

文章编号:1671-8879(2009)02-0084-04

分区分层的动态最优行车路径算法

李明利,王选民,张利川,段宗涛

(长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

摘要:结合自适应信号控制系统和 Internet 的路由策略研究了动态行车路径算法,定义了路网结构图中的连线及其交通阻抗,介绍了根据实时交通数据预测连线交通阻抗的方法,提出并举例说明了分区分层的动态最优行车路径算法。连线交通阻抗包括行驶时间、停车线延误和拥堵延误 3 部分:以平均车速预测行驶时间;根据车辆到达率和信号参数分析停车线延误;根据交通调查结果估算拥堵延误。将路网分成若干区域,利用 Dijkstra 算法计算区域内从任一节点到另外任一节点的最优路径,在此基础上计算路网范围内从任一节点到另外任一节点的最优路径。

关键词:交通工程;路径算法;分区分层;交通阻抗;自适应信号协调控制系统

中图分类号:U491.2

文献标志码:A

Regional and gradational algorithm of dynamic optimal driving path

LI Ming-li, WANG Xuan-min, ZHANG Li-chuan, DUAN Zong-tao

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: This paper studies the algorithm of dynamic optimal driving path associating to self-adaptive signal cooperation control system and routing tactics in the Internet. The line in the road network diagram and its traffic impedance are defined, the method to forecast line's traffic impedance with real-time traffic data is introduced, and the regional and gradational algorithm of the dynamic optimal driving path is set forth and illustrated. Line's traffic impedance included driving time, stopline delay, and crowded delay three parts. The driving time was predicted at average velocity, the stopline delay was analyzed on vehicular arriving rates and parameters of control signal, and the crowded delay was estimated with traffic investigations. A whole road network was divided into some of regions, the best paths from any node to another within a region were computed by using Dijkstra's algorithm, optimal paths from any node to another within the whole road network were computed based on the former results. 1 tab, 1 fig, 12 refs.

Key words: traffic engineering; path algorithm; regionalization and gradation; traffic impedance; self-adaptive signal cooperation control system

0 引言

动态行车路径诱导是解决城市交通诸多问题的

有效技术手段。通过路径诱导,避开交通拥堵地区,节省出行时间,并起到节能减排的作用。近年来,国内外学者们对最优路径算法进行了大量的研究,除

收稿日期:2008-03-18

基金项目:陕西省自然科学基金项目(SJ08-ZT14)

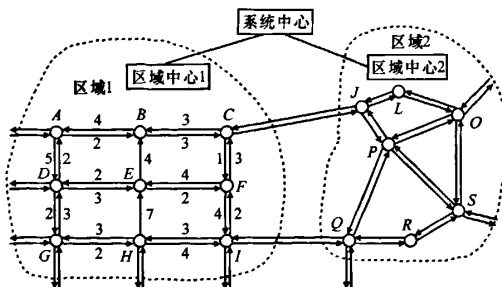
作者简介:李明利(1964-),男,陕西西安人,讲师,工学硕士,E-mail:mlili@chd.edu.cn.

了优化传统的 Dijkstra 算法^[1-5]外,还出现了多种启发式策略的算法及其改进算法^[6-9]。文献[3-4]应用改进的 Dijkstra 算法分析了静态最优路径;文献[8-9]基于时间序列模型在线预测路段时间,研究了利用改进的 A* 算法搜索多条动态最短路,所得动态最优路径仅对极少的车辆导航系统用户服务,不同于前述以解决城市交通问题为目的的动态路径诱导;另外,所用时间模型预测的是路段行驶时间^[10],与路段行程时间有别。动态行车路径诱导的关键是动态行程时间预测和高效的最优路径算法。Dijkstra 算法是目前最成熟的最短路径算法,主要不足是计算的复杂度较高。为此,本文结合自适应信号协调控制系统检测的实时交通流和控制信号数据预测路段的行程时间,根据 Internet 的分组路由策略,利用 Dijkstra 算法分区分层地分析路网范围内的最优路径,以获得可行和有效的动态行车路径算法。

1 路网结构图和连线交通阻抗

1.1 路网结构图

为了便于计算机分析,把城市路网抽象为节点和连线的集合所表示的结构图,如图1所示。每个节点表示路网的一个交叉口,每一条连线表示两相邻交叉口间一个行驶方向的路段,包含一个或多个车道。两相邻交叉口之间有双向路段的,用有向的双连线分别表示2个行车方向;单向路段的用有向单连线表示。每个节点和每条连线在全路网范围内有唯一的编号或名称。为简化分析,忽略所有支线道路以及与其有关的交叉口。



注:A,B,...为各网节点编号;线上的数值为各交通阻抗的大小。

图1 路网结构图及区域划分

1.2 连线和交叉口延误的划分

如图1所示,车辆行驶过程中,连线—交叉口—连线,...不断地重复,每次穿越信号控制交叉口前,可能在停车线后排队等待,产生交叉口延误。为了便于分析,假定无信号控制的立体交叉口和环形交叉口在每个入口方向也存在一条虚拟的停车线,规

定一条连线的起始点分别为上、下游交叉口的停车线,于是交叉口内的直行及转弯部分路段就被包含在不同的连线中。车辆在一条连线的下游端点附近排队等待通行信号,一旦越过停车线,即进入下一条连线。因此,交叉口延误是在连线上发生的,本文称之为停车线延误。无论是否受信号控制,交叉口均被视为不产生延误的交通分流器,二者的区别在于到达前者的连线上有停车线延误,到达后者的连线无停车线延误。

1.3 连线交通阻抗

车辆在连线上行驶时,除了行驶时间和停车线延误外,还可能由于其他原因减速行驶,或停车等待,产生意外的延误。为分析简便,只考虑比较严重的意外延误,并称之为拥塞延误。行驶时间与所有延误之和为行程时间,本文用交通阻抗表示。假定交叉口信号实现了自适应控制,一条连线的交通阻抗包括以下3部分。

(1)行驶时间。在正常情况下,以路段车流实际平均速度通过一条连线所用的时间。

(2)停车线延误。在连线末端因为等待绿灯信号产生的延误。

(3)拥塞延误。在特定时段和地点,如上学和放学时段,在小学门口,车流受到严重的干扰,出现拥挤、阻塞,甚至出现完全阻断的情形而产生的延误。

2 连线交通阻抗的预测

路径分析的基础是预测路网中每条连线在未来时段的交通阻抗,为此,首先必须获得交通流和路网状况的当前数据。借助自适应信号协调控制系统,路径诱导系统不断地得到所需的实时交通量数据、信号配时参数和路况信息。然后进行数据处理,根据处理结果,预测连线的交通阻抗。

(1)行驶时间。根据连线长度和连线车流平均速度计算。

(2)停车线延误。结合文献[11]中的原理和算法,分析交叉口车辆排队长度,预估停车线延误,算法如下:①根据设在离上游交叉口不远处的车辆检测器检测到的交通流量,分析得出该断面的周期流量变化图;②根据①的结果和车流离散性分析方法,推算下游停车线处的车辆到达率;③根据②的结果,由信号周期、绿信比和绿灯起步时距,以及饱和流率,计算每个信号周期停车线处的平均排队长度,由排队长度估算交叉口一个入口方向的车均停车线延误。

(3) 拥塞延误。一种是有时间规律的,如大型企业单位下班时段在附近路段引起拥塞延误,通过交通调查得到比较准确的延误数值;另一种是随机性发生的交通事故,根据连续几次采集的交通流参数分析事故的影响程度。若一条连线上的交通流受到严重的影响,则该连线的拥塞延误取 ∞ ;若影响轻微,则拥塞延误取 0;介于两者之间,取适当常数。非拥塞时段和无事故情况下,拥塞延误均取 0。

3 分区分层动态路径算法

3.1 分区分层结构

在 Internet 中,为了便于路由选择,采用了“自治系统”的概念,“内部网关协议”进行自治系统内部的路由选择,“外部网关协议”进行自治系统之间的路由选择。这种方法可移植于交通网络路径分析,将整个路网划分成若干个较小的区域,设二级或三级的路径分析中心,如图 1 所示。区域中心负责所辖区域路网内部的路径分析,系统中心负责区域之间即整个城市路网的路径分析。分区分层结构除了便于协调和管理外,还减少了各路径分析中心的工作量。由于区域内的节点数量有限,使区域中心的路径计算量不会太大,也使区域间路径的计算量大大减小。

3.2 动态路径算法

3.2.1 区域路径算法

区域中心的数据库事先已经保存了区域路网结构图,以及每条连线交通阻抗预测值。区域路径算法的目标是,在区域路网范围内,探寻从任意一节点到达另外任意一节点的最优路径。设 i, j 是区域路网内任意两节点,以 i 为源节点、 j 为目的节点的最优路径算法如下。

(1) 设 K 为由节点 i 可达到的 i 的相邻节点的集合, $k \in K$; M 为除 i 外由节点 k 可达到的 k 的相邻节点的集合, $m \in M$; N 为除 k 外由节点 m 可达到的 m 的相邻节点的集合, $n \in N$; \cdots ; V 为节点 j 可达到的 j 的相邻节点的集合, $v \in V$ 。

(2) 设 $t_{ik}, t_{km}, t_{mn}, \cdots, t_{vj}$ 分别为节点 i 到 k 的连线交通阻抗、节点 k 到 m 的连线交通阻抗、节点 m 到 n 的连线交通阻抗、 \cdots 、节点 v 到 j 的连线交通阻抗,最优路径即满足

$$\min(t_{ik} + t_{km} + t_{mn} + \cdots + t_{vj}) \quad (1)$$

的一系列连线组成的最短通路树,以节点序列 $i \rightarrow k \rightarrow m \rightarrow n \rightarrow \cdots \rightarrow v \rightarrow j$ 表示。式(1)的计算值就是从节点 i 到节点 j 的最小交通阻抗,以 $t_{ij\text{-optimal}}$ 表示。

(3) 约束条件:① 为减少计算量,对 K, M, N, \cdots, V 以及 k, m, n, \cdots, v 有所约束,在路网结构图中总体上应朝向目的节点 j 的方向前进;② 计算过程中如遇到无穷大的交通阻抗,则认为相应的连线已中断,应放弃含有该连线的路径。

如图 1 所示,节点 A 到区域 1 内其他节点的最优路径及其交通阻抗见表 1。

表 1 节点 A 到区域 1 内其他节点的最优路径和最小阻抗

| 目的节点 | 最优路径 | 最小阻抗 / min | 目的节点 | 最优路径 | 最小阻抗 / min |
|------|-----------|------------|------|-------------------|------------|
| B | A → B | 2 | F | A → B → C → F | 6 |
| C | A → B → C | 5 | G | A → D → G | 7 |
| D | A → D | 5 | H | A → D → G → H | 9 |
| E | A → D → E | 8 | I | A → B → C → F → I | 10 |

3.2.2 全路网络路径算法

区域中心将区域最优路径及其交通阻抗以及到达相邻区域的相邻节点连线的交通阻抗上传给系统中心。系统中心根据全路网的拓扑、区域划分及其邻接关系,按照类似算法,计算全路网范围内的路径。如图 1 所示,从节点 A 到 O 的最优路径和最小交通阻抗为

$$\min(t_{AC\text{-optimal}} + t_{CJ} + t_{JO\text{-optimal}} + t_{AI\text{-optimal}} + t_{IQ} + t_{QO\text{-optimal}}) \quad (2)$$

式中: t_{CJ} 为区域 1、2 间节点 C 到 J 的连线交通阻抗;其余以此类推。

因为路网上的交通量特性和交叉口信号配时参数时刻都在变化,每条连线的交通阻抗也随之而变,所以每次计算得到的最优路径都是暂时的。路径计算应是动态进行的,每间隔一定时间,计算和发布一次最优路径。

自适应信号协调控制系统不断检测路网的交通数据,根据这些数据预测连线交通阻抗是合理和可行的。数据分组在通信网中传输与汽车在城市路网中行驶的情形相似^[12],无论是计算分组最佳路由还是分析行车最优路径,分区分层的算法是相同的。由区域中心和系统中心分工协调计算最优路面,提高了 Dijkstra 算法的效率,因此,该算法是可行的。

4 结 语

(1) 定义上、下游停车线为一条连线的起讫点,交叉口被视为分流器,只有连线具有交通阻抗;每条连线的交通阻抗包含行驶时间、停车线延误和拥塞延误 3 部分。

(2) 根据实时交通量和控制信号参数等预测连

线交通阻抗,以平均车速计算行驶时间;由停车线车辆到达率、信号参数和交叉口饱和流率分析停车线延误;根据交通调查和交通事故的影响程度估算拥塞延误。

(3)将路网分成若干区域,区域中心分析区域内的最优路径,系统中心在区域路径的基础上计算区域间的最优路径;通过分工协作,提高了算法的效率,分区分层分析路径的动态最优行车路径算法是可行和有效的。

参考文献:

References:

- [1] 张 蕾. 矩阵方法求赋权图中最短路的算法[J]. 西北大学学报:自然科学版,2004,34(5):527-530.
ZHANG Lei. The algorithms to solve shortest paths in weight graphs with matrix methods[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2004, 34(5):527-530.
- [2] 任 刚,王 炜. 交通网络最短路权矩阵的迭代算法[J]. 交通与计算机,2005,23(5):8-12.
REN Gang, WANG Wei. Iterative algorithms for the shortest path weight matrix over traffic networks[J]. Computer and Communications, 2005, 23(5):8-12.
- [3] 张渭军,王 华. 城市道路最短路径的 Dijkstra 算法优化[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(6):62-65.
ZHANG Wei-jun, WANG Hua. Optimization Dijkstra arithmetic for shortest path of urban traffic net[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(6):62-65.
- [4] 王丰元,潘福全,张丽霞,等. 基于交通限制的路网最优路径算法[J]. 交通运输工程学报,2005,5(1):92-95.
WANG Feng-yuan, PAN Fu-quan, ZHANG Li-xia, et al. Optimal path algorithm of road network with traffic restriction[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(1):92-95.
- [5] Ahuja R K, Mehlhorn K. Faster algorithms for the shortest path problem[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1990, 37(2):213-223.
- [6] 陆 锋,周成虎,万 庆. 基于层次空间推理的交通网络行车最优路径算法[J]. 武汉测绘科技大学学报,2000,25(3):40-46.
LU Feng, ZHOU Cheng-hu, WAN Qin. An optimum vehicular path algorithm for traffic network based on hierarchical spatial reasoning[J]. Geometrics and Information Science of Wuhan University, 2000, 25(3):40-46.
- [7] 谭德荣,严新平. 变权值加快收敛的路径寻优实时算法[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):118-120.
TAN De-rong, YAN Xin-ping. Real-time algorithm of finding optimal path with changing weight to speed up convergence[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1):118-120.
- [8] 苏永云,晏克非,杨晓光,等. VNS 中动态行程时间与多端动态最短路算法[J]. 中国公路学报,2001,14(1):97-99.
SU Yong-yun, YAN Ke-fei, YANG Xiao-guang, et al. Study of the algorithm of dynamic travel time and multi-end shortest path in VNS[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1):97-99.
- [9] 晏克非,苏永云,黄 翔,等. 车辆导航系统基于 GIS 的动态 K 最短路递推解法[J]. 西安公路交通大学学报,2001,21(1):64-67.
YAN Ke-fei, SU Yong-yun, HUANG Xiang, et al. Algorithm for dynamic K shortest-paths in vehicle navigation system based on GIS [J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001, 21(1):64-67.
- [10] 贺国光,徐岩宇. 车辆线路引导系统的行驶时间预测模型研究[J]. 中国公路学报,1998,11(3):79-86.
HE Guo-guang, XU Yan-yu. Study of the travel time prediction model in VRGS[J]. China Journal of Highway and Transport, 1998, 11(3):79-86.
- [11] Cheu R L, Liu Q, Lee D H. Arterial travel time estimation using scats detectors[C]//Advanced Technology Committee. The 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation, Cambridge: American Society of Civil Engineers, 2002:32-39.
- [12] 李明利,赵祥模,王选民. 分组拥塞控制在城市交通控制中的应用[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(6):94-98.
LI Ming-li, ZHAO Xiang-mo, WANG Xuan-min. Urban traffic control based on jam control of data communication[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(6):94-98.