

文章编号: 1002-0268 (2004) 09-0091-04

基于实时交通流信息的中心式动态路径诱导系统行车路线优化技术研究

张赫¹, 杨兆升², 王炜¹

(1. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 吉林大学交通学院, 吉林 长春 130025)

摘要: 近年来, 世界各国纷纷致力于新兴交通科技, 如智能运输系统 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 的研究和应用, 以应对目前严峻的交通环境。笔者综合应用道路检测器检测的交通流量数据以及路段交通流量与路段行程时间的内在联系, 运用增量加载最短路优化的方法对智能运输系统的核心技术—城市交通流诱导系统 (UTFGS) 中的中心式动态路径诱导系统中的行车路线优化技术展开研究。

关键词: 智能运输系统; 城市交通流诱导系统; 中心式动态路径诱导系统; 交通流量预测; 增量加载最短路优化

中图分类号: U491.2 文献标识码: A

Research on Vehicle Route Optimization of Centrally Dynamic Route Guidance Systems Based on Real-time Traffic Flow Information

ZHANG He¹, YANG Zhao-sheng², WANG Wei¹

(1. Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;

2. Transportation College, Jilin University, Jilin Changchun 130025, China)

Abstract: These years every country applies modern science and technology to solve traffic problems. This paper utilizes the real-time traffic data, the relationship between traffic volume and travel time and the increment-load short-distance optimization algorithm to re-search vehicle route optimization technique of Centrally Dynamic Route Guidance Systems which is one branch of Urban Traffic Flow Guidance Systems (UTFGS, the core of Intelligent Transportation Systems).

Key words: ITS; Urban Traffic Flow Guidance Systems (UTFGS); Centrally Dynamic Route Guidance Systems (CDRGS);

Traffic volume prediction; Traffic flow information; Increment-load short-distance optimization method

0 引言

城市交通流诱导系统 (UTFGS)^[1] 作为智能运输系统 (ITS) 的核心内容, 也是解决现存交通问题最行之有效的方法。UTFGS 利用全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)、电子交通图 (Digital Map)、计算机和先进的通信技术, 在车载计算机上自动显示当前车辆所处的位置、道路网络图和道路交通状况, 实时为驾驶员的出行指明最优路线, 并引导驾驶员行驶, 从而减少车辆在道路上的行驶时间, 缓解交通阻

塞, 快速有效地输送出行者到达目的地。UTFGS 作为 ITS 的重要组成部分, 也是 ITS 能够实施的关键技术。根据诱导信息作用的范围, UTFGS 可以分为车内诱导系统和车外诱导系统两大类。车内诱导系统是在车辆上安装定位装置、信息接收装置, 对单个车辆实时进行诱导; 车外诱导系统主要是根据路边可变动态画面进行整体车流诱导。两系统在 UTFGS 的实施中, 均得到了应用。根据诱导信息的决定方式, UTFGS 分为中心式诱导 (CDRGS, Centrally Dynamic Route Guidance Systems) 和分布式诱导 (DDRGS, Distributed Dy-

收稿日期: 2003-07-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59638220, 79870045, 50378016)

作者简介: 张赫 (1971-), 男, 吉林长春人, 博士, 主要研究方向为智能运输系统、交通控制。

dynamic Route Guidance Systems)。中心式诱导由诱导信息中心按照车辆的请求, 根据动态交通分配理论确定车辆的行驶路线, 下传到车辆; 分布式诱导由诱导信息中心下传实时的交通信息数据, 车载机根据实时的交通信息确定诱导行驶路线。

1 方法的基本思想

由以往的研究可知, 出行费用(行程时间或出行距离)始终是用来评判人们的出行路线选择是否最优的一个重要标准。本节所介绍的增量加载最短路优化方法是以用户最优为原则最终确定出行最优路线的。增量加载最短路优化方法具有诱导和控制一体化特征。

由交通流理论, 我们知道城市路网中各条路段的行程时间与路段交通流量呈四次曲线关系^[3]

$$t = t_0 [1 + 0.15 (V/C)^4]$$

各条路段的行程时间随着路段交通流量的增加而增加, 这样各条路段上车辆的行程时间-流量关系曲线极有可能产生交叉, 如图1(a)、(b)所示。

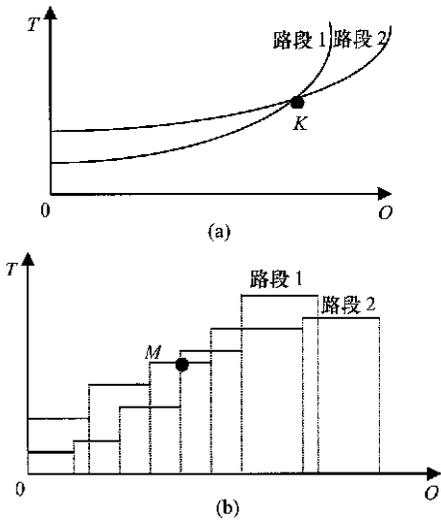


图1 路段交通流量与行程时间关系曲线

这就形成了本文所要描述的增量加载最短路优化方法的基本思想: 将各路段交通流量以一定的比例加载到其相应路段上, 可根据路阻函数确定此时路段上车辆的行程时间, 同时可根据行程时间-流量关系曲线是否产生交叉(有交叉点, 则交叉点M两侧具有最小行程时间的路段即为最优路线; 若无交叉点则仍取具有最小行程时间的路段为最优路线。)来确定出此时的最优路线。此后, 每一次都将一定比例的交通流量依次加载到路段上, 重新计算路段行程时间, 并修正最优路线。这样的过程一直持续到路网所有路段的交通流量都加载完毕之后, 此时所确定的最优路线

即为最终的最优路线。

2 实时交通流信息预测

随着科技的进步和道路交通事业的发展, 目前我国(甚至一些世界发达国家)的一些大中城市, 其路网的密度越来越大, 而且路网的节点(这里指交叉口)数目越来越多, 对于密度如此大的路网, 要想实现宏观管理, 就必须获得路网的绝大多数(甚至是全部)节点的交通流信息。这些城市交通流量数据的采集主要是依靠在交叉口埋设的检测器获得的, 但安装检测器的交叉口数量还达不到全部交叉口的十分之一。此外, 还有许多没有安装检测器的交叉口。这样那些无检测器交叉口的交通流信息就难于获取, 为了实现对整个路网的交通流诱导, 就必须对这些无检测器交叉口的交通流进行预测。从研究中知道在路网的所有检测器交叉口之间都存在有一定的相关性, 而且某些交叉口之间的相关性还比较强。在对无检测器交叉口的交通流信息进行预测时, 就可以利用有检测器交叉口与无检测器交叉口之间的这种相关关系, 并利用有检测器交叉口的交通流信息去预测无检测器交叉口的交通流信息, 从而达到对整个城市路网交叉口的宏观管理和对城市交通流进行诱导的目的。

本文针对上述问题并借鉴以往的预测方法, 分别采用统计学中的几种方法, 如聚类分析法、主成分分析法以及逐步回归法等, 旨在实现对无检测器交叉口的交通流量进行预测, 既满足预测时间的要求, 又能满足精度要求。

(1) 聚类分析法

聚类分析是数理统计中研究“物以类聚”的一种方法。聚类分析的职能是建立一种分类方法, 它是将一批样品或变量, 按照它们在性质上的亲疏程度进行分类, 而描述其亲疏程度通常有两个途径: 一是把每个样品看成是m维(变量的个数为m个)空间的一个点, 在m维坐标中, 定义点与点之间的距离; 另一个是用某种相似系数来描述样品点之间的亲疏程度。

本文采用了系统聚类中的相似系数法, 并应用长春市不同交叉口的28个检测器检测的数据为例进行聚类分析。聚类分析得到的结果如图2所示, 聚类参数如表1所示。

运用聚类分析结果进行无检测器交叉口交通流量预测时, 只需用一元线性回归方法即可。如本例用6号检测器交通流量预测解放大路-平阳街交叉口东口的交通流量, 二者相关情况如图3所示, 回归方程为

$$Q_y = 41.5782 + 0.7274Q_x$$

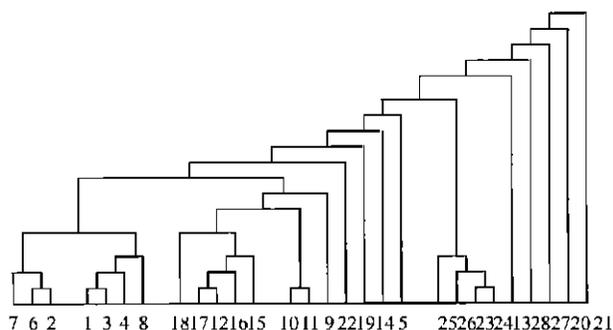


图2 聚类谱系图

表1 聚类参数

序号	相关系数	行号	列号	序号	相关系数	行号	列号
1	0.9910	24	23	2	0.9882	17	12
3	0.9875	16	12	4	0.9808	15	12
5	0.9772	18	12	6	0.9759	3	1
7	0.9743	4	1	8	0.9739	6	2
9	0.9706	8	1	10	0.9691	7	2
11	0.9683	11	10	12	0.9667	18	10
13	0.9606	18	9	14	0.9548	7	1
15	0.9527	18	1	16	0.9523	26	23
17	0.9497	25	23	18	0.9484	22	1
19	0.9389	19	1	20	0.9369	14	1
21	0.9007	5	1	22	0.8842	25	1
23	0.8168	25	13	24	0.7869	28	13
25	0.7463	27	13	26	0.6217	20	13
27	0.5140	21	13				

式中, Q_y 和 Q_x 分别为预测交通流量和有检测器交叉口检测交通流量。

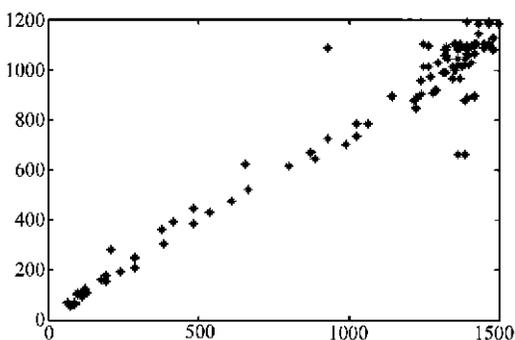


图3 同类交叉口的相关情况

(2) 主成分分析法

主成分分析法是把多个指标化为少数几个综合指标的一种统计方法。它在简化数据结构, 选择变量子集方面有着重要的作用。

在多变量的研究中, 往往由于变量个数太多, 并且彼此之间存在着一定的相关性, 因而使得所观测的数据在一定程度上反映的信息有大量重叠, 而且当变量个数较多时, 在高维空间中研究样本的分布规律比

较麻烦。主成分分析法可以把这种情况进行化简, 即采取一种降维的方法, 找出几个综合因子来代表原来众多的变量, 使这些综合因子能尽可能地反映原来变量的信息量, 而且彼此之间互不相关。

本文以有检测器交叉口的交通流量为变量, 采用构造的主分量所代表的信息量占总信息量的 $\alpha\%$ (95%) 作为标准来选取主分量进行主成分分析。并以长春市不同交叉口的 25 个检测器检测的数据为例进行实例分析。利用有检测器交叉口实际检测到的数据通过上述方法构造主分量 $z_1, z_2 \dots z_m$, 通过多元线性回归分析将无检测器交叉口交通流量与主分量联系起来, 从而对无检测器交叉口交通流量进行预测。这里把有检测器的人民大街—重庆路口(东口, 第 1014 号检测器) 假设为无检测器交叉口, 利用已经标准化处理的无检测器交叉口交通流量的值与这 m 个主分量进行多元线性回归分析, 其多元线性回归方程为

$$y = (-0.2961 + 0.1012z_1 + 0.0626z_2 - 0.1614z_3 - 0.0598z_4 - 0.0094z_5 + 0.0551z_6 - 0.0350z_6) \times 1.0E-4$$

在本例中采用 F 检验, 算得的 F 值为 26.9964, 其理论值为 2.13, 通过检验, 复相关系数为 $R = 0.9535$ 。

(3) 逐步回归分析法

逐步回归分析方法是一种自动地从大量可供选则的变量中, 选择对建立回归方程重要的变量的方法, 它是在多元线性回归基础上派生出来的一种算法技巧, 它克服了上述两种方法的不足。此方法类似于方法 2, 从一个自变量开始, 视自变量对 y 作用的显著程度, 从大到小地逐个引入回归方程。不同之处在于, 当原引入变量由于后面变量的引入而变得不再显著时, 要将其剔除。引入一个变量或从回归方程中剔除一个变量, 为逐步回归的一步。每一步都要进行 F 检验, 以确保每次引入新的显著性变量之前回归方程中只包含显著的变量。这个过程反复进行, 直至既无不显著变量从回归方程中剔除, 又无显著变量选入回归方程时为止。

以长春市不同交叉口的 25 个检测器 1999 年 4 月 6 日检测的数据为例进行逐步回归分析。在此例中, 样品数为 $n=96$, 变量数为 $p=24$ 。

本例中所有被引入的变量如下

3 019 1 001 3 016 3 018 2 001 3 008 3 001
3 015 2 008 3 010 3 024 3 009 3 023

本例中所有被剔除的变量如下

3 016 3 018 2 001 3 008 3 001 3 015 2 008
 3 010 3 024 3 009 3 023
 本例中未被引入的变量如下
 3 030 3 028 3 021 3 006 3 011 3 026 3 002
 3 029 1 012 3 012 1 013

回归方程计算结果如下

$$y = (-3.6661E-020) - 0.1130x_1 + 0.3160x_2$$

回归方程的检验结果 $F = 6.6006$, 大于其理论值 $F_{理} = 0.5$ 。其复相关系数 $R = 0.8564$, 亦满足要求。

3 路权的计算

中心式动态路径诱导系统中的路权（即两交叉口之间的出行时间）等于路段行驶时间与交叉口延误之和。

$$T(i, j) = t(i, j) + d(i, j)$$

式中, $T(i, j)$ 为路段 (i, j) 的路权; $t(i, j)$ 为路段 (i, j) 的行驶时间; $d(i, j)$ 为在交叉口 i 与交叉口 j 相邻进口道上的车辆平均延误。

在上式中, $t(i, j)$ 可根据路阻函数求得, $d(i, j)$ 可根据修正的韦伯斯特公式求得。

(1) 路阻函数的确定

$$U = \begin{cases} U_0(1 - 0.94 \cdot V/C) & V/C \leq 0.9 \\ U_0 / (7.4 \cdot V/C) & V/C > 0.9 \end{cases}$$

式中, U_0 为交通量为零时的运行车速, km/h , $U_0 = rS\eta W_0$; r 为自行车影响折减系数; η 为车道宽影响系数; S 为交叉口影响系数; V_0 为路段设计车速。

(2) 交叉口延误分析

当进口饱和度较小时, 各进口道上车辆的平均延误可根据修正的韦伯斯特 (Webster) 公式计算

$$d(i, j) = 0.9 \times \left[\frac{T(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda X)} + \frac{X^2}{2Q(1-X)} \right]$$

式中, $d(i, j)$ 为在交叉口 i 与交叉口 j 相邻进口道上的车辆平均延误; T 为周期长度; λ 为进口道有效绿灯时间/周期长度; Q 为进口道交通量; X 为饱和度, $X = Q / (\lambda C)$ 。

但当进口饱和度较大时, 韦伯斯特公式的计算结果偏大, 美国《道路通行能力手册》建议用下式计算进口道延误

$$d = d_1 + d_2$$

$$d_1 = 0.38T \frac{(1-\lambda)^2}{(1-\lambda X)}$$

$$d_2 = 173X^2 [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + 16X/S}]$$

式中, d_1 为均匀延误; d_2 为过饱和延误, 即随机到达的增量延误以及由于周期失效引起的附加延误; 其余符号同前。

一般认为, 韦伯斯特公式的适用范围为饱和度 $X = 0 \sim 0.66$; 美国《道路通行能力手册》建议公式的适用范围为饱和度 $X = 0 \sim 1.20$ 。

4 增量加载最短路优化方法计算步骤

增量加载最短路优化方法的具体步骤为: (1) 将路段交通流量按一定比例分解成 K 部分; (2) 加载 K 部分中第一部分交通流量, 计算路段行程时间 (路阻); (3) 确定路阻矩阵; (4) 运用 Dijkstra 算法确定此时的最短路; (5) 累加路段交通流量重新确定路阻, 并修正最短路线; (6) 依次加载其余部分交通流量, 计算新的最短路径; (7) 输出最终结果。

5 小结

通过利用统计学中的聚类分析法、主成分分析法以及逐步回归分析法实现了对无检测器交叉口交通流量的预测, 并利用检测到的和预测的路段交通流量数据对路网交通流的行车路线进行优化, 从而实现对整个城市路网中的用户中心式动态路径诱导, 从而使得对整个城市路网的宏观管理成为可能。

参考文献:

- [1] 杨兆升. 论智能运输系统 [J]. 中国公路学报, 1995 (4).
- [2] 杨兆升. 城市交通流诱导系统理论与模型 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 王伟, 徐吉谦, 杨涛, 李旭宏, 等. 城市交通规划理论及其应用 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1998.
- [4] 初连禹. 动态路径诱导系统理论和实施技术研究 [D]. 吉林工业大学, 1999.
- [5] 董康祥, 等. 各国竞相开发 ITS 的有关技术 [J]. 中南汽车运输, 1997 (4).
- [6] 陆化普, 等. 新一代道路交通系统—ITS 的研究现状与发展 [J]. 中国公路学报, 1997 (2).
- [7] 苏奎, 等. 世界智能运输系统发展状况及我国的对策 [J]. 国外公路, 1998 (1).
- [8] 董国良, 等译. 智能交通系统 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [9] 谭国真, 译. 车辆定位与导航系统 [M]. 电子工业出版社, 1999.