

基于 RFID 电子标签的公交信号单点优先策略

王浩, 黄锋, 刘云翔

(上海应用技术学院, 上海 201418)

摘要: 为加强路口单元与公交车辆的信息交互, 提高公交信号优先系统的效能, 以 RFID 电子标签为信息交互中介, 建立车路通信环境, 构建交通信号系统、公交系统为一体的公交信号优先系统; 通过与电子标签的信息交互, 路口单元对公交车的信号优先请求进行分级错开, 计算信号配时、建议车速、驻站时间等控制参数, 制定出基于引导的优先方案, 在交叉口实现公交车的优先通行与安全行驶服务; 实验结果表明, 在高饱和状态下, 文章引导策略能使交叉口公交的平均延误降低 30%, 在中、低饱和状态下的效益更佳。

关键词: 电子标签; 信息交互; 车速引导; 驻站时间

A Single Point of Transit Signal Priority Strategy Based on RFID Tag

Wang Hao, Huang Feng, Liu Yunxiang

(Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200000, China)

Abstract: In order to strength the information exchange between intersection unit and transit vehicle, and improve the efficiency of transit signal priority system, regarding the RFID electronic tags as information exchange intermediary, vehicle road communication environment is established, and transit signal priority system including traffic signal system and transit system as a whole is constructed. Through information exchange with electronic tags, intersection unit makes signal prior requesting of transit vehicle classification staggered, and calculates control parameters including signal timing, suggested speed, station time and so on, priority scheme based on guide is formulated, and transit vehicle priority and safety service can be achieved in intersection. Experimental results show that in high saturation state, guidance strategy in the article can make the average delay of bus in intersection reduce by 30%, and there is a better efficiency in the medium and low saturation state.

Keywords: electronic tags; information exchange; speed guide; station time

0 引言

公交信号优先是解决城市交通拥堵等问题的主要手段, 其实现是以公交车辆检测技术提供的信息为基础^[1]。而线圈检测技术和 GPS 检测技术在已有的公交优先方案应用较为广泛, 但在实际应用过程中, 仍存在一些不足, 主要体现在: 1) 线圈检测技术只在道路的固定断面对公交车辆进行检测而无法在路段上对车辆进行检测与监控^[2]; 2) GPS 技术在获取车辆信息后不能与路口单元实时交互信息, 缺乏灵活性的同时增加控制中心优先算法的复杂度^[3]。此外, 在道路资源匮乏的情况下, 如何分配优先权也亟需解决, 现有的公交信号优先系统中公交系统与交通信号系统分离, 交通信号系统因无法及时从公交系统中获取车辆的有效数据而不能给予公交车辆一个准确的优先权值, 使得公交优先的流程更加复杂, 难以达到优先目的^[4-5]。

随着车路协同技术的发展, 如 RFID 电子车牌技术, 其具有快速、准确、非接触式识别、通信稳定可靠等特点, 能弥补线圈检测和 GPS 检测的不足, 使得面向个体车辆的检测更加精细化^[6-8]。鉴于此, 本文以 RFID 电子标签为信息中介, 构建交通信号系统、公交系统为一体的公交信号优先系

统, 提出系统的信息交互原理并建立其通信链路, 通过车速引导、驻站控制和信号配时以及优先请求分级错开的方式, 设计基于引导的公交信号优先思路和优先控制流程, 利用单点控制层完成优先方案的制定与执行, 在交叉口实现对公交车辆的优先控制。

1 系统功能

基于 RFID 技术的公交信号优先系统的基本目标: 确保在路段中能多次定位和监控公交车辆情况, 在保证交叉口总效益最大前提下, 通过基于速度引导的方式为公交车辆提供交叉口优先通行, 达到对其优先控制与安全行驶服务, 实现人们出行方式(减少私人车辆的出行, 增加公共交通的出行)的转变。为此, 该系统的主要功能包括以下内容:

1) 感知公交车辆信息。获取公交车辆运行状态, 准确采集全线路的公交车辆班次、位置、速度、载客率、站点候车客流、延误等信息。

2) 公交车辆数据传输。实现公交与公交调度中心、公交与路旁 RFID 读写设备之间的短距离通信及数据传输, 将采集到的公交数据或车载计算机处理后的公交异常信息实时、可靠地传送给公交调度中心; 将中心处理后的公交数据与路口单元进行交互, 为路口单元制定公交优先方案传输必要数据。

3) 路口单元制定优先决策。中心快速、精确的分析与处理上传的公交数据, 并由判断规则, 判定各线路公交车优先权值, 为实施优先请求分级错开提供依据; 路口单元结合当

收稿日期:2014-04-18; 修回日期:2014-05-19。

基金项目:上海市科委重点支撑项目(12510503800)。

作者简介:王浩(1976-),男,上海人,工学博士,主要从事智能交通信息与控制,计算机应用等方向的研究。

前交通状态数据与公交调度中心数据, 为公交制定优先方案。

4) 执行优先方案。根据制定的公交优先方案, 路口单元执行相应的信号控制, 引导公交车辆适时到达并通过路口。

5) 优先方案显示与日志生成。监控中心及时在电子地图上显示有关车辆和采取的优先方案, 实时监控线路中的公交车辆, 并将相关信息汇总生成日志后存入服务器的数据库, 方便查询和分析。

2 系统设计

2.1 公交信号优先原理

本文重点研究单点控制层公交信号优先控制问题。系统的中心层负责提前设定系统的控制策略(速度引导、驻站控制、信号配时等公交优先策略)和控制目标(在保证非公交相位交通流正常通行的前提下, 以公交车辆与社会车辆的加权延误与停车最小为控制目标), 而计算信号配时方案、建议车速、驻站停留时间以及其他控制参数等核心工作由单点控制层完成, 并由其执行优先控制方案。为此提出以 RFID 电子标签为信息交互中介构建公交信号优先系统, 基于 RFID 的交叉口公交信号优先交互原理如图 1 所示。

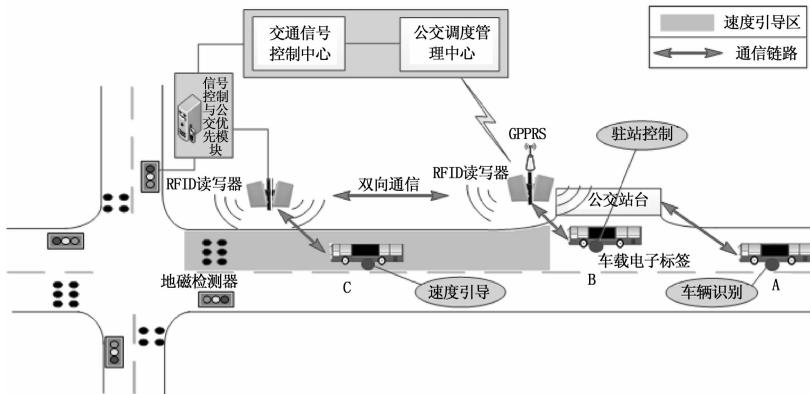


图 1 基于 RFID 的交叉口公交优先信息交互原理

如果考虑信号交叉口位于公交站台的下游, 在公交站台及交叉口进口道停车线前 50~100 m 安装 RFID 读写器作为路侧读写单元, 公交车辆上安装电子标签为车载单元。公交优先控制过程取决于 A、B 和 C3 个关键通信区, 具体体现如下:

A 区, 公交车辆传输与接收数据。当安装有电子标签的公交车辆进入站台通信区域, 站台 RFID 读写单元自动识别所有车辆信息, 通过 GPRS 无线网络将车辆班次、位置、速度、载客率、站点候车客流、延误等信息实时传送到公交调度管理中心, 中心根据优先权判断规则对获取的信息进行分析、评价、合并, 给定优先申请公交车辆的优先权值并整合相应的运营信息再发送至车载电子标签;

B 区, 优先方案制定与驻站控制使用。首先路口单元利用读写器的双向通信获取电子标签中车辆优先权值与运营信息, 通过自身的优先权判断规则给予公交车辆一个最终的优先权值, 再结合中心管理层制定的控制策略、控制目标以及当前交

通运行状态, 计算得到公交信号优先控制方案, 其次再将控制方案(优化后的信号配时控制参数、建议车速和驻站时间)写入车载电子标签。此时公交车辆可在站台进行驻站停留避免公交出站后又一次被红灯信号阻挡, 减少停车次数;

C 区, 速度引导。根据优先方案, 路口单元执行相应的信号控制, 引导公交车辆适时到达并通过路口, 完成信号优先方案的执行。

A、B 和 C3 个通信区联动能够达到公交车辆在交叉口的优先通行, 实现对公交车辆的优先控制。此外, 停车线处安装的无线地磁检测器能通过对过往车辆进行检测, 可为信号控制系统提供交叉口交通流量、速度、占有率等信息。

2.2 通信链路设计

根据系统需求, 基于 RFID 的公交信号优先控制系统的逻辑结构自上而下可分为网络控制层、网络层和单点控制层。本文重点研究网络控制层与路口层的之间的通信, 结合原理图构建系统的通信链路, 公交信号优先控制系统通信链路如图 2 所示:

网络控制层与单点控制层涵盖 4 个主要通信链路。下面分别做详细分析。

链路 1: 车载电子标签与公交调度中心通信(或上行链路)。站台读写单元对所有进入站台通信区域车载电子标签进行权限校验和信息读取, 再通过无线网络将数据实时传送到公交调度管理中心。

链路 2: 公交调度中心与路口信号控制单元通信(或下行链路)。中心给予优先申请公交车辆的优先权值并整合相应的运营信息再发送至车载电子标签, 利用路口与站点读写器的双向通信将相应信息传送到路口信号控制单元, 为其制定公交优先控制方案做好准备。

链路 3: 路口信号控制单元与站点 RFID 读写单元通信(写入优先方案)。路口制定公交优先控制方案后, 通过读写器的双向通信将优先策略写入车载电子标签。

链路 4: 路口 RFID 读写单元与车载电子标签通信(执行优先方案)。根据优先方案, 公交

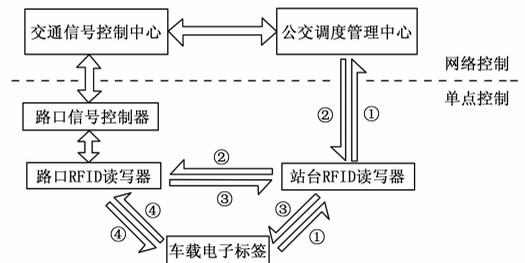


图 2 控制系统通信链路

可以使用驻站策略或者公交出站对其进行速度引导(加减速)并配合已优化的信号配时控制参数, 可使车辆适时不停车到达并通过交叉口。

3 信号优先策略设计

3.1 速度引导与驻站控制

以最基础的道路交叉口（由两条单行道组成）模型为例，假设交通流处于非饱和状态，每个进口道交通流基于平均历史流量，以固定流率均匀到达，据此研究公交车辆在交叉口的基本优先思路（包含速度引导、驻站控制和信号配时）。公交优先基本思路如图 3 所示。

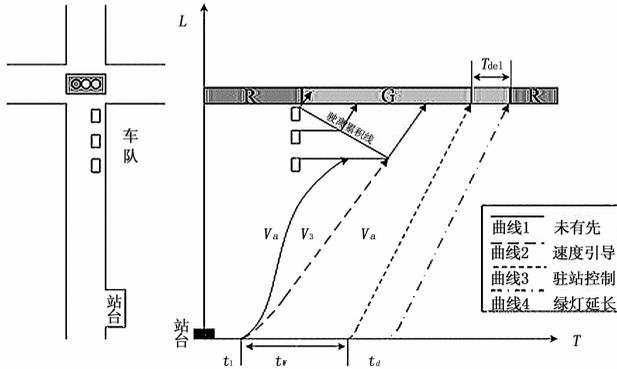


图 3 基于 RFID 的公交优先基本思路

当公交行驶相位红灯亮起时，交叉口进口道公交车辆将会排队累积，直至绿灯亮起排队将逐渐消散，图中 R 表示红灯时长，G 表示绿灯时长。曲线 1 表示无信号优先的公交运行方式，此时，公交车辆在时刻驶出站台，加速至平均行驶速度后，再减速停车，进入由红灯引起的公交排队。而在 RFID 技术下，基于车路间的信息交互，可以通过速度引导或驻站停留控制避免上述停车。

曲线 2 表示速度引导的公交运行方式，公交车辆在时刻驶出站台后，通过速度引导加速至较低的速度，最后不停车通过交叉口。曲线 3 表示驻站控制的公交运行方式，可根据运营需求，公交车推迟出站，在站台内驻站时长，最后不停车通过交叉口。基于 RFID 车路通信技术还可对绿灯未到达的公交车辆提供绿灯信号延长，如图 3 中曲线 4 所示，公交车辆在时刻驶出站台，在本相位绿灯信号结束之前无法正常通过交叉口，但基于车路通信，延长绿灯信号秒，推迟绿灯信号的结束时间，使得公交车辆顺利通过交叉口。

3.2 优先控制流程设计

公交信号优先系统的工作流程可以分为 3 个阶段，包括公交相位绿灯请求、优先控制方案的求解和优先控制方案的执行，由单点控制层中的交叉口路侧单元（路口信号控制器和路口 RFID 读写器组成，简称路口 RSU）和站点读写单元（站台 RFID 读写器，简称站点 OBU）完成上述工作。基于 RFID 的公交信号优先控制流程如图 4 所示。

(1) 公交相位绿灯请求：

公交相位绿灯请求阶段又可以分为两步，第一步为公交定位与通信链路建立，第二步为公交相位绿灯请求的生成与发送。

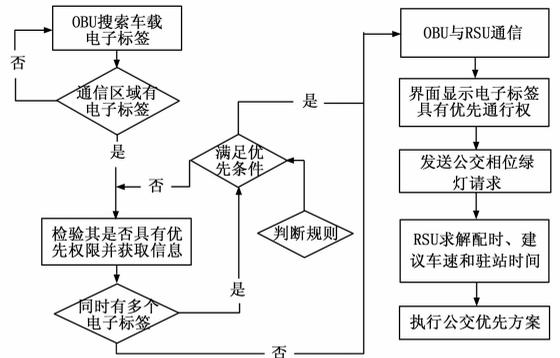


图 4 基于 RFID 的公交优先控制流程

公交定位与通信链路建立：当公交车辆进入 OBU 的通信范围时，OBU 将能接收到由车载单元发送来的优先请求和公交车辆信息并校验其优先权限，若同一时刻出现多个优先申请，则 OBU 接受所有申请车辆信息发送至公交调度管理中心，由中心结合判断规则与数据给予公交车辆优先权值，此时 OBU 与车载电子标签建立了双向通信，再将标签信息发送至 RSU，由 RSU 给予车辆最终优先权值，公交中人机交互界面显示车辆优先权。

公交相位绿灯请求的生成与发送：具有优先权值的公交车辆生成的相位绿灯请求。

(2) 控制方案的求解：

RSU 接收 OBU 发来的相位绿灯请求后，结合当前信号状态信息，需建立优化模型求解公交相位绿灯起亮时间、持续时间、建议车速以及驻站时间等控制参数（参数根据需求可以扩充）。模型目标可以为延误和停车最小、能耗最小等，约束条件包括最大绿灯时间、最小绿灯时间等。求解完毕后对求解结果生成日志文件，方便查询和分析。

(3) 控制方案的执行：

RSU 求解后，输出配时方案、建议车速和驻站时间等参数。路口信号控制单元控制信号控制机执行信号配时方案，通过无线通信将建议车速和驻站停留时间发回给车载电子标签，车载电子标签通过人机交互界面对驾驶人进行提示。

4 仿真实验

为验证本文方法的适用性，以一个如图 1 所示的交叉口为例进行了模型效益分析，并与常规基于线圈检测的单点感应控制模型进行测试和对比，文中选取不同交通流量（在 200 ~ 1 800 veh/h 之间以 200 veh/h 为间隔），分别对应 0.1 到 0.9 的饱和度，流量涵盖了低饱和度、中饱和度和高饱和度的车流量情况，以确保实验的完整性和可靠性。这里以交叉口总延误最小为目标函数，两种模型优化后得出的公交车辆的效益对比。

从图 4 中可以看出，对比常规感应控制，通过引导策略，公交车辆的车均延误整体改善显著，交通流处于低饱和状态时，公交延误的降幅比较明显，大约减少 55% 的延误，随着饱和度的增加，公交延误降低幅度相对较小，但降低幅度仍在

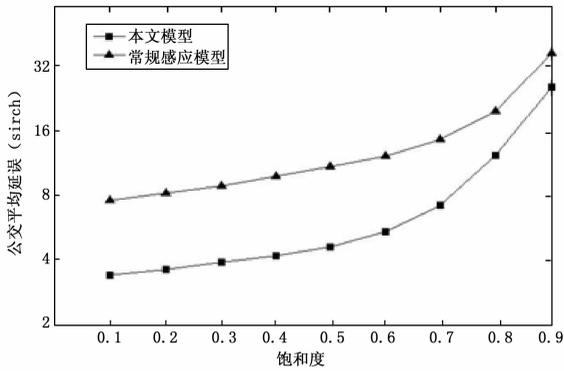


图 5 公交车辆平均延误对比图

30%以上。

5 结论

本文基于单点层制定与执行优先方案可以简化优先控制流程与优化优先算法。通过车速引导、驻站控制和信号配时以及优先请求分级错开的方式, 在保证交叉口总效益最大的情况下, 能使交叉口的公交平均延误时间减少幅度均高于 30% 以上, 有效地提高了绿灯时间利用率。

文中提出的基于单点层控制策略是一个实验原型, 在今后

的研究中, 笔者将结合空间优化方法和时间优化方法, 同时优化道路空间资源与信号配时时间资源, 后续研究应对其进行协同优化, 最大程度整合时空资源, 提高交通效益。

参考文献:

- [1] 高敬红, 杨宜民. 道路交通车辆检测技术及发展综述 [J]. 公路交通技术, 2012, (1): 116-119.
- [2] 凌利, 左宸, 等. 公交车辆检测技术研究进展 [J]. 现代电子技术, 2012, 21: 127-131.
- [3] 马芳. 智能公交系统中 GPS 信息质量问题解析研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [4] 马万经, 杨晓光. 公交信号优先控制策略研究综述 [J]. 城市交通, 2010, (6): 70-78.
- [5] 邝先验, 许伦辉, 等. 交通信号公交优先控制策略及智能控制方法 [J]. 控制理论与应用, 2012, (10): 1284-1290.
- [6] NOOR M Z H, ISMAIL I, SAAID M F. Bus detection device for the blind using RFID application [A]. 2009 International Colloquium on Signal Processing & Its Applications. Kuala Lumpur [C]. Malaysia: IEEE, 2009: 247-249.
- [7] 杜云明, 周杨. 无线射频识别技术与应用研究 [J]. 自动化技术与应用, 2010, (5): 52-55.
- [8] 蔡振辉. 射频识别技术在公交站场车辆管理中的应用 [J]. 广东科技, 2010, (6): 70-71.

(上接第 2993 页)

表 1 SA 和 MySA 运行结果对比

代价约束比	算法	执行时间/ms	系统时间/ms
0.1	SA	3 310	237 468
	MySA	1 840	235 341
0.4	SA	3 420	218 567
	MySA	1310	214 236
0.6	SA	4 060	169 457
	MySA	1 330	165 583
0.9	SA	4 210	135 846
	MySA	1 270	132 194

由表 1 可知, MySA 在各种情况下的执行时间都明显比 SA 的执行时间要短 (平均低于 SA 执行时间的 1/2), 证明其收敛速度要明显比 SA 快。同时, 对比最终划分结果可知, MySA 得到的最终解要优于 SA 得到的结果, 证明 MySA 找到近似最优解的能力要优于 SA。

4 结束语

针对可重构指令集处理器进行软硬件划分这一关键问题, 将 Cauchy 分布应用到经典模拟退火算法的扰动模型中, 并对其距离参数进行改进, 另外对代价函数进行改进, 给出更为有效的边界条件, 使其在执行效率和引导搜索方向上有所提高, 同时改进冷却进度表。通过对比经典模拟退火算法, 使用改进算法对算法收敛速度有明显改善, 其效果在任务数变大的情况

下更为突出, 另外改进算法也提高了搜索到全局近似最优解的能力。

参考文献:

- [1] Li Y, Callahan T, Darnell E, et al. HW/SW Co-Design of Embedded Reconfigurable Architectures [A]. Proceedings of the 37th Design Automation Conference [C]. Los Angeles: ACM, 2000: 507-512.
- [2] Noguera J, Badia R M. HW/SW Codesign Techniques for Dynamically Reconfigurable Architectures [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 2002, 10 (4): 399-415.
- [3] 王月峰, 严卫生. 自主水下观测系统嵌入式控制器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2): 480-486.
- [4] Wu J G, Srikanthan T. Algorithmic aspects of HW/SW partitioning: 1D search algorithm [J]. IEEE Transactions on Computers, 2010, 59 (4): 532-544.
- [5] Petru E, Zebo P, Krzysztof K, et al. System Level HW/SW Partitioning Based on Simulated Annealing and Tabu Search [J]. Design Automation for Embedded Systems, 1997, 2 (5): 5-32.
- [6] Dick R P, Rhodes D L, Wolf W. TGFF: Task graphs for free [A]. Proceedings of the 6th International Workshop on Hardware/Software Co-design [C]. Seattle: ACM, 1998: 97-101.
- [7] Dave B P, Lakshminarayana G, Jha N K. COSYN: HW/SW Co-Synthesis of Heterogeneous Distributed Embedded Systems [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, 1999, 7 (1): 92-104.