

# 基于 WSN 的坡道转弯提醒系统的研究与实现 \*

徐广华<sup>1</sup>, 王良民<sup>1,2</sup>, 詹永照<sup>1</sup>

(1. 江苏大学 计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013; 2. 东南大学 计算机科学与工程学院, 南京 210096)

**摘要:** 智能交通指挥系统的实施可以有效解决道路拥堵、运输效率低下等问题, 减少交通事故的发生。针对坡道转弯这一特定的交通难点问题, 研究和实现了基于无线传感器网络(WSN)的坡道转弯提醒系统。其中感知子系统采用 WSN 实时感知数据, 具有便于布置、实时感知、现场处理的优点; 交通提醒子系统采用基于有限状态机的状态图来辅助完成智能控制电路设计, 进一步降低硬件造价, 提高了系统反应速度。仿真表明, 该系统能准确地获取车辆违规行驶信息, 向司机或行人发送提醒指令, 使司机有足够的反应时间, 降低了车辆挂擦和碰撞事故, 减少交通拥堵, 有效地改善了坡道转弯处的交通状况。

**关键词:** 无线传感器网络; 智能; 自动机; 交通; 电路

**中图分类号:** TP393      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2010)01-0189-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.01.056

## Research and implementation of ramp corner reminding system based on WSN

XU Guang-hua<sup>1</sup>, WANG Liang-min<sup>1,2</sup>, ZHAN Yong-zhao<sup>1</sup>

(1. School of Computer Science & Communication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China; 2. School of Computer Science & Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The implementation of the intelligent traffic directing system can solve the problems of traffic jam and low transportation effectiveness, it reduces the traffic accidents. Aiming at the specific traffic difficulty at the ramp corner, this paper researched and implemented a ramp corner reminding system based on wireless sensor networks. The sense subsystem adopted WSN, sensed the data in real time, with the advantage of easy deployment, real-time sensing and in-site processing. And reminding subsystem consisted of the design of control circuit. In order to save hardware, designed an intelligent control circuit using the state diagram based on the finite state automaton, which brought down the cost of hardware further. Experiment results indicate the system can accurately get the information of illegal traffics, and send warning information to the drivers in time. The system reduces scratching and collision accident greatly, alleviates the traffic jam and improves the traffic of the ramp corner effectively.

**Key words:** wireless sensor networks(WSN); intelligent; automata; traffic; circuit

## 0 引言

智能交通指挥系统是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子控制技术以及计算机处理技术相结合,使其有效地综合运用于交通运输的服务、控制和管理的大型系统<sup>[1]</sup>。其目的是统一调度行人和车辆,极大地提高综合交通运输效率,保障交通安全。如何利用有限的资源获得最优的控制效果成为智能交通指挥系统研究的重点。其中,环境和车辆的智能感知、系统对车辆的智能调度以及现代计算机技术的应用等方向是目前研究的热点。早期的交通控制主要采用基于精确数学模型的方法<sup>[2,3]</sup>,难以实现对交通的优化控制。希腊学者 Pappis 和英国学者 Mamdani 最早提出使用模糊控制方法实现交通信号智能控制<sup>[4]</sup>,在一些复杂控制领域有良好的应用,但模糊

建模或模糊规则的提取成为一个难点。随后各国学者都进行了大量关于模糊控制的研究,提出了改进方案<sup>[5-13]</sup>。但这些方案采用的模糊控制规则或者过于复杂,降低了系统的实时控制效果,或者对交通状况作了过多的简化,失去了模型的实用性。杨立才等人<sup>[14]</sup>在此基础上将粗集理论与模糊集相结合,提出粗模糊建模的方法,此方法减少了从交警的经验直接提取模糊规则的不足,较为客观,其思想值得借鉴,但其计算约减的复杂性随着测量数据的增多快速上升,无法达到准确控制的效果。

目前的智能交通指挥系统侧重于对车流的宏观调度以进行整体道路交通疏导,很少涉及针对事故易发地段具体交通问题的检测、预报与控制。最近的文献中,杜军朝等人<sup>[15]</sup>针对城市十字路口的交通问题,利用 WSN 设计了城市十字路口交通

**收稿日期:** 2009-04-27; **修回日期:** 2009-06-10      **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60703115); 中国博士后科学基金特别资助项目(200801357); 中国博士后科学基金面上项目(20070420955); 江苏省青蓝工程优秀青年骨干教师项目; 江苏省自然科学基金资助项目(BK2007560); 江苏省博士后科研计划资助项目(0702003B); 江苏大学高级人才科研启动项目(07JDG080); 江苏大学第八批学生科研课题(08A163)

**作者简介:** 徐广华(1983-),男,山东成人,硕士,主要研究方向为无线传感器网络与 MAC 协议(xghhit@163.com); 王良民(1977-),男,安徽潜山人,副教授,博士后,主要研究方向为无线传感器网络与信息安全; 詹永照(1962-),男,福建尤溪人,教授,博导,主要研究方向为人机交互与新型网络技术。

目标检测系统,实时监测异常事件,并使用声音设备向司机和行人发出警告信息,避免城市十字路口紧急交通事故的发生。本文则借鉴该方法,研究坡道转弯这一交通问题的解决途径。虽然坡道转弯和十字路口交通问题都具有车辆转向控制等问题,但是十字路口各个方向的道路平坦,不存在上下坡问题;而坡道转弯存在上坡和下坡控制以及视线受限等问题,这使得文献[15]的方法不能直接应用。

### 1 系统模型

坡道转弯处的交通情况更为复杂,控制更加困难,并且坡道转弯是交通常见情形,盘山公路、大型停车场门口、风景区小区门口、地下车库入口等处都存在坡道转弯。由于受到视觉范围、坡度及拐角弯度的限制,坡道转弯处成为交通控制的一个难点,容易造成交通堵塞和车辆挂擦等事故。与普通道路相比,坡道转弯处的交通状况具有以下特点:a)上坡行驶时,前导车可能会由于换挡而下滑,因此跟驰车辆的司机保持与前导车的安全距离将会比在相同速度条件下直线上行驶的安全距离大;并且跟驰车辆对前导车的加速反应迟缓,对前导车的减速反应灵敏。b)下坡行驶时,前导车一般情况下,坡上的速度小于坡下的速度,会加速,不会突然减速,因此跟驰车紧随前导车的速度变化改变车速比在一般情况下更灵敏,坡度对司机的跟驰起正刺激作用<sup>[16]</sup>。c)当道路上车辆较少时,车辆容易发生行驶过快的情况,在转弯处,由于拐角弯度的限制,容易造成越界并与相向而行的车辆发生冲突等危险。d)当道路上车辆较多时,由于拐角处司机视觉所限,如果前导车在转弯处突然减速,跟驰车辆的司机没有足够的反应时间,易发生堵车和挂擦等交通事故。e)在风景游览区和大型超市门口等地方,机动车、非机动车和行人混行,由于行驶速度上的差别及坡道转弯处对交通工具的影响,容易因避让不及而发生碰撞事故。基于以上原因,在坡道转弯等特殊的交通情况下,需要一种便于布置、实时感知、现场处理的智能提醒与指挥系统。

#### 1.1 问题原型

图 1 为坡道转弯的结构示意图。从地形分析,坡道转由下坡路段和水平路段两部分组成,并且两部分成一定角度。此处的拐角与一般路口拐角不同,它由墙壁构成,这种结构造成司机的视线不开阔,拐角两侧的车辆在相遇前都无法得知对方车辆的情况,司机应对突发事件的时间短。首先对坡道转弯进行区域划分,将坡道转弯通过分隔线( $L_{center}$ )划分为上坡通道( $passage_{up}$ )和下坡通道( $passage_{down}$ )两部分。

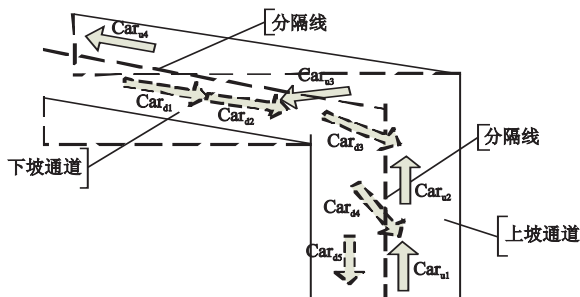


图1 坡道转弯结构

用  $car_{d1}$ 、 $car_{d2}$ 、 $car_{d3}$ 、 $car_{d4}$ 、 $car_{d5}$  表示下坡车辆,  $car_{u1}$ 、 $car_{u2}$ 、 $car_{u3}$ 、 $car_{u4}$  表示上坡车辆。主要冲突及潜在危险包括:

a)下坡车辆或上坡车辆越过  $L_{center}$  造成相向相撞。例如  $car_{u3}$  在上坡过程中越过了  $L_{center}$ ,与迎面而来的  $car_{d2}$  发生碰撞;或  $car_{d4}$  在下坡过程越过了  $L_{center}$ ,与迎面而来的  $car_{u1}$  发生碰撞。

b)下坡车辆在下坡通道行驶时,车辆控制比较困难,若突然减速或停车,易造成追尾事故。例如  $car_{d2}$  发现  $car_{u3}$  越过了  $L_{center}$ ,突然减速或刹车, $car_{d1}$  来不及反应而与  $car_{d2}$  追尾,并有可能造成连环追尾事故。

c)下坡车辆或上坡车辆在拐弯过程中,如果因拐弯角度控制不好而越过  $L_{center}$ ,与对面正常行驶的上坡车辆或下坡车辆相撞,如拐弯的  $car_{d3}$  与正在上坡的  $car_{u2}$  发生相撞。

#### 1.2 解决方案及系统描述

根据问题原型的描述,本文设计了基于 WSN 的坡道转弯提醒系统。该系统采用无线传感器节点来实时监测异常事件,并及时将事件数据传送给汇聚节点<sup>[15]</sup>。汇聚节点融合从数据采集传感器节点传来的事件数据,并根据当前的交通状况向司机发出相应的提示或警告信息,使其提前采取应对措施,避免交通事故发生或加剧。例如,就上述提到的一个冲突,若下坡车辆越过  $L_{center}$  而占用了上坡通道,无线传感器节点监测到这一信息并将此信息传送给汇聚节点,汇聚节点根据收集的数据作出判断,然后向提醒系统发送控制命令,后者利用声音警告越界司机返回自己的通道,从而避免下坡车辆和上坡车辆相撞的危险。

整个系统由两部分构成:基于 WSN 的感知子系统和提醒子系统。基于 WSN 的感知系统用来感知数据和数据融合,然后将控制信号传输给提醒系统;提醒系统根据从基于 WSN 的感知系统传来的控制信号而向司机发出提醒。

### 2 基于 WSN 的感知系统

感知子系统采用 WSN,无线传感器节点实时感知交通异常事件,把异常事件数据传送给汇集节点;汇集节点进行数据融合并产生控制指令。该子系统具有便于布置、实时感知、能够进行现场处理的优点。

#### 2.1 WSN 布置与描述

系统中采用了两类传感器节点,一类是汇聚节点(sink node),数量一个,用来收集数据、进行数据融合、作出决策控制整个坡道转弯的交通,是系统的核心部件;另一类是普通无线传感器节点(sensor),数量若干,用来采集车辆的行驶信息。若干声音提醒设备(alarm),用来接收由汇聚节点发送的控制命令,提醒或警告司机注意行驶安全。

系统利用 sensor 实时监测异常事件,并及时将事件数据传送给 sink node。Sink node 融合从 sensor 传来的事件数据,并根据当前的交通状况控制 alarm 向司机喊话,使其预先采取应对措施,避免交通事故发生或加剧。例如,若 sensor 采集到下坡车辆越过  $L_{center}$ ,将信息传送给 sink node, sink node 作出判断后向 alarm 发送控制命令,警告司机返回自己的通道。

系统的硬件设备部署如图 2 所示,将 alarm  $A_{d1}$ 、 $A_{d2}$ 、 $A_{u1}$ 、 $A_{u2}$  安装在弯道的两侧。其中  $A_{d1}$ 、 $A_{d2}$  用于提醒越过  $L_{center}$  的上坡车辆; $A_{u1}$ 、 $A_{u2}$  用于提醒越过  $L_{center}$  的下坡车辆。Sensor 部署在图中所示的位置监控车辆的行驶信息。采用不同类型的传

感器节点对同一事件进行监测,以达到通过不同的空间视角获得更大的信噪比,提高检测的精确度,减少监测盲区。Sink node 部署在拐角处,所有 sensor 与 sink node 之间进行无障碍数据传输,丢包率较低。

Sensor 部署的依据如下,坡度转弯处导致冲突或车祸的主要原因就是车辆不遵守交通规则,越道行驶。如果能控制上坡和下坡车辆都在自己的通道中行驶,就能有效地防止冲突的发生。所以在  $L_{center}$  上部署 sensor 监测车辆是否越界,若监测到越界立刻向 sink node 汇报。

Alarm  $A_{d1}$ 、 $A_{d2}$ 、 $A_{u1}$ 、 $A_{u2}$  分别负责  $P_{d1}$ 、 $P_{d2}$ 、 $P_{u1}$ 、 $P_{u2}$  处的提醒。当  $P_{u2}$  中的车辆越界进入  $P_{d1}$  时, sensor 监测到这一事件,汇报给 sink node; sink node 进行数据融合和计算后向  $A_{d1}$  发出控制命令,由  $A_{d1}$  警告越界车辆返回自己通道。与此类似,  $P_{d1}$  中的车辆越界进入  $P_{u2}$  时,  $A_{u1}$  警告其返回;  $P_{u1}$  中的车辆越界进入  $P_{d2}$  时,  $A_{d2}$  警告其返回;  $P_{d2}$  中的车辆越界进入  $P_{u1}$  时,  $A_{u2}$  警告其返回。

### 2.2 WSN 的路由建立

传感器节点部署之后,节点自组成网,根据节点的部署情况,如检测区域、检测事件类型等,对节点进行分簇<sup>[17,18]</sup>。本文采用了最基本的分簇路由协议 LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy)<sup>[19]</sup>。网络的簇形成之后,所有传感器节点形成四个簇。如果一个事件发生,会有多个传感器节点检测到该事件。这些节点先将数据发送给各自的簇头,簇头融合各个传感器节点的数据,再将融合后的数据发送给汇聚节点。网络的通信方式如图 3 所示。

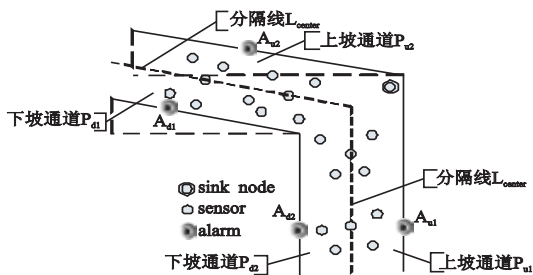


图2 硬件部署

## 3 提醒系统

用基于有限状态机的状态转换图来辅助完成智能控制电路设计,利用数字电路响应时间短的特点提高了系统的反应速度,并且进一步降低了系统的硬件部署造价。

### 3.1 确定型有限状态自动机模型建立

在行为由许多不同类型事件驱动,以及对特定事件的响应取决于先前事件发生顺序的情况下,确定型有限状态自动机最为有用。确定型有限状态自动机对行为建模,在该模型中,对将来事件的响应取决于先前的事件,而且确定型有限状态自动机可以使程序代码简单、测试迅速、维护简单。

在基于 WSN 的坡道转弯提醒系统中,系统任意时刻处于某一确定的状态,即 alarm 警告或不警告。系统的某一状态决定了下一时刻的可能状态集,状态的转移条件成立时,系统转移到下一个状态。状态的转移条件与当前交通状态以及车辆所处的位置信息有关。在系统运行过程中,系统的状态不断变

化,但整个运行过程中出现的状态只有有限多个,是一个有限状态系统,可以采用有限状态自动机  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  来刻画坡道转弯的交通状况。上文已经给出系统的八个状态  $\{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8\}$ , 依据状态的含义确定  $q_1$  为初始状态,同时也是终止状态。设定在  $P_{d1}$  中行驶的车辆为  $car_{d1}$ ,  $P_{d2}$  中行驶的车辆为  $car_{d2}$ ,  $P_{u1}$  中行驶的车辆为  $car_{u1}$ ,  $P_{u2}$  中行驶的车辆为  $car_{u2}$ 。系统状态转移条件为  $\{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8\}$ , 具体含义如下:

- $C_1$ :  $car_{d1}$  越过  $L_{center}$  行驶;
- $C_2$ :  $car_{d2}$  越过  $L_{center}$  行驶;
- $C_3$ :  $car_{u1}$  越过  $L_{center}$  行驶;
- $C_4$ :  $car_{u2}$  越过  $L_{center}$  行驶;
- $C_5$ : 越过  $L_{center}$  的  $car_{d1}$  返回自己的通道;
- $C_6$ : 越过  $L_{center}$  的  $car_{d2}$  返回自己的通道;
- $C_7$ : 越过  $L_{center}$  的  $car_{u1}$  返回自己的通道;
- $C_8$ : 越过  $L_{center}$  的  $car_{u2}$  返回自己的通道。

有限状态机的图形表示能直观地反映系统状态之间的变化,如图 4 所示。其中圆圈代表状态,连接圆圈的箭头线代表转移,箭头线上的标注代表事件。

基于 WSN 的感知系统根据系统的当前状态作出决策后,向系统控制系统发送控制信号来提醒司机或行人。根据系统的八个状态,本文采用三位二进制数据作为感知系统的输出信号,用来控制提醒系统。系统的状态和输出信号的对应关系如表 1 所示。设定 0 表示 alarm 不发指令,1 表示 alarm 向下坡车辆发警告指令,2 表示 alarm 向上坡车辆发警告指令。

表 1 系统状态和输出信号对应关系

系统状态	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$	$q_8$
输出信号	000	001	010	011	100	101	110	111
各	$A_{d1}$	0	0	0	0	0	2	2
alarm	$A_{d2}$	0	0	0	2	2	0	2
状态	$A_{d3}$	0	0	1	1	0	0	0
	$A_{d4}$	0	1	0	1	0	1	0

### 3.2 提醒系统的电路设计

基于 WSN 的感知系统根据系统的当前状态作出决策后,向提醒系统发送控制信号。根据系统的状态,本文采用三位二进制数据作为感知系统的输出,用来控制提醒系统。

与基于 WSN 感知系统的输出相对应,定义变量  $X_1, X_2, X_3$  作为提醒系统的输入,取值为 000 ~ 111,从而控制系统的八个状态,即根据  $X_1, X_2, X_3$  的取值决定 alarm  $A_{d1}, A_{d2}, A_{u1}, A_{u2}$  的提示与否。具体控制方式如下:  $X_1 X_2 X_3 = 000$  时,  $A_{d1}, A_{d2}, A_{u1}, A_{u2}$  不提示;  $X_1 X_2 X_3 = 001$  时,  $A_{d1}, A_{d2}, A_{u1}$  不提示,  $A_{u2}$  提示;  $X_1 X_2 X_3 = 010$  时,  $A_{d1}, A_{d2}, A_{u2}$  不提示,  $A_{u1}$  提示  $car_{d2}$ ;  $X_1 X_2 X_3 = 011$  时,  $A_{d1}, A_{d2}$  不提示,  $A_{u1}, A_{u2}$  提示  $car_{d2}, car_{d1}$ ;  $X_1 X_2 X_3 = 100$  时,  $A_{d1}, A_{u1}, A_{u2}$  不提示,  $A_{d2}$  提示  $car_{u1}$ ;  $X_1 X_2 X_3 = 101$  时,  $A_{d1}, A_{u1}$  不提示,  $A_{d2}, A_{u2}$  分别提示  $car_{u1}, car_{d1}$ ;  $X_1 X_2 X_3 = 110$  时,  $A_{d2}, A_{u1}, A_{u2}$  均不提示,  $A_{d1}$  提示  $car_{u2}$ ;  $X_1 X_2 X_3 = 111$  时,  $A_{u1}, A_{u2}$  不提示,  $A_{d1}, A_{d2}$  分别提示  $car_{u2}, car_{u1}$ 。

根据上述对  $A_{d1}, A_{d2}, A_{u1}, A_{u2}$  的控制机制,本文以  $X_1, X_2, X_3$  作为输入设计的 alarm 控制电路图,如图 5 所示。

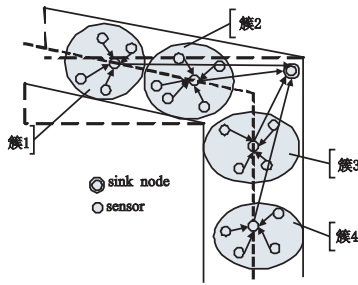


图3 通信方式

### 4 实验结果与分析

本文所采用的仿真工具为 MATLAB 7.1。环境参数的设置参考镇江大润发地下车库的实地测试数据,传感器节点参数设置参考了 Crossbow 的 iris 节点的性能指标。

在仿真场景中,将节点按坡道转弯的结构布置。节点的距离为 20 m,所有节点的通信半径为 100 m,传感器节点数据包长度最长为 256 Byte。冲突的数据处理所需要的时间  $T_{data}$  与采用的节点和具体冲突有关,冲突涉及的事件数据多,处理时间就越长;数据传输时间可以忽略不计,但传输延迟  $T_{trans}$  与信道分配算法有关,信道空闲,传输延迟小,信道忙,则传输延迟大;设置  $T_{data}$  和  $T_{trans}$  为随机取值,范围分别为  $T_{data} \in (0, 0.4]$  和  $T_{trans} \in (0, 0.2]$ 。汽车行驶速度为  $V$ ;车辆与事故发生点的制动距离为  $D$ ,系统发出提醒与车辆发生碰撞时间的时间间隔为  $T$ 。它们之间有如下关系:

$$T = D/V - T_{data} - T_{trans} \tag{1}$$

时间间隔  $T$  与车辆的制动距离成正向关系,制动距离越大,司机用来反应和采取措施的时间就越长。在车辆速度  $V$  为 72 km/h 的情况下,时间差  $T$  与距离  $D$  之间的关系如图 6 所示。

时间间隔  $T$  与车辆的速度成反向关系,车辆的速度越快,司机用来反应和采取措施的时间间隔就越小。在距离  $D$  为 50 m 的情况下,时间差  $T$  与车辆速度  $V$  之间的关系如图 7 所示。

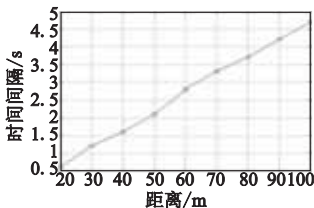


图6  $V=72 \text{ km/h}$  的情况下,时间差  $T$  与距离  $D$  之间的关系

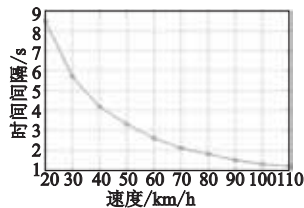


图7  $D=50 \text{ m}$  的情况下,时间差  $T$  与速度  $V$  之间的关系

由此可见,在车辆行驶速度一定的情况下,距离  $D$  的值越大,留给司机的处理时间就越长,也就是说,系统能在事故发生后的第一时间向司机或行人发出警告信息。同时,在  $D$  值一定的情况下,司机的处理时间随车辆速度的增加而减少。该系统根据当前的交通状况给出车辆的安全行驶速度。

### 5 结束语

针对坡道转弯交通冲突问题,本文研究和实现了基于 WSN 的坡道转弯提醒系统。本系统包括基于 WSN 的感知系统和提醒系统两大部分。前者的主要任务是数据感知,后者的主要任务是违规提醒。传感器节点采集车辆违规行驶信息,然

后将感知数据传送给汇聚节点;汇聚节点融合各传感器节点的数据,作出决策后产生控制信号,然后将控制信号传送给提醒系统;提醒系统收到控制信息后,向司机或行人发出提醒或警告。实验结果表明,该系统能准确地获取车辆违规行驶的信息,根据车辆信息作出正确的决策,并能及时地向司机或行人发出提示信息。

笔者进一步的工作是研究如何高效地进行数据传输,提高整个基于 WSN 的坡道转弯提醒系统的实时性。

### 参考文献:

- [1] 陆化普,朱茵. 21 世纪的智能交通系统——现代科技的融合[J]. 交通运输工程与信息学报, 2003,1(2):28-33.
- [2] 王娜,王国宇,孟庆春,等. 基于 Agent 的智能交通系统的控制建模[J]. 计算机应用研究, 2007,24(1):103-106.
- [3] YUAN Xiao-bo, HE Zhong-xing. Fuzzy extension information and intelligent transportation management control system [C]//Proc of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation. Shanghai: IEEE, 2002:1041-1045.
- [4] 藏利林,贾磊. 城市交通智能控制优化算法[J]. 中国公路学报, 2006,19(6):97-101.
- [5] LU Shou-feng, LIU Xi-min, DAI Shi-qiang. Incremental multistep Q-learning for adaptive traffic signal control based on delay minimization strategy [C]//Proc of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2008:2854-2858.
- [6] NIITYMAKI J, KONONEN V. Traffic signal controller based on fuzzy logic [C]//Proc of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Naurville: IEEE, 2000:3578-3581.
- [7] GREGOIRE P L, DESJARDINS C, LAUMONIER J. Urban traffic control based on learning agents [C]//Proc of the 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. 2007: 916-921.
- [8] WEI Jun-hua, WANG An-lin, DU Nian-ci. Study of self-organizing control of traffic signals in an urban network based on cellular automata [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2005,54(2):744-748.
- [9] 高海军,陈龙,石松泉. 交通路口混合交通流的分布式模糊控制 [J]. 中国公路学报, 2003,16(4):67-71.
- [10] 魏武,张起森,王明俊,等. 一种基于模糊逻辑的城市交叉口交通信号控制方法 [J]. 交通运输工程学报, 2001,1(2):99-102.
- [11] YAN Li, FAN Xiao-ping. Design of signal controllers for urban intersections based on fuzzy logic and weightings [C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems. Shanghai: IEEE, 2003:867-871.
- [12] 史忠科,陈小锋,赵凯. 一种智能交通信号控制机的设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 2004,21(8):145-147.
- [13] 倪维健,康叶伟,赵海山,等. 一种智能交通信息采集系统的设计与实现 [J]. 计算机应用研究, 2006,23(12):271-274.
- [14] 杨立才,贾磊,赵建玉,等. 基于粗集理论的交通控制系统研究 [J]. 中国公路学报, 2005,18(2):79-83.
- [15] DU Jun-zhao, SHI Wei-song. App-MAC: an application-aware event-orient MAC protocol for multimodality wireless sensor networks [J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2008,57(6):3723-3731.
- [16] 王浩,马寿峰. 适用于弯度与坡度的跟驰模型及其仿真研究 [J]. 土木工程学报, 2005,38(11):106-111.
- [17] 余勇昌,韦岗. 无线传感器网络路由协议研究进展及发展趋势 [J]. 计算机应用研究, 2008,25(6):1616-1621.
- [18] 卞永钊,于海斌,曾鹏. 无线传感器网络中的拓扑控制 [J]. 计算机应用研究, 2008,25(10):3128-3133.
- [19] LIN C R, GERLA M. Adaptive clustering for mobile wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1997, 15(7):1265-1275.