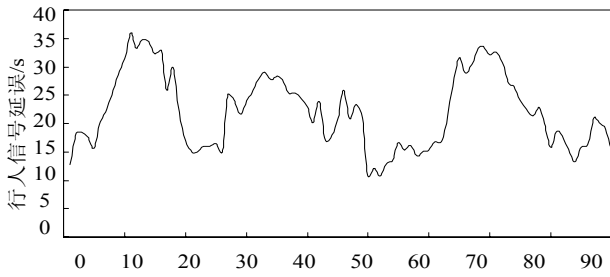
(a) 有效绿灯时间



(b) 周期到达行人人数



(c) 红灯期间到达行人人数



(d) 行人信号延误

图 2 行人交通变量模拟数据

Fig. 2 Data of pedestrian variables

定义每个行人交通变量的值域 R^* ，也就是要确定每个变量值域的上确界 X_{MAX} 。在确定上确界时，为了保证变量数据不溢出和定量空间划分的合理性，在图示极大值的基础上向上调整，确保定量空间在不同环境下的适应性。因此确定值域如下：

有效绿灯时间的上确界为：

$$Green_{MAX} = \max \{Green(t)\} = 70 \text{ (s)}$$

红灯期间到达人数上确界为：

$$PedRed_{MAX} = \max \{PedRed(t)\} = 100 \text{ (人)}$$

周期到达行人人数上确界为：

$$PedCycle_{MAX} = \max \{PedCycle(t)\} = 300 \text{ (人)}$$

行人信号延误上确界为：

$$Delay_{MAX} = \max \{Delay(t)\} = 45 \text{ (s)}$$

即变量的值域分别

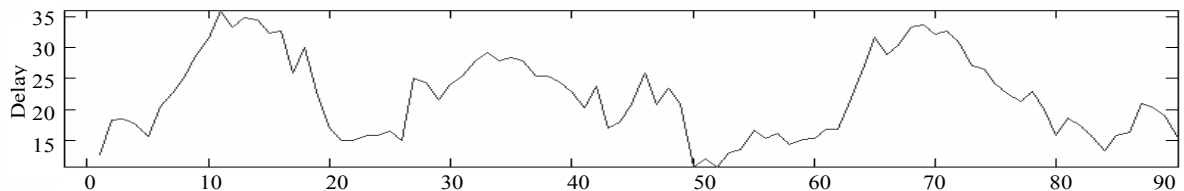
$$R_{Green}^* = [0, 70], R_{PedRed}^* = [0, 100]$$

$$R_{PedCycle}^* = [0, 300], R_{Delay}^* = [0, 45]$$

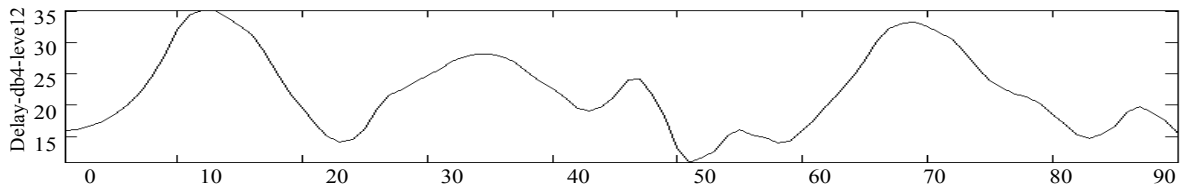
3.2 基于小波分析的变量定量空间确定

变量的定性值和定量空间可以参照一些国内外的相关标准来确定。本文采用文献[8]中的方法——小波分析来确定变量的定性值和定量空间。依据不同的低通阈值，不同水平的小波分解能够提供数据不同程度的定性抽象水平，小波分解的近似部分表示信息的基本组成成分，它的变化区间可以用来确定行人交通变量的定性值和定量空间。

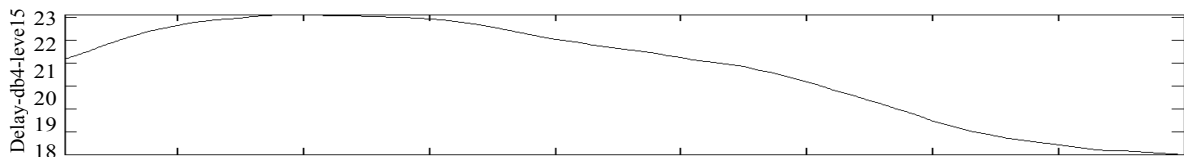
对信号延误数据序列进行小波分解，根据对数据分解水平精细程度的需要和划分数据定量空间的合理性，选择合适的小波分解函数和分解水平。经多次实际试验，选定信号延误数据小波分解函数为 db4，分解水平选为 level2、level5，得到的分解结果如图 3 所示。



(a) 原始数据图



(b) level2 分解图



(c) level5 分解图

图 3 小波分解后的信号延误数据

Fig. 3 Wavelet decomposition of the signal delay

设 D^λ 表示在小波分解 λ 水平下的延迟值, I_D^λ 表示小波分解 λ 水平下的延迟变化区间, 则 $I_D^\lambda = [\min\{D^\lambda\}, \max\{D^\lambda\}]$, 由小波分解结果得到: $I_D^2 = [10.89, 35.21]$; $I_D^5 = [18.91, 28.15]$ 。

已知 $R_D^* = [0, 45]$, 依据 R_D^* 、 I_D^2 、 I_D^5 来确定 D 的定性值 l_{Dj} 和定量空间, 具体的确定过程如图 4 所示。

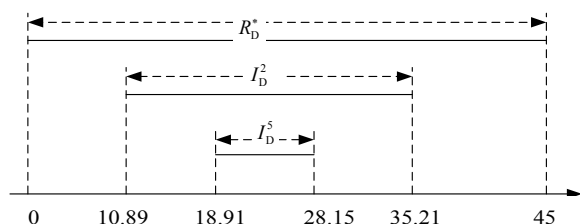


图 4 行人信号延迟定量空间的确定过程

Fig. 4 Process of determinating the pedestrian delay's quantitative space

进一步有:

$$l_{D1} = (\min\{R_D^*\}, \min\{I_D^2\}) = (0, 10.89);$$

$$l_{D2} = [\min\{I_D^2\}, \min\{I_D^5\}] = [10.89, 18.91]$$

$$l_{D3} = (\min\{I_D^5\}, \max\{I_D^5\}) = (18.91, 28.15);$$

$$l_{D4} = [\max\{I_D^5\}, \max\{I_D^2\}] = [28.15, 35.21]$$

$$l_{D5} = (\max\{I_D^2\}, \max\{R_D^*\}) = (34.21, 45)$$

由上可得信号延迟的定量空间 $Q^D = (l_{D1}, \dots, l_{D5})$ 。

用相同的方法可以得到红灯到达人数、周期到达人数和有效绿灯时间的定量空间为:

$$Q^R = (l_{R1}, \dots, l_{R7});$$

$$Q^C = (l_{C1}, \dots, l_{C7});$$

$$Q^G = (l_{G1}, \dots, l_{G5})。$$

通过上述计算过程, 得到了各变量以及信号延迟的定量空间, 总结如表 1 所示。

表 1 定量空间汇总表

Tab. 1 Quantitative space summary

变 量	参 数			
	上下确界	小波函数	分解水平	区间
信号延迟	(0, 70)	db4	level 2 level 5	10.89~35.21 18.91~24.28
定量空间	(0, 10.89) (10.89, 18.91) (18.91, 28.15) (28.15, 35.21) (35.21, 45)			
绿灯时间	(0, 45)	db4	level 1 level 6	30.42~62.32 43.68~57.17
定量空间	(0, 30.42) (30.42, 43.68) (43.68, 57.17) (57.17, 62.32) (62.32, 70)			
周期到达行人人数	(0, 300)	db4	level 1 level 3 level 5	14~34 38~94 65~34
定量空间	(0, 14) (14, 38) (38, 65) (65, 134) (134, 176) (176, 234) (234, 300)			
红灯到达行人人数	(0, 100)	db4	level 1 level 4 level 6	10~79 28~67 35~58
定量空间	(0, 10) (10, 28) (28, 35) (35, 58) (58, 67) (67, 79) (79, 100)			

3.3 定性定量推理模型研究

在定量空间确定的基础上确定定性关系, 利用文献[8]中所提到的 IF-THEN 规则形式来描述行人交通变量间的定性关系:

$$\text{If } Q(x_1, k) = l_1 \wedge \dots \wedge Q(x_{m-1}, k) = l_{m-1}$$

$$\text{Then } Q(x_m, k) = l_m \quad \text{Support strength}(s)$$

上述规则的通俗表达就是若有 $m-1$ 个变量所属的定量空间已经确定, 那么第 m 个变量所属的定性空

间也被确定，而且可以给出支持强度。其中支持强度用于度量规则的确定程度，一般情况下 S 等于该规则成立的概率。

图 5 反映了行人信号延误影响变量的变化状况，在绿灯时间和红灯到达比例（红灯期间到达人数与周期到达行人数的比值）的共同作用下，信号延误变得极不规则，因此很难用数学模型描述其变化规律。

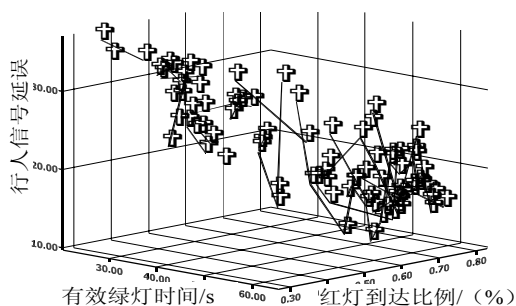


图 5 各变量对行人信号延误的综合影响

Fig. 5 Relationship between variables and delay

分析三维图，按已计算出的各变量定量空间对数据区间进行划分，并对每一区块内的数据做统计分析，得到定性关系如表 2 所示。

表 2 三项变量与行人信号延误的定性关系

Tab. 2 Qualitative relationship between the variables and delay

	$Q(G)$	$Q(D)$	S	
l_{G1}	l_{R6}	l_{C6}	l_{D5}	0.48
	l_{R6}	l_{C7}	l_{D4}	0.22
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
l_{G2}	l_{R4}	l_{C4}	l_{D2}	0.08
	l_{R5}	l_{C4}	l_{D3}	0.10
	l_{R5}	l_{C5}	l_{D3}	0.25
l_{G3}	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	l_{R2}	l_{C2}	l_{D2}	0.09
	l_{R4}	l_{C3}	l_{D3}	0.38
l_{G4}	l_{R4}	l_{C4}	l_{D2}	0.31
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	l_{R1}	l_{C2}	l_{D1}	0.06
l_{G5}	l_{R4}	l_{C3}	l_{D2}	0.37
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	l_{R2}	l_{C2}	l_{D1}	0.33
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

表 2 得到了描述行人信号延误的各种定性规则，过多的定性规则为进一步研究带来了不便。若对支持强度的阈值进行限定，假设 $S_0 = 0.35$ ，则定性关系可以成立的规则为：

$$\text{If } Q(G, k) = l_{G1} \wedge Q(R, k) = l_{R6} \wedge Q(C, k) = l_{C6}$$

$$\text{Then } Q(D, k) = l_{D5} (S = 0.48)$$

$$\text{If } Q(G, k) = l_{G3} \wedge Q(R, k) = l_{R4} \wedge Q(C, k) = l_{C3}$$

$$\text{Then } Q(D, k) = l_{D3} (S = 0.38)$$

$$\text{If } Q(G, k) = l_{G4} \wedge Q(R, k) = l_{R4} \wedge Q(C, k) = l_{C4}$$

$$\text{Then } Q(D, k) = l_{D2} (S = 0.37) \wedge Q(R, k) = l_{R4} \wedge Q(C, k) = l_{C4}$$

$$\text{Then } Q(D, k) = l_{D2} (S = 0.57)$$

$$\text{If } Q(G, k) = l_{G5} \wedge Q(R, k) = l_{R3} \wedge Q(C, k) = l_{C3}$$

$$\text{Then } Q(D, k) = l_{D2} (S = 0.64)$$

具体应用中，可根据不同的置信度要求对阈值进行改变，得到符合需求的定性规则。

4 推理结论及应用实例

交叉口行人信号延误定性值的理论计算过程是：对某一特定的交叉口，通过实地调查获得某一时段的基础数据，如行人过街绿灯时间、周期时长、周期到达行人人数、红灯到达行人人数等，按已划定的区间确定每一变量的定量空间，找到对应的定性关系，最后由定性规则判定出行人信号延误的定性推理值。

为验证本文研究成果的可靠性以及实际应用的可行性，设计如下的实例分析。将行人信号延误的实际值与经定性推理得到的定性值作对比，见表 3(绿灯时间为 45s，处于第 3 定量空间)。

经实例对比分析，经定性推理得到的延误定量空间与实际得到的基本一致，吻合率为 82.8%。

上述确定行人信号延误定性值的过程，给出了信号延误计算的定性推理方法，在获得了信号配时和行人到达的信息下，可以由定性推理的定性定量方法得到信号延误的建议取值区间，即定性值。这样通过实

时的检测行人到达信息就能得到行人信号延误的动态变化,对交叉口行人过街等待时间进行实时预测与

表3 信号延误实际值与定性推理值的比较(部分)

Tab.3 Comparison between actual value and qualitative reasoning value of pedestrian delay

K	红灯到达行人人数		周期到达行人人数		信号延误实测值		定性推理值
	人数	Q	人数	Q	时间	Q	Q
1	12	$l_r=2$	20	$l_c=2$	12.7	$l_b=2$	$l_b=2$
2	20	$l_r=2$	33	$l_c=2$	18.3	$l_b=2$	$l_b=2$
3	63	$l_r=5$	94	$l_c=4$	15.7	$l_b=2$	$l_b=2$
4	55	$l_r=4$	120	$l_c=4$	20.4	$l_b=3$	$l_b=2$
5	50	$l_r=4$	120	$l_c=4$	22.5	$l_b=3$	$l_b=3$
6	50	$l_r=4$	140	$l_c=5$	25.0	$l_b=3$	$l_b=3$
7	50	$l_r=4$	150	$l_c=5$	28.6	$l_b=4$	$l_b=4$
8	66	$l_r=5$	150	$l_c=5$	31.4	$l_b=4$	$l_b=4$
9	66	$l_r=5$	160	$l_c=5$	36.0	$l_b=5$	$l_b=4$
10	76	$l_r=6$	150	$l_c=5$	33.3	$l_b=4$	$l_b=4$
11	75	$l_r=6$	150	$l_c=5$	34.8	$l_b=4$	$l_b=4$
12	60	$l_r=5$	124	$l_c=4$	26.0	$l_b=3$	$l_b=3$
13	60	$l_r=5$	90	$l_c=4$	18.0	$l_b=2$	$l_b=3$
14	55	$l_r=4$	83	$l_c=4$	18.0	$l_b=2$	$l_b=2$
15	38	$l_r=4$	60	$l_c=3$	10.0	$l_b=1$	$l_b=2$
16	30	$l_r=3$	50	$l_c=3$	12.0	$l_b=2$	$l_b=2$

注: K 为数据序列号; Q 为定量空间; 例如 K=1 时, $Q(l_r=2)$ 的含义就是红灯相位到达人数为 12 人时, 其处在第二定量空间内, 即为定量值向定性值的转化。

参考文献

[1] Transportation Research Board. Highway capacity manual[R]. Washington D. C.: Special Report 209. National Research Council, 2000.

[2] Kruszyna M. Mackiewicz P. Szydlo A. Influence of pedestrians' entry process on pedestrian delays at signal-controlled crosswalks [J]. Journal of Transportation Engineering, 2006, 11:855-861.

[3] Li Qingfeng, Wang Zhaoan, Yang Jianguo, Wang Jinmei. Pedestrian delay estimation at signalized intersections in developing cities [J]. Transportation Research Part A, 2005, (39):61-73.

[4] 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.

[5] 徐良杰, 王 炜. 信号交叉口行人过街时间模型 [J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(1): 111-115.

[6] Venkat Chilukuri Virkler. Validation of HCM pedestrian delay model for interrupted facilities [J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 11:939-945.

[7] 石纯一, 廖士中. 定性推理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

[8] 关 伟. 宏观交通流的定性建模方法[J]. 土木工程学报, 2003, 36(7): 66-71.

5 结束语

应用已有方法或思路来解决不同的实际问题是本文的创新点,将在人工智能领域中的定性推理和因果推理分析经过转化、吸收,应用到行人信号延误研究中来,虽然在研究的力度和深度方面还不够,可算是一次有益的尝试与探索,为进一步的深入研究作了思路和方法上的铺垫。

由于观测和仿真的数据样本有限,据此得到的定性关系可能有不周全、不全面之处。为了研究方便,对某些变量做了简化,因此定性关系可能只适用于某些特定条件下的交叉口。为克服这一局限,有必要对我国不同类型城市、不同行人交通行为以及不同行人到达规律的交叉口实地调研,考虑包括行人违章、行人自身特性(年龄、性别、性格、出行目的)等在内的因素,获取足够的不同类型的小波分解样本,为定量空间划分进而定性规则的确定提供数据支持和样本基础。

(中文编辑: 刘婷婷)