

文章编号: 1006-2475(2009)12-0001-03

BRT环境下车辆行程时间预测分析

马 云,熊桂喜

(北京航空航天大学计算机学院网络技术北京市重点实验室,北京 100191)

摘要: 分析了 BRT(Bus Rapid Transit)环境下进行车辆行程时间预测的特点,建立了相应的预测模型。并针对经典 Kalman滤波器在进行车辆行程时间预测时存在的不足,提出了一种在 BRT环境下利用对历史数据进行 Fuzzy回归计算来修正 Kalman滤波结果的方法。最后本文针对 2008 年 10 月 9 日北京市南中轴快速公交线的实际数据进行了对比实验,结果表明,改进后的滤波器有效降低了原算法的误差。

关键词: 模糊回归计算;卡尔曼滤波器;行程时间预测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A doi: 10.3969/j.issn.1006-2475.2009.12.001

Analysis of Travel Time Prediction Based on BRT Environment

MA Yun, XIONG Guixi

(Beijing Key Laboratory of Network Technology, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The paper first analyzes the characteristic of predicting BRT vehicle travel time and builds the prediction model. Then contraposed to the disadvantages of the tradition Kalman filter in predicting travel time, the paper presents an improved Kalman filter based on the fuzzy regression adaptive historical data samples of vehicle travel time. Finally the paper uses actual data collected from BRT Transport of South Axis Street in Beijing on Oct 9, 2008 for experiment. The results show that the improved filter effectively reduces the error of the original algorithm.

Key words: fuzzy regression; Kalman filter; travel time prediction

0 引 言

在 ITS 领域研究公交车辆行程时间预测方法,提高公交车辆行程时间预测精度,对于提高公交乘客信息服务质量,为实施公交信号优先提供数据基础,体现智能交通优越性都具有重要意义。

常见的行程预测算法有:卡尔曼滤波模型^[1]、马尔可夫链模型^[2]、非参数回归模型^[3,4]以及神经网络模型^[5]等。这些方法和模型各有优缺点。本文结合 BRT 轨道交通的特点,提出一种基于对公交历史数据进行 Fuzzy 回归计算来修正 Kalman 滤波结果的车辆行程时间预测算法。

1 BRT 环境下行程时间预测问题分析

1.1 BRT 环境下车辆行程时间预测问题研究现状

传统公交领域车辆行程时间预测主要通过对以往车辆运营资料的收集、整理,总结一定的规律然后对车辆行程时间进行预测。这种方法简单易行,但误差较大,且对传统公交运营模式来说获取大量实时车辆数据较为困难。

大容量快速公交系统 BRT(Bus Rapid Transit, 1970 年代起源于巴西库里蒂巴,是利用改型的公交车辆,运营在公交专用道路空间上,保持轨道交通特性又具备常规公交灵活性的一种便利、快速的公交方式^[8]。BRT 具有轨道交通的大容量、快速的运营特点,又具有建设成本比轨道交通系统低、建设周期比轨道交通短、运营维护成本比轨道交通系统低的特点,它为城市规划者提高交通服务水平提供了一种更

收稿日期: 2008-12-02

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划基金资助项目(2005BA414B04)

作者简介: 马云(1985-)男,安徽蚌埠人,北京航空航天大学计算机学院硕士研究生,研究方向:智能交通;熊桂喜(1964-)男,副教授,研究方向:系统集成、智能交通。

经济快捷的方法。

我国智能交通系统研究起步较晚,目前国内已经建设运营 BRT的城市有北京、杭州、大连、常州、济南、合肥和昆明。有关 BRT领域的相关技术问题的研究相对匮乏。

与传统公交车辆运营不同,在 BRT智能系统中,可以通过车载 GPS定位设备、站台感应线圈识别、射频卡技术等获取车辆运营的实时信息,这些技术是进行准确车辆行程时间预测的基础。

根据以上内容可以总结出 BRT环境下进行车辆行程时间预测有如下特点:

(1)由于车辆运行在专用道中,受其他车辆影响较小,除红绿灯、交叉口延误外基本符合轨道交通的特征。

(2)在整个线路中运营车辆的车型、性能相同,不用考虑车辆运行速度、载客量的差异。

(3)由于运营车辆配备车载 GPS设备、识别卡等先进 ITS设备,可以实时反馈车辆运营状况,相对传统公交车辆易于分析其行程规律。

1.2 BRT环境下行程时间预测模型建立

由于 BRT路段封闭、半封闭,不会因为道路两边交通流的影响而出现停滞,也不会因为交通路口信号灯而出现长时间的等待的特点。因此,可以考虑把 BRT车辆的行程时间简单分为两部分:相邻站台之间路段上的行驶时间和站台内的停站时间;把交通路口的等待时间加入到路段行驶时间里面一起加以考虑。最终,BRT车辆行程时间的计算变为对车辆行车辆路线上所有的路段行驶时间和站台停站时间的累加。

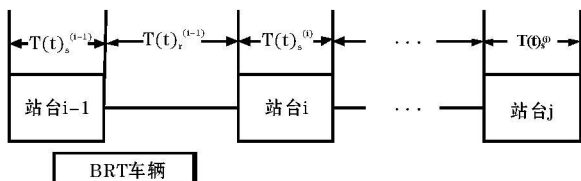


图 1 BRT车辆行程时间预测示意图

如图 1所示,时刻、任意站台和站台之间车辆行程时间的计算公式如下:

$$T(t)^{(i,j)} = \sum_{k=i}^j T(t)^{(k)}_s + \sum_{k=i}^j T(t)^{(k)}_r$$

其中:

$T(t)^{(i,j)}$: 时刻、站台和站台之间的车辆行程时间;

$T(t)^{(i)}_s$: 时刻、站台内的车辆停站时间;

$T(t)^{(i)}_r$: 时刻、相邻站台和站台之间路段上的车辆行驶时间。

计算车辆行程时间演变为求任意路段上的行驶时间和任意站台内的停站时间,其中,车辆停站时间和行驶时间的计算方法类似,都可以抽象成从一点到另一点所需要花费的时间:车辆在路段上的行驶时间可以看作车辆从上一站台的出站口到下一站台的进站口所耗费的时间;车辆在站台的停站时间可以看作车辆从进站口到出站口所耗费的时间。综上,车辆的行程时间可以看成车辆在地理位置上两两连续点之间行驶所耗费时间之和。

1.3 经典 Kalman滤波算法

基于 Kalman滤波的行程时间预测方法具有模型参数较少,计算量、存储量低,方便计算机实现等优点,是在公交领域解决行程时间预测问题的常用模型。其经典模型如下^[1]:

$$T(t)^{(i)} = AT(t)^{(i-1)} + \omega(t)^{(i)} \quad (1)$$

$$Z(t)^{(i)} = HT(t)^{(i)} + \nu(t)^{(i)} \quad (2)$$

$T(t)^{(i)}$: 状态变量,即行程时间的预测值; A 状态矩阵; $Z(t)^{(i)}$: 观测变量,即实际行程时间; H 观测矩阵; $\omega(t)^{(i)}$: 过程噪声或系统噪声,为满足正态分布的白色噪声 $P(\omega) \sim N(0, Q)$; $\nu(t)^{(i)}$: 观测噪声,为满足正态分布的白色噪声 $P(\nu) \sim N(0, R)$ 这里假设过程噪声 $\omega(t)^{(i)}$ 和观测噪声 $\nu(t)^{(i)}$ 相互独立。

1.4 基于 Fuzzy回归修正的 Kalman滤波行程时间预测算法

在实际应用中,BRT线路虽然有专用车道,但部分路段仍有交叉口与红绿灯存在,且乘客流量也在不停变化,而 Kalman常规模型在进行车辆行程预测时没有考虑交通流量环境的影响。从其滤波器的观测噪声估计式可以看出,这种预测是对历史精度信息的平均,其可靠性取决于当前历元观测精度与历史历元观测精度的一致性,否则这种预测的代表性和可靠性就很难保证。

由于公交运营具有重复性和规律性的特点,即当前时刻观测值与历史上最近一段时期内对应时刻的观测值具有一定的相似性。例如每天的运营高峰、低峰时间段分布具有较明显的统计规律。这种相似性可用于修正滤波器的预测结果。

本文采用对每天运营采集的历史车辆信息(基于GPS和线圈识别获得)进行 Fuzzy回归处理^[10],并将计算结果作为 Kalman滤波器的修正数据。计算 t 时段内、任意站台和站台 k 之间车辆行程时间,就可以通过对相同时段内 Kalman算法和经 Fuzzy回归处理所得的历史预测结果进行加权叠加,具体拟合规则如下:

通过经 Fuzzy回归处理后存储的车辆行程时间历史数据流可以计算出一天内任意时刻 t 路段 i 上的行驶时间或站台 i 内的停站时间的历史趋势数据 $CR(t)^{(i)}$, 该数值能够在一定程度上反映出车辆行程时间的总体趋势。

在获得车辆行程时间的历史趋势数据 $CR(t)^{(i)}$ 之后, 便可以利用其对 Kalman滤波器中的观测噪声估计式进行补充和改进, 从而平滑异常观测值对预测结果的影响; 另外, 还可以利用该数值对 Kalman滤波器的预测结果进行修正, 使得最终的预测结果转变为 Kalman滤波器的预测值 $T(t)^{(i)}$ 和车辆行程时间历史趋势数据 $CR(t)^{(i)}$ 的加权平均。修改后的结果如下:

$$T(t)^{(i)} = \alpha AT(t-\Delta t)^{(i)} + (1-\alpha) CR(t)^{(i)} \tag{3}$$

$$R(t)^{(i)} = 1/m \sum [\beta VZ(t-\Delta t_k)^{(i)} VZ(t-\Delta t_k)^{(i)T} + (1-\beta) VC(t-\Delta t_k)^{(i)} VC(t-\Delta t_k)^{(i)T}] - HP(t)^{(i)} H^T \tag{4}$$

其中:

$$VC(t)^{(i)} = CR(t)^{(i)} - Z(t)^{(i)} \tag{5}$$

$$k=0, 1, \dots, m-1; \alpha \text{ 和 } \beta \text{ 为权值 } (0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1)$$

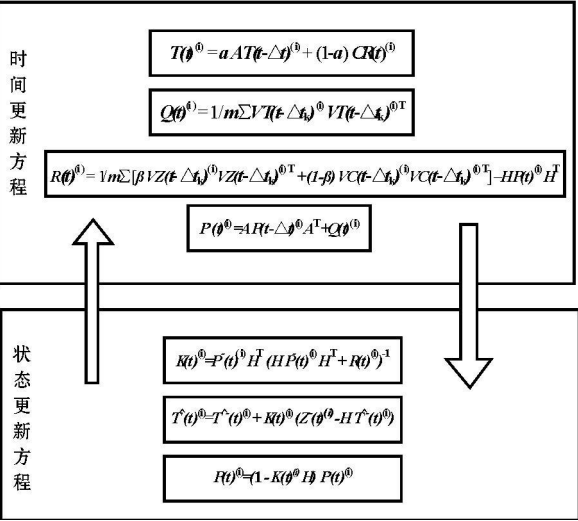


图 2 改进后的滤波器递推方程组迭代过程示意图

最终, 改进后的 Fuzzy回归修正 Kalman滤波器递推方程组的迭代过程如图 2所示。

2 应用及结果分析

选取北京市南中轴快速公交 1 线来进行定量分析。

2.1 基本数据情况

该线路全程 31.7 公里, 110 辆运营车辆, 每辆运营车辆均装有车载 GPS 设备, 沿途站台铺设有感应线圈; 首班车 5:30 发车, 末班车 22:30 收车; 发车频率早晚高峰时为 2min 其余时段为 4min

2.2 应用情况

本文针对 2008 年 10 月 9 日全天采集到的数据, 分别运用 Kalman滤波器以及改进后的滤波器对全天车辆的全程行程时间进行预测, 其对比结果如下:

Kalman滤波算法平均误差 10.24 秒, 最大误差 197 秒, 平均误差率 3.257%, 最大误差率 66.33%。

改进后滤波算法平均误差 6.44 秒, 最大误差 32 秒, 平均误差率 2.01%, 最大误差率 8.88%。

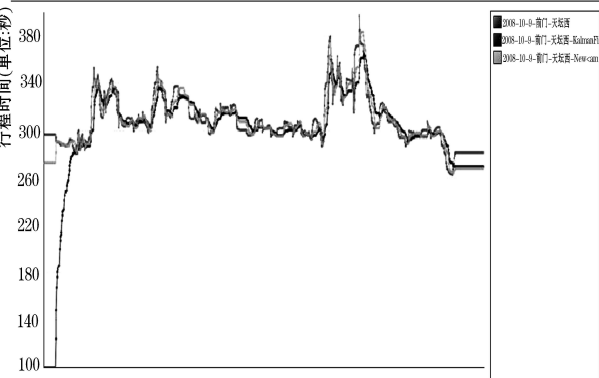


图 3 Kalman滤波器与新算法滤波效果对比图

通过图 3 可以看出, 经典的 Kalman滤波器不能抵制异常观测值的影响, 当观测值中含有异常扰动时, 滤波的效果比较差。改进后的滤波器通过对应时刻的车辆行程时间历史数据流信息对 Kalman滤波器的观测噪声进行修正, 取得了很好的滤波结果。

3 结束语

本文结合 BRT半封闭轨道交通的特点, 分析 Kalman滤波器在处理车辆实时行程时间预测时存在的不足, 在此基础上提出一种基于 Fuzzy回归计算修正 Kalman滤波器的算法。其主要思想是利用公交运营具有重复性和规律性的特点, 即当前时刻观测值与历史上最近一段时期内对应时刻的观测值具有一定的相似性, 利用这种相似性来修正滤波器的预测结果。

在实际运营数据基础上, 通过与经典 Kalman滤波器的预测结果进行对比, 可以看出改进后的滤波器提高了车辆行程时间预测的准确性。

参考文献:

[1] Kuchipudi Chandra Mouly Chien Steven I J Development of a hybrid model for dynamic travel time prediction [J] // Transportation Research Board Annual Meeting Washington DC 2002

[2] Lin Weihua et al Arterial travel time estimation for advanced traveler information systems [J] // (下转第 9 页)

序列, 即是组装的最终结果。

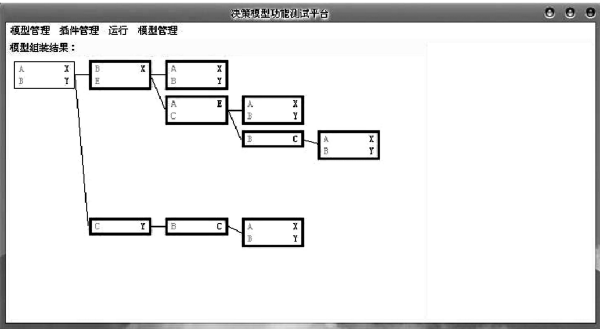


图 4 回溯结束后结果截图

6 结束语

本文在基于本体的决策模型组装的基础上, 提出一种基于方案本体的决策模型组装方式, 通过分析决策问题的结构研究方案的本体描述方法, 设计适用于基于方案本体的模型组装算法。当然本文仅仅提出一种新的思路, 在理论与方法论上都存在一些不足, 如何对方案概念提供更有针对性的概念相似度计算方法, 进一步提高方案概念的匹配精度, 这些都是今后研究中需要进一步解决的问题。

参考文献:

[1] Bonczek R H, Holsapple W C, Whinston B A. Foundations of Decision Support Systems[M]. Academic Press, New York, 1981

(上接第 3 页)

Proceedings of the 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA, National Academic Press, 2003

[3] Robinson Steve et al. Modeling urban link travel time using data from inductive loop detectors[C] //World Conference on Transport Research, Istanbul, Turkey, 2004

[4] Bajwa S, I Chung E, Kuwahara M. A travel time prediction method based on pattern matching technique[C] //21st ARRB and 11th REAAA Conference, Cairns, Australia, 2003

[5] Van Lint W C. Reliable Travel Time Prediction for Freeways[M]. Delft, Netherlands: Delft University Press, 2004

[6] Ishak S, Al-Deek H. Performance evaluation of short term time series traffic prediction model[J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128(6): 490-498

[7] D'Angelop M P, Al-Deek H M, Wang M C. Travel time Prediction for Freeway Corridors[R]. Transportation Research

[2] Studer R, Benjamins V R, Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods[J]. Data and Knowledge Engineering, 1998, 25(12): 161-197

[3] 蔡玉红. 群体决策支持系统中的模型库研究[D]. 武汉: 武汉理工大学博士学位论文, 2004

[4] 杨文军. Web服务组装关键技术研究[D]. 北京: 清华大学博士学位论文, 2005

[5] 周献中, 施爱博, 吴奎, 等. 基于本体的炮兵火力分配决策问题模型化方法[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(11): 85-88

[6] 刘树林. 多属性决策理论与应用研究[D]. 北京: 北京航空航天大学博士学位论文, 1997

[7] 魏世孝, 周献中. 多属性决策理论方法及其在 C3I 系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998

[8] Keen P. Decision support systems: the next decade[J]. Decision Support Systems, 1987, 3(3): 253-265

[9] 亓常松. 决策支持系统中模型管理相关问题研究[D]. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2008

[10] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004

[11] 曹江涛, 牛建湘. 基于本体的电信 Web服务匹配[J]. 计算机工程, 2008, 34(12): 259-261

[12] 王进. 基于本体的语义信息检索研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学博士学位论文, 2006

[13] 涂菁. 面向森林灭火决策本体知识库研究[D]. 福州: 福建师范大学硕士学位论文, 2007

Record 1676, Washington DC, 1999, 184-191

[8] 张飞舟, 范悦祖. 交通控制工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005

[9] 杨元喜, 何海波, 徐天河. 论动态自适应滤波[J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 293-298

[10] 杨兆升, 等. 基于 Fuzzy回归的快速路行程时间预测模型研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(3): 78-81

[11] 魏翼. 智能公交系统中车辆站点间运行时间预测理论和方法研究[D]. 上海: 上海理工大学计算机学院博士学位论文, 2000

[12] 周文霞, 等. 基于卡尔曼滤波算法的公交车辆行程时间预测[J]. 交通标准化, 2007(2): 174-177

[13] 杭明升, 杨晓光, 彭国雄. 基于卡尔曼滤波的高速道路行程时间动态预测[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2002, 30(9): 1068-1072

[14] 曾翠娟, 王忠, 兰竹, 等. GPS动态定位的自适应卡尔曼滤波算法研究[J]. 导航, 2006(1): 39-49