文章编号: 1002-0268 (2004) 02-0084-04

交通管制条件下城市道路网络 模型及分配算法研究

谢远长,李旭宏,范颖玲

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要:城市道路网络模型及其算法是城市道路网络分析和分配的基础。本文首先分析了交通管制条件下原有城市道路网络模型和算法的不足,在此基础上提出一种改进模型和算法,并给出算例。这种改进的模型和算法能较好地满足实际分配的要求,在交通规划、交通管理和交通流模拟中都有着十分广阔的应用前景,且已经被成功地应用于郑州市综合交通规划中。

关键词: 交通分配; 最短路; 算法; 虚拟节点; 城市道路网络

中图分类号: U491.123 文献标识码: A

Urban Road Network Model and Assignment Algorithm Analysis under Traffic Control Condition

XIE Yuan-chang , LI Xu-hong , FAN Ying-ling (Transportation College , Southeast University , Jiangsu Nanjing 210096 , China)

Abstract: Urban road network model and assignment algorithm are the basis of urban road network analysis and traffic assignment, This paper first analyses the shortcoming of old model and algorithm under traffic control condition, then proposes a new improved model and algorithm, which can make up for the shortcoming, and can satisfy the demand of urban traffic assignment. This article also presents an example of the new model and algorithm. The new model and algorithm can be applied to traffic planning, traffic management planning, and traffic flow simulation, and it has already been successfully applied to the 'Comprehensive Traffic Planning of the City of Zheng zhou'.

Key words: Traffic assignment; Shortest Path; Algorithm; Virtual node; Urban road network

0 问题的提出

道路网络模型是进行交通分配和网络分析的基础,城市道路网络有其特殊的性质,例如,城市道路中有着很多禁行、单行等管制措施;城市道路网络中交叉口阻抗比较大,在一些拥挤交叉口,交叉口转向阻抗甚至超过路段上的阻抗,因此在建立网络模型时必须充分考虑这一点。对于城市道路网络,常见的抽象方法有两种,下面以四路交叉口为例,列出两种常见城市道路网络抽象示意图,见图 1。

图 1 (a) 中所示网络将路段抽象成图中的弧段,

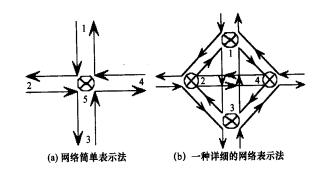


图 1 网络图示法

交叉口抽象成节点。在这个模型中,假设交叉口某个 进口的每个转向的阻抗值相同,对于进入该交叉口的

收稿日期: 2002-11-06

作者简介:谢远长(1979-),男,江苏南京人,硕士,现从事区域与城市交通规划研究.

弧段, 其阻抗值(权重)是路段阻抗和进入交叉口的 阻抗之和,对于离开该交叉口的弧段,其阻抗值是路 段阻抗和进入下一个交叉口的阻抗之和。这种网络表 示方法的缺点主要有: (1) 对交叉口的处理不够精 确,城市交叉口每个转向的阻抗都是由交叉口的控制 方式和车流量来决定的,很少有各个转向阻抗值都相 等的情况。例如,有的交叉口右转不受信号灯控制, 其右转的阻抗相对受信号灯控制的其它转向而言就小 很多,此时认为各转向阻抗值相等,显然欠妥。(2) 无法表示一些交通管制措施,例如图 1 (a) 中,从 节点1进入交叉口的交通流将有3个转向,假设其中 1-5-2转向为禁行(阻抗无限大),其它两个方向 受信号灯控制,如果采用上述模型,就不能正确反应 实际的情况、导致分配结果的不准确。

尽管图 1 (a) 中所示模型存在着缺点,但也有 计算量小的优点, 在对分配精度要求不高、交通控制 措施比较简单的情况下可以使用。

图 1 (b) 是城市道路网络的另外一种常见抽象 方法,它将交叉口的各个转向抽象成路段,用这些路 段阻抗代表交叉口转向阻抗,如果某一转向设有禁行 标志,就将代表此转向的路段去掉。这样一来,克服 了上一模型中不能准确考虑交叉口转向阻抗的缺点, 但同时也带来了新的问题: (1) 路段的引入, 使原来 1个交叉口、4个路段,变成了现在的4个交叉口, 路段数目也几乎变成原来的 3 倍,从而分配计算量也 成倍增加。(2) 目前在交通分配中广泛应用的多路径 分配算法都是基于 LOGIT 路径选择模型的,由于该 模型自身的原因,可能出现这样的情况:如图 1 (b),在多路径分配过程中,当前分配节点是1,而 且路段(1, 2)和(1, 3)都是节点1的有效路段, 从而出现从1-2-3的交通流量,这在实际中显然是 不可能的。

从上述分析中可以看出,由于城市道路网络的特 殊性以及城市交通管制措施的原因,必须构造出一种 新的模型, 使之能够较好地考虑到这些因素, 同时也 能便于设计高效快速的算法。

1 改进的网络模型的建立

1.1 确立基本路网模型

分析上述两个模型,前者优点是计算量小,后者 的优点是能够充分考虑交叉口转向的阻抗值。本文将 结合对上述模型的分析、分步骤建立一种改进的城市 道路网络模型。

在多路径分配模型中,认为出行者在交叉口处进

行路径选择,如果把改进的网络模型设计成如图 1 (b) 的形式, 1 个交叉口变成若干个交叉口, 网络规 模和分配计算量成倍增加,而且这样的网络模型也会 影响到多路径分配方法中的路径选择模型的正确性。 鉴于此,本文将改进模型建立在图 1 (a) 所示的道 路网络基础上,把交叉口阻抗和路段阻抗分开考虑, 具体方法是用弧段的权重表示路段阻抗,将交叉口阻 抗存放在如表 1 的数组中。

171	交叉口阻抗	表1	
交叉口编号	前向交叉口编号	后续交叉口编号	阻抗值
1530	1531	1533	70
1531	1534	1530	55

在用 Dijkstra 标号法求最短路时,根据前后 3 个 交叉口的编号来从表 1 的数组中取出交叉口转向阻抗 值,用于下一个标号点的标号。这样做可以将交叉口 转向交通量分别加以考虑,克服图 1 (a) 所示模型 的缺点,但是通过下面的分析可以看出,在此模型下 用 Dijkstra 标号法算出的最短路径有可能是不正确的, 而且,在某些特定情况下,有些路网节点甚至会得不 到标号。

如图 2 所示道路网络, 现在有 1 个 OD 对需要分 配到这个网络上, OD 对的起点对应路网中的交叉口 A,终点对应路网中的交叉口D,弧段上所标数值是 路段阻抗,其中B-C-D转向禁行(阻抗无限大), B-C-F转向的阻抗值是10,其余交叉口转向的阻 抗值都是零。如果用 Dijkstra 标号法寻找最短路,读 者会发现两个问题。

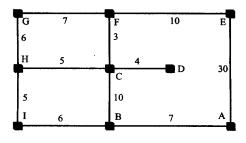


图 2 某城市局部道路网络图

- (1) D 节点得不到标号(标号值无限大);
- (2) 在此模型中用 Diikstra 标号法算出的 F 点的 标号为30,路径是从ABCF,但实际上A到F 的最短路径应该是 A B I H C F, 其最短路权 是26。

上面两个问题实际可以归结为一。对于图 2 中的 交叉口 C 而言,它邻接了 4 个路段,由于交叉口转向 阻抗的存在,交叉口 C 的每个进口道处距离 OD 起点 A 的阻抗值都是不同的, 而节点 C 的标号值只能有一 个。由于在上例中(C,B)路段所在进口道上的阻 抗值在 4 个值中最小, 所以 Dijkstra 标号法就采用了 (C, B) 路段所在进口道上的阻抗值作为节点 C 的阻 抗值,且其前向节点是B,由于B-C-D转向禁行 (阻抗无限大) 以及 B - C - F 阻抗值比较大, 导致了 上述两个问题的出现。如果能把节点 C 的多个进口 道的阻抗值都加以记录,则节点 F和 D 的阻抗值就 能正确的得出。

1.2 引入虚拟节点

在上一节的分析可以发现,如果交叉口仅仅用一 个标号值来表示时,会产生最短路径计算不正确和某 些点得不到标号的问题。此处,笔者在上述基本网络 模型的基础上为每一个交叉口再增加相应的虚拟节 点,这些虚拟节点只是在标号法求最短路时起作用, 当标号过程结束,进入分配过程时,这些虚拟节点就 会被实际的路网交叉口所代替,因而不会影响多路径 分配的路径选择模型。

在基本网络模型上增加虚拟节点后的网络如图 3、图中正方形点表示实际的路网节点、圆形灰色点 表示虚拟节点。虚拟节点的增加方法为:(1)在交叉 口的每个进口道处增加一个虚拟节点,用于存储该进 口道与标号起点间的最小阻抗值,如图 2 中的节点 C, 应为其增加 4 个虚拟节点; (2) 虚拟节点只在寻 找最短路的过程中起作用,用于替代实际交叉口节点 参与标号,实际交叉口节点在标号过程中只起网络连 接、帮助判断交叉口的转向、辅助虚拟节点标号的作 用。标号过程中,虚拟节点有标号值,实际网络节点 没有标号值:(3)在多路径流量加载过程时,实际交 叉口节点将取代虚拟节点参与路径选择,此时虚拟节 点只为实际交叉口节点提供标号值,不会影响多路径 分配算法的路径选择模型的正确性。

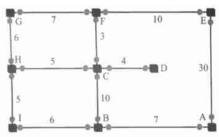


图 3 加入虚拟节点后的城市局部道路网络示意图

在上一节的基本网络模型基础上引入虚拟节点后 的道路网络模型,就是本文所提出的改进城市道路网 络模型(图3)。新模型的每个交叉口的每个进口道 都会有一个标号值,这样不需要如图 1 (b) 模型那 样将一个四路交叉口演化成 4 个四路交叉口,造成网 络规模成倍扩大。改进的模型只在简单的网络模型基 础上,引入虚拟节点,通过增加有限的计算工作量, 就能精确的进行最短路查找,从而得出更加准确的分 配结果。

2 基于改进模型的算法

2.1 算法的提出

如图 3, 由于引入了虚拟节点, 从而有必要将 Dijkstra 标号法加以改进,使之能满足新模型的要求。 Dijkstra 在很多书籍中都有详尽的描述,此处不再赘 述。下面本文给出改进后算法的步骤和流程图,见图 4。在寻找最短路的标号过程中,将用表 2 所示的数 组对虚拟节点的标号值进行记录。

		虚	拟节点标号数组	1	表 2
交叉口编号		上游交叉口 邻接交叉口 编号 编号		标号 (阻抗)值	标号性质
	С	В	Н	17	临时
C		В	F	27	临时
	C	В	D	17	临时

注:交叉口编号是指虚拟节点所属交叉口的编号;上游节点编号 是指虚拟节点得到标号的前向交叉口编号:邻接交叉口编号 是指虚拟节点所在路段的另一侧的交叉口编号。

改进后的 Dijkstra 算法基本步骤如下:

- (1) 开始标号,将所有虚拟节点的标号性质全设 为未标号状态,标号值全设为零,上游交叉口编号全 设为空值,并设置好各虚拟节点的交叉口编号和邻接 交叉口编号:
- (2) 将属于起点交叉口的所有虚拟节点的标号性 质设为临时标号,标号值为零,上游交叉口编号值设 为起点交叉口的编号:
- (3) 在所有临时标号点中寻找,找到标号值为最 小的虚拟节点 V_s (可能不惟一, 取找到的第一个), 将其设为标号性质永久标号点。如果 V_s 的交叉口编 号等于终点交叉口编号,则最短路寻找过程结束,转 到第6步,否则继续下一步;
- (4) 如表 2, 找出 V_s 的邻接交叉口的所有虚拟 节点,对其一一标号,并设置上游交叉口编号值,标 号性质值:
 - (5) 转到第3步;
- (6) 根据虚拟节点 V_s 的交叉口编号和上游交叉 口编号、依次前推、得出最短路径。以上步骤可以归 结为如图 4 的流程图。2.2 算例

如图 5 的道路网络,路段上所标数字为路段阻 抗,黑色方框为交叉口,灰色圆点为虚拟节点,在交 叉口转向中,转向 A - C - D 禁行,其他转向的阻抗

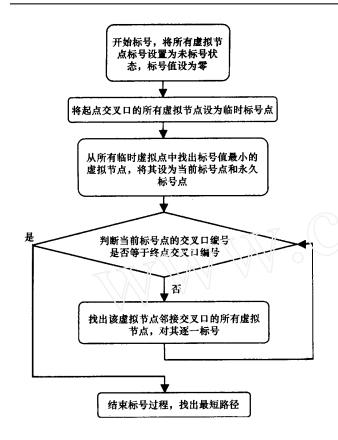


图 4 改进后的标号算法流程图

都是1,要求找出从交叉口A到交叉口D的最短路径。用 V_{ab} 来表示属于交叉口A且位于路段AB上的虚拟节点,同理,属于交叉口A且位于路段AC上的虚拟节点可以用 V_{ac} 表示。标号过程如下:

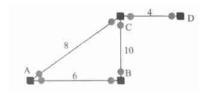


图 5 某道路网络

首先,将图 5 中的所有虚拟节点都设为未标号状态,标号值均为零。从起点交叉口 A 开始,将 V_{ω} 和 V_{ω} 设为临时标号点,开始标号过程。

第 1 轮标号:选择当前标号点,取 V_{ab} 为当前标号点,将其设为永久标号, V_{ab} 邻接交叉口是交叉口B,给属于交叉口B的虚拟节点 V_{ba} 、 V_{bc} 标号。标号结果如表 3。

	第1轮标号结果			表3		
虚拟节点号	V_{ab}	V_{ac}	V_{bc}	V_{ba}		
标号值	0	0	7	6		
标号性质	永久	临时	临时	临时		
前向交叉口	A	A	A	A		

第2轮标号:在临时标号点中寻找当前标号点,

取 V_{ac} ,将其标号设为永久标号,给 V_{ac} 邻接的交叉口 C 的虚拟节点 V_{ca} 、 V_{cb} 、 V_{cd} 标号,由于 A - C - D 禁行,所以 V_{cd} 得不到标号,标号结果见表 4。

	第 2 轮标号结果					表 4		
虚拟节点号	V_{ab}	V_{ac}	V_{bc}	V_{ba}	V_{ca}	V_{cb}		
标号值	0	0	7	/ 6	8	9		
标号性质	永久	永久	临时	临时	临时	临时		
前向交叉口	A	Α	A	A	A	A		

第 3 轮标号: 依次取 V_{ba} 、 V_{bc} 、 V_{ca} 、 V_{cb} 作为当前标号点,将其标号设为永久标号,并对其所邻接的交叉口的所有虚拟节点进行标号,得出结果如表 5。

	第3轮标号结果						表 5		
虚拟节点号	V_{ab}	V_{ac}	V_{bc}	V_{ba}	V_{ca}	V_{cb}	V_{cd}		
标号值	0	0	7	6	8	9	18		
标号性质	永久	永久	永久	永久	永久	永久	临时		
前向交叉口	A	A	A	A	A	A	В		

第 4 轮标号:取 V_{cd} 为当前标号点,并设为永久标号点,得出 V_{dc} 的标号为 22,此时只有 V_{dc} 为临时标号点,则将 V_{dc} 的标号设为永久标号,由于 V_{dc} 所属交叉口为终点交叉口,从而得到结果如表 6。

	最终标号结果				表 6			
虚拟节点号	V_{ab}	V_{ac}	V_{bc}	V_{ba}	V_{ca}	V_{cb}	V_{cd}	V_{dc}
标号值	0	0	7	6	8	9	18	22
标号性质	永久							
前向交叉口	A	A	A	A	A	A	В	C

根据终点虚拟节点的编号 V_{ac} 以及其前向交叉口编号 C,可知虚拟点 V_{ac} 标号是从前向交叉口 C 经过所属交叉口 D 得来,从而可以找出其前向虚拟节点 V_{cd} ,依次类推,可以得出整个最短路径为 A - B - C - D。同样,在找出其它点间的最短路径后,就可以进行多路径分配。

这个例子看似简单,但是如果采用图 1 (a) 所示的网络来表示,用 Dijkstra 却得不出这条最短路径。

参考文献:

- [1] 李旭宏. 道路交通规划 [M]. 南京: 东南大学出版社, 1997: 146-159.
- [2] 王炜. 多路径交通分配模型的改进及节点分配算法 [J]. 东南大学学报,1994,24 (6):21-26.
- [3] Yosef Sheffi. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods [M]. Prentice-Hall. INC, 1984.