

文章编号: 1002-0268 (2004) 05-0121-04

城市公共交通优先的信号控制策略

刘红红¹, 王鑫钥², 杨兆升¹

(1. 吉林大学, 吉林 长春 130025; 2. 长春市南关区计算机智能开发部, 吉林 长春 130022)

摘要: 城市公共交通优先的信号控制策略研究如何在道路交叉口信号控制中体现公交优先的技术, 本文详细阐述了实施公共交通信号优先的硬件系统和具体的实现策略。为了有效地在路口信号控制系统中体现公交优先策略, 在控制过程中要采用实时算法, 将公交优先作为信号控制的一个函数, 论文给出了交叉口公共交通优先策略的实时最小绿灯持续时间估计。作者在交通控制的模拟中采用了该控制策略, 结果表明: 公共交通优先信号控制系统的设计和实施能够提高公共交通的行驶速度和公交运行的可靠性。

关键词: 城市公共交通优先; 信号控制策略

中图分类号: U491.17

文献标识码: A

Control Strategies of Urban Transit Signal Priority

LIU Hong-hong¹, WANG Xin-yue², YANG Zhao-sheng¹

(1. Jilin University, Jilin Changchun 130025, China;

2. Changchun Nanguan District Computer Intelligent Exploit Corporation, Jilin Changchun 130022, China)

Abstract: The Control strategies of urban transit signal priority is an operational strategy that facilitates the movement of in-service transit vehicles either buses or streetcars through traffic-signal controlled intersections. The paper expounds the hardware system and specific strategies of the transit signal priority.

Key words: Urban transit priority; Signal control strategies

0 引言

城市公共交通优先是指大城市的市内客运交通以大容量、快速度的公共交通系统为主, 以其他交通工具为辅的交通方式。它是一种交通发展策略, 它依靠工程、管理措施以及相应政策、法规的支持, 为市民提供快速、方便、经济、舒适、安全的出行环境^[1]。

公共交通(以下简称公交)优先的概念应包括两方面的含义, 即: 对公交在通行空间和时间上给予优先。所谓空间优先, 是通过设立公交专用道(路)或各类专用进口道加以实现; 时间优先则体现在公交优先信号控制上。如果不在交通信号管理中配以相应的优先控制策略, 则公交专用道的作用不会得到充分发

挥。统计数据表明, 如果不在道路交叉路口信号控制策略中体现公交优先, 即使有公交优先道路, 公交车运营节省的时间也十分有限(统计数字表明仅节省5%~10%左右), 因此研究在有公交专用道路条件下交通信号控制中的公交优先策略显得十分重要。

公共交通信号优先策略的目的是减少公交车辆在信号交叉口的延误, 这种考虑的根本原因在于城市公共交通具有客运量大、相对投资小、占有资源少、效率高、污染相对较少、人均占有道路少等优点。如果交叉口的延误用经过交叉口的全部出行者的总延误来表示的话, 那么一辆满载乘客的公共汽车在交叉口30s的延误和一辆小轿车在交叉口30s的延误是不等价的。因此, 让公共交通在交叉口具有优先权, 将会极大地减小交叉口的总人均延误。

收稿日期: 2003-04-20

基金项目: 吉林省科技发展计划项目资助(20020424)

作者简介: 刘红红(1973-), 女, 吉林长春人, 讲师、博士, 研究方向为智能运输系统。

1 公共交通信号优先的物理结构

公共交通信号优先控制的系统构成见图 1, 系统主要由以下 3 部分组成。

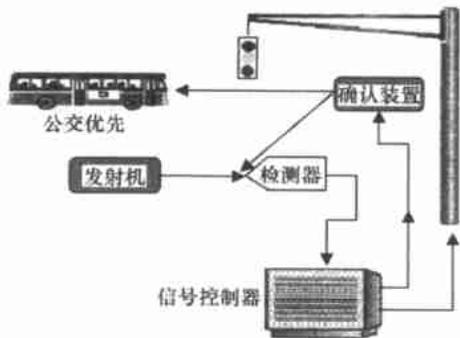


图 1 单个交叉口公共交通信号优先控制的物理结构图

1.1 公交车辆检测/优先请求系统

车辆检测包括公交车检测和普通车辆检测。公交车的检测过程如下：在公共汽车上安装固定频率的专用信号发射器，公交优先信号交叉口上、下游分别设相应频率的信号检入、检出检测器，信号检测器与交通信号控制机相连。当检入检测器检测到有公交车到达时，将到达信息迅速传递到信号机控制系统，由控制系统决定优先策略，然后发出指令给信号机，以便实现公交车无阻滞、优先通过交叉口。设置检出检测器的目的是为了控制系统知道何时公交车离开交叉口，不再需要优先权。控制系统通过计数器记录检入和检出检测器之间的公交车辆数，当检入检测器被激活时，计数器计数加 1，当检出检测器被激活时，计数器计数减 1。在检测器正常工作情况下，仅当计数器的计数大于或等于 1 时才考虑公交优先的问题。当入口检测器出错或计数器计数异常时对计数器进行复位。

1.2 通信系统

公交信号优先控制通信系统将检测器的输出信号传输到本地交叉口的信号控制系统或地区的交通管理中心，作为信号控制决策的输入参数；同时将控制策略从本地或交通管理中心传输给信号控制器，来控制信号灯的显示。

1.3 交通信号控制系统

对于公交优先信号控制而言，必须将交叉口的信号控制从简单的定时控制改进为交通感应控制^[2]。信号控制系统应该具有系统控制、无电缆协调控制、感应控制、优先控制、紧急情况控制、手动控制等工作方式。具有灯泡损坏监测、检测器错误监测、绿灯冲突监测等自检功能。通常情况下设在交叉口的信号机

包含有一个电源单元、一块 CPU 板、若干块相位驱动板。

2 交叉口公共交通优先策略的实时最小绿灯持续时间估计

为了有效地在路口信号控制系统中体现公交优先策略，在控制过程中要采用实时算法，不能采用预案控制策略。将公交优先作为信号控制的一个函数，在考虑交通条件和驾驶员安全的基础上，加入最短绿灯时间约束，并能根据不同情况自动更新。

设定最短绿灯时间是基于如下的考虑，驾驶员对信号变化做出安全反应需要有一个最短的绿灯持续时间；在每一个控制相位必须要放行一定的车辆，以减少平均等待队长。

最小绿灯持续时间 G_{\min}^i 由下式计算

$$G_{\min}^i t_c + \Delta t_b + \max[Q_m^i(k)] (3600/q_m) \quad (1)$$

式中， G_{\min}^i 为相位 i 的最小绿灯时间； t_c 为普通车辆的起动延误； Δt_b 为自行车干扰时间常数； $\max[Q_m^i(k)]$ 为所有车道排队车辆平均数中的最大值； q_m 为车道的饱和流量。

3 公交优先路口信号控制策略

在对交叉口公交优先信号控制设计的时候，需要定义信号阶段和确定信号显示的逻辑。所谓信号阶段就是信号灯不会改变的信号配时的间隔^[3]。换句话说，信号阶段描述了在一个基本信号状态下可组合的但又不会发生相互冲突的所有信号。依照逻辑交叉口的信号控制器控制不同阶段的开关。以下在阐述各种优先策略时正是按照这两点来展开，为了表述的方便，作者采用示意图来表示。

3.1 通过延长绿灯时间来实现公交优先

如果车辆检测器检测到在信号相位的绿灯结束时有公共汽车到达交叉口，这时采用的公交优先策略是延长原有的绿灯时间，以使公共交通有足够的时间通过交叉口。公共汽车通过交叉口后，控制系统将恢复原有信号配时。

图 2 示意了通过延长绿灯时间来实现公交优先控制的策略。在图 2 中，垂直轴代表时间，图的左边部分是检入、检出检测器的时-空关系图，从中可以看出检测器的位置。图的右半部分是受优先权影响的两组信号随时间的变化。其中左边是公交优先信号，右边是受公交优先影响有延误的信号组。

理论上，只有公交车在 $C-D$ 时间段内到达交叉

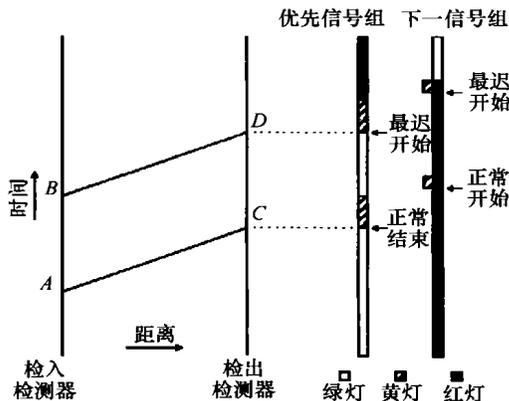


图2 通过延长绿灯时间实施公交优先信号控制

口时，才可以通过延长绿灯时间这种方式来实现公交优先的策略。时间 C 是正常绿灯信号结束的时刻，在时刻 C 之前到达交叉口的公交车辆在正常的绿灯时间通过交叉口，不需延长绿灯时间。时刻 D 是最迟绿灯结束时间，它由下一组信号最小绿灯时间来决定。在时刻 D 之后到达交叉口的公交车辆就不能再通过延长绿灯时间来实现优先。

实际上，由于检入检测器通常设在交叉口上游 $100 \sim 200\text{m}$ 处，因此公交车辆被检测器检测到和到达交叉口有一个时间差，这个时间差代表了车辆在检测器和交叉口之间的运行时间。正是由于这个时间差的存在，所以在时刻 C 之前被检入检测器检测到的公交车辆也有可能在此时刻 C 之后到达交叉口，因此适合这种优先策略的公交车辆被检入检测器检测到的时间段应该比时刻 C 和时刻 D 提前一段时间（这段时间 = 公交车辆从检测器到交叉口的运行时间），这个时间段对应图 2 中的 A 、 B 之间的时间段。

3.2 通过缩短目前相位来实现公交优先

如果公交车辆在信号灯为红灯时到达交叉口，这时可以通过缩短目前的相位使下一个绿灯相位提前的方式来实施公交车辆优先。图 3 示意了通过缩短目前相位的方式来实施公交优先的策略。图的右半部分是受优先权影响的两个信号组，一个是优先信号组，一个是被缩短相位的信号组。时刻 C 是让公交车辆通行的绿灯开启的最早时刻，它由缩短相位信号的最小绿灯时间来决定。时刻 D 是未实施公交优先的正常的让公交车辆通行的绿灯开启时刻。由于公交车辆在检测器和交叉口之间需要一段运行时间，所以对应 C 、 D 时刻，相应的只有检入检测器在图 3 中的 A 、 B 时间段检测到有公交车辆时才可以实施公交优先的策略。

如果检入检测器在时刻 A 之前检测到有公交车辆的话，这时要采用 3.3 所述的公交优先的信号控制

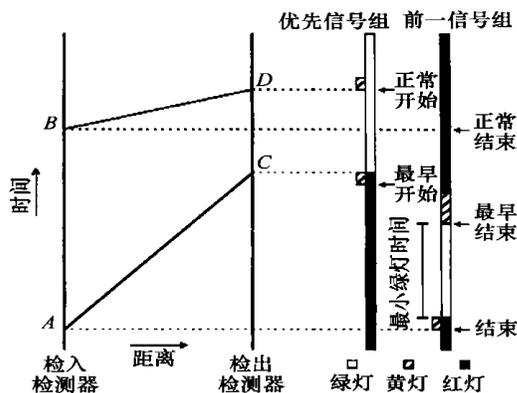


图3 通过缩短目前相位来实现公交优先信号控制

策略。在 B 时刻之后到达检测器的公交车辆，在交叉口将遇到正常的绿灯信号。

3.3 通过插入公交专用相位来实现公交优先

如果公交车辆在信号灯为红灯时到达交叉口，并且下一个相位仍然不允许公交车辆放行，这时要实现公交优先必须在目前相位和下一个相位之间插入一个公交专用相位。图 4 示意了通过插入公交专用相位来实现公交优先的策略。由于专用相位的插入，三个信号组受到影响：优先信号组、被迫提前终止的信号组、被迫推迟的信号组，如图 4 的右半部分所示。图中 C 、 D 时间段是专用相位插入时间段，时刻 C 是公交专用绿灯相位开启的最早时刻，它由前一个信号组的最小绿灯时间决定。时刻 D 是公交专用绿灯相位结束的最迟时刻，它由下一个信号组的最晚开启时间和最小绿灯时间决定。

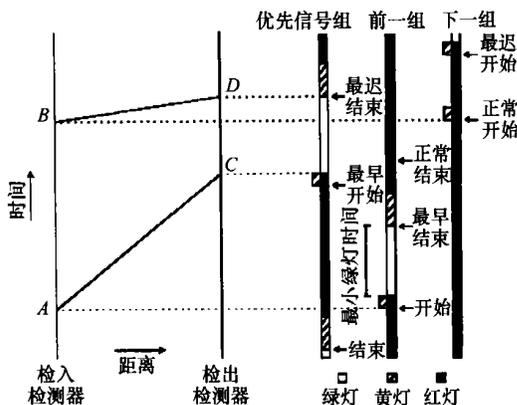


图4 通过插入公交专用相位来实现公交优先信号控制

相应的检入检测器只有在图 4 所示的 A 、 B 时间段内检测到有公交车辆时才可以实施公交优先。在 A 时刻之前到达的检测器车辆，需要采用 3.4 所述的策略。在时刻 B 之后到达检测器的公交车辆则通过缩短相位或者在下两个相位之间插入公交专用相位的方式来实施优先，能

否采用该策略要视最小绿灯时间能否得到保证而定。

3.4 通过绿灯重启来实现公交优先

如果公交车辆在信号灯绿灯已经结束后到达交叉口,这时要采用绿灯重启让公交车辆通过交叉口而不要等到下一个相位才允许它通过交叉口。图5示意了通过绿灯重启来实现公交优先的策略。

和绿灯延长策略相同,两个信号组受到绿灯重启的影响:优先信号组和被迫延迟信号组,如图5右半部分所示。只有公交车辆在C-D时间段到达交叉口才可以通过绿灯重启来实施公交优先,时刻C是让公交车辆优先通行的信号绿灯重启的时刻,这里考虑到习惯采用绿灯-黄灯-红灯信号次序,所以在绿灯结束后经过黄灯-红灯,然后绿灯重启。

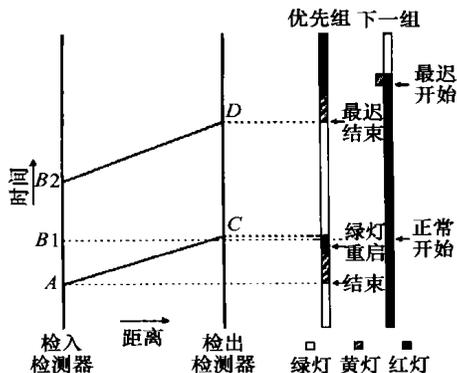


图5 通过绿灯重启来实现公交优先

对应的检入检测器在A-B2时间段检测到有公交车辆时,要通过绿灯重启来实现公交优先。在A时刻之前到达检测器的公交车辆通过延长绿灯时间即可实现公交优先,不需绿灯重启。时刻B1是绿灯重启的最迟时刻,也是下一个信号组的黄灯正常开始的时刻。如果绿灯在时刻B1还没有被重启的话,下一个周期将开始,绿灯重启将不再成为可能。如果在B1时刻正在进行绿灯重启,并且在B2时刻之前检测器检测到有公交车辆到达,则可以通过延长重启的绿灯。在时刻B2之后到达检测器的车辆,由于在重启的相位被迫终止前不能到达交叉口,所以不采用延长重启的绿灯。

4 公交优先路口信号控制策略的实施

由于不存在信号控制器运行的外在约束,所以单

个交叉路口的公交优先信号控制策略实施起来要相对简单一些。而协调控制的各个交叉口在信号的显示上有严格的相互约束,所以在这些交叉路口的公交优先策略的实施要复杂的多。例如,协调控制的各个交叉口采用固定的共同的信号周期长度,每个周期一致的绿灯时间,以便为车辆行驶提供一个绿波带。此时实施公交信号优先意味着将破坏原有的一些约束条件,改变原有的一些控制策略。

公共交通优先控制要与原有的交通控制系统配套集中管理,中央交通控制系统可以对公交优先控制子系统进行监测和控制。实现公交优先信号控制方案需要合理设计影响公共交通运行的各种参数:包括车辆排队长度、预计到达的车辆和预计通过的车辆、信号灯绿灯开放时间、道路渠化、车站设置、站点停车时间、车辆间隔时间设定等。

5 结论

人多地少,车多路少是城市固有的基本矛盾,也是交通问题的本质所在。解决问题的出路是在具备了必要的道路等交通基础设施的同时,大力发展高效率的公共交通系统。

优先发展城市公共交通是世界上许多发达国家和发展中国家解决城市交通问题的最有效的途径之一,也是符合中国国情的战略选择。公共交通优先信号控制系统正是从时间方面让公共交通具有优先权,而又没有对其他交通造成太多的干扰和影响。结合多年在交通控制方面的科学研究,作者在本文提出了公共交通优先信号控制的策略,并在交通控制的模拟中采用了该策略。结果表明:公共交通优先信号控制系统的设计和能够改善道路通行秩序,提高公共交通的行驶速度和公交运行的可靠性。

参考文献:

[1] 陈林菁. 公交优先! 现代城市交通的选择 [J]. 城市道桥与防洪, 2001 (4): 52-54.
 [2] Ronald J Baker, John Collura, James J Dak PE, etc. An Overview of Transit Signal Priority (TSP) [Z]. <http://www.itsa.org>
 [3] 陈学武, 李淑娟. 城市公共交通优先权的目标、效果与措施 [J]. 中国市政工程, 2001 (6): 15-17.