

基于交通控制与诱导的 准动态交通分配策略与算法研究

叶海飞¹ 陆建¹ 李文勇²

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096

2. 桂林电子科技大学, 桂林 541004

摘要: 交通出行诱导系统下的路网动态交通分配是进行交通出行诱导方案分析、评价的基础。本文主要考虑交通控制与诱导信息对路段阻抗的影响和出行者对交通诱导信息的接受程度, 给出了两种准动态交通分配的策略: 修改了出行路径阻抗和改变了出行路径选择。并基于常规非平衡交通分配, 通过OD需求量“全有全无”方法, 实现了OD变需求影响下的多时段连续准动态交通分配。最后, 通过示例路网, 验证了所研究的分配策略与算法的正确性。

关键词: 交通分配, 交通诱导, 交通控制, 准动态

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2008)03-0065-06

Strategies and Algorithm for Quasi-Dynamic Assignment Based on Traffic Control and Guidance

YE Hai-fei¹ LU Jian¹ LI Wen-yong²

1. Transportation College, Southeast University,
Nanjing 210096, China

2. Guilin University of Electronic Technology,
Guilin 541004, China

Abstract: The dynamic traffic assignment of road network with route guidance system is a base for the analysis and evaluation technology of the route guidance system. This paper mainly considered the influence of the traffic control and guidance information on road impedance and the acceptance degree of traveler to the traffic guidance information, and

收稿日期: 2007-07-30.

作者简介: 叶海飞(1984-), 男, 汉, 江西吉安人, 东南大学交通学院硕士研究生。

two strategies about the quasi-dynamic traffic assignment: modifying the road impedance and changing the route selection modes, were given. Then, based on the conventional non-equilibrium traffic assignment, the multi-interval quasi-dynamic traffic assignment by the all-or-nothing method under the influence of the changing demand was realized. Finally, the correctness of the assignment strategies and algorithm were verified by a simple example of road network.

Key words: Traffic assignment, traffic guidance, traffic control, quasi-dynamic

0 引言

动态交通分配,就是将变化的交通出行需求合理分配到不同的路径上,以降低个人出行费用或系统的总费用^[1]。在研究城市交通出行诱导系统时,许多学者开始考虑在交通控制与诱导下的动态交通分配问题,力求达到三者的一体化协调,最大程度地提高交通运行效率^{[2],[3]}。然而,由于动态交通分配具有算法复杂且运算量大的特点,这使得它与交通控制及诱导的一体化协调增加了难度。本文弱化了动态交通分配动态实时性的特点,在非平衡交通分配的基础上,对交通控制与诱导下的准动态交通分配策略及算法进行了相关探讨。通过以上的分析,可以使准动态交通分配与交通控制和诱导紧密结合,从而为城市交通出行诱导系统的研究奠定基础。

1 准动态交通分配的概念及特点

1.1 准动态交通分配的概念

本文所研究的准动态交通分配,就是将连续变化的交通出行需求进行时间离散化,以一个个时间片段的形式对出行需求进行交通分配。该分配算法既能避免因动态交通分配算法的复杂而引起的实际应用困难的问题,又能摆脱静态交通分配因单时段分配特性而无法适应实际交通状况多变的桎梏,从而为交通流管理、交通诱导等策略的有效实施提供依据^[4]。

1.2 准动态交通分配的特点

准动态交通分配与动态交通分配是两个不同的

概念。相比于动态交通分配,准动态交通分配做了3方面的简化。

(1) 它简化了动态交通分配中的时间连续性特点。在准动态交通分配中对时间的考虑是离散的,即把时间分为若干个时间片,各个时间片的时间间隔根据分配精度来确定。

(2) 它简化了分配过程中 OD 交通量消散与生成的时间连续性,即假设在一个时段内 OD 交通量全部存在于所分配的路径上,到了下一时段才开始消失;同时,新的 OD 交通需求也才开始加载到路网中。

(3) 它弱化了每个时段的交通信息在出行者出行过程中的实时变化特性,即假设在每个时段出行者进入路网前已经获得相应的交通信息,并且,在该时段交通信息并不发生变化。

2 交通控制与诱导下的准动态交通分配策略

基于非平衡的交通分配模型,本文提出了以下两种交通控制与诱导下的交通分配策略:

- (1) 改变路段阻抗的交通分配策略;
- (2) 改变多路径分配策略的交通分配。

2.1 改变路段阻抗的交通分配策略

多路径交通分配方法是按照各个有效路段阻抗的大小来确定这些路段的分担比例的。若有效路段阻抗越小,该路段所分配到上游节点流出的交通量也就越多。当交通管理部门向出行者推荐一条诱导出行路径时,可以通过适当增加与推荐路段同一父节点的竞

争路段的阻抗,来增加推荐路段所占的分配权重值,从而在分配过程中体现出行者对交通诱导信息的接受程度。而竞争路段阻抗所增加的比例,需要根据出行者对交通诱导信息的接受程度来确定。此外,对于路段上的交通控制信息,可以直接在采取交通控制措施的路段上相应地更改路段阻抗值。

从上面的分析可以得出,修改路段阻抗有两种不同的策略:

(1) 对于交通控制策略的影响,可通过对实施交通控制措施的路段增加路段阻抗来实现,而路段阻抗的增加可根据交通控制措施产生的平均“阻滞”时间来确定;

(2) 对于交通诱导策略的影响,通过增加竞争路段的阻抗来实现。

如何确定路段阻抗所要修改的程度,即确定交通诱导与控制信息对路段的影响程度,是改变路段阻抗的交通分配策略的重要一步。本文引入了“惩罚因子”的概念,即当诱导信息推荐了一条路段,就对与推荐路段有相同父节点的有效路段的阻抗进行“惩罚”,使其阻抗明显大于推荐路段的阻抗,从而实现交通分配时改变对诱导路径的选择概率。

2.2 改变出行路径的交通分配策略

改变路段出行阻抗的分配策略是在进行交通分配之前就根据交通诱导控制策略调整好路网的出行阻抗。而改变出行路径的分配策略则是在交通分配过程中,根据出行者对交通诱导控制策略的接受程度来修改各路径交通分配的概率;必要时还需要通过路径回溯来改变前驱节点的交通分配概率。需要改变路径来分配的情况主要有以下两种:

(1) 在当前 OD 交通量分配下,路段分配到的交通量导致路段的服务水平在 E 级以上,即当前路段的 $V/C \geq 0.9$,此时路段就不能分配该 OD 交通量,需要根据交通诱导方案改变出行路径;

(2) 当所要分配的路段出现禁行(交通事故或道路维修等因素产生)等情况时,交通管理部门发布信息使出行者避开这些路段,此时,也需要改变出行路径。

3 变 OD 需求下的连续准动态交通分配算法

3.1 单时段下的准动态交通分配

3.1.1 改变路段阻抗策略下的准动态交通分配

从前面的分析中可得出,要通过改变路段阻抗来实现准动态交通分配需要引入“惩罚因子”。而“惩罚因子”的选取主要与上一时段与诱导路径的竞争路段的分配交通量以及出行者对交通信息的接受程度有关。对于出行者对交通信息的接受程度,可以把这种接受程度划分为以下两个等级^{[5],[6]}:

① 出行者完全接受交通诱导与控制信息,这时,为了能让出行者尽可能选择交通管理部门推荐的路径出行,可以把未推荐的路径的“惩罚因子”增大,从而使推荐路径的分配权重值相比于其他路径要大得多,保证出行者能完全接受交通诱导信息;

② 出行者部分信任交通诱导与控制信息是在交通信息的基础上结合自己的出行经验来选择出行路径,此时,对未推荐路径的“惩罚”需要考虑接受交通诱导与控制信息的出行者的比例 p , p 越大,则“惩罚因子”的值越大。

惩罚因子的计算,需要根据上一时段诱导路径上的分配交通量 q_a 和接受诱导方案的出行者比例 p ,运用公式(1)进行比差计算而得到:

$$M = \frac{1 + \alpha \left(\frac{v_a + q_a p}{C} \right)^\beta}{1 + \alpha \left(\frac{v_a}{C} \right)^\beta} \quad (1)$$

式中:

M ——与诱导路径竞争的路径的“惩罚因子”;

v_a ——上一时段与诱导路径的竞争路段的分配交通量;

p ——完全接受交通诱导信息的出行者所占的比例值;

C ——路段的通行能力。

需要说明的是,“惩罚因子”是一个不小于 1 的实数,它的取值范围可规定为: $M = 1$,说明路径不受“惩罚”,路网上的各条路径状况基本均衡; $M > 1$,

路径分配将受到“惩罚”。而且， M 值越大，“惩罚”也越重，对应的阻抗也变得越大。对于禁行的路段，可直接令该时段下的路段阻抗为 ∞ 。

得到了路段的惩罚因子之后，即可根据其值来修改路段的阻抗：

$$t_a(k+1) = M \cdot t_a(k) \quad (2)$$

式中：

$t_a(k+1)$, $t_a(k)$ —— 第 $k+1$ 和第 k 时段前路段 a 的阻抗；

M —— 路段 a 在第 $k+1$ 时段前的“惩罚因子”。

根据以上的分析计算，可以得到改变路段阻抗的准动态交通分配算法：在交通分配前先根据交通诱导与控制信息对禁行的路段阻抗设为无穷，对诱导信息未推荐的出行路径进行“惩罚”，从而在分配前就改变路网各个路段的出行阻抗；之后即可借助非平衡分配模型下的多路径交通分配方法进行准动态交通分配。

3.1.2 改变出行路径策略下的准动态交通分配

当路段上出现策略二所提到的两种情况时，可以采取以下两种方式进行交通分配。

方式 1：先把此时不能分配的路段阻抗设为无穷，然后直接回到该路段的上游节点重新进行一次分配。

方式 2：与方式 1 类似，先把此时不能分配的路段阻抗设为无穷，但接下来并不是回到上游节点重新分配，而是进行分配复位，回到该 OD 点对的起节点，重新进行一次完整的多路径交通分配。

对于以上两种方式需要说明的是，交通分配到达一个节点时，首先对邻接下游路段进行预分配，并判断分配后该路段是否会发生拥挤。如发生，则选择上述一种分配方式进行回溯修改分配路径；如不发生则继续向下分配。

3.2 变 OD 需求下的连续准动态交通分配

一般而言，任一时段内的交通需求量是不断变化的。同时，路段上的流量也会随着时间的推移发生流出和流入的现象。如果当前路网上某路段交通状况很差，该路段的流入交通量就会减少；当整个路网的交通状况变差时，出行者将会减少出行或者推迟出行时

间，导致交通需求量发生变化。因此，在准动态交通分配中考虑 OD 交通量的变需求特征是有必要的。

由于准动态交通分配简化了分配过程中 OD 交通量消散与生成的时间连续性特点，因此，本文采用“全有全无”的方式来处理时段 OD 交通需求量的消散问题，即每一时段开始，首先检验前一时段已分配的 OD 交通量是否到达终点，若是，则该 OD 交通量分配过程所经路段上的交通量减去该 OD 量值，即认为全部同时消去；反之，则所经路段上仍保留该 OD 量值。OD 交通量消散判断完成后，则加载新时段 OD 交通需求量并开始下一时段的交通分配，这样就实现了连续 OD 需求量变化情况下的准动态交通分配。

综上所述，变 OD 需求下的连续准动态交通分配算法流程图如图 1 所示：

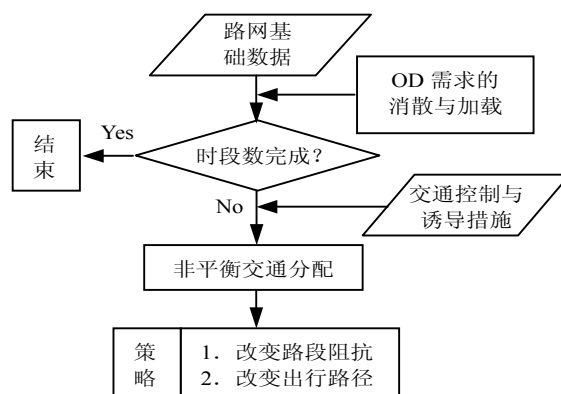


图 1 OD 变需求下的连续准动态交通分配流程

Fig.1 Flow chart of the continuous semi-dynamic traffic assignment under the changing demand of OD

4 路网示例分析

图 2 为示例路网，该路网中包含 10 个节点，各条路段都为双向路段。在路网中，各个弧线表示的是某一路段到其相邻路段上的转向延误值，如 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5$ 的转向延误值为 ∞ ，而 ∞ 表示该路段禁止该方向的转向^[7]。

示例中采用准动态交通分配中改变出行路径的策略，并取各个路段上的通行能力为 500，分配的时

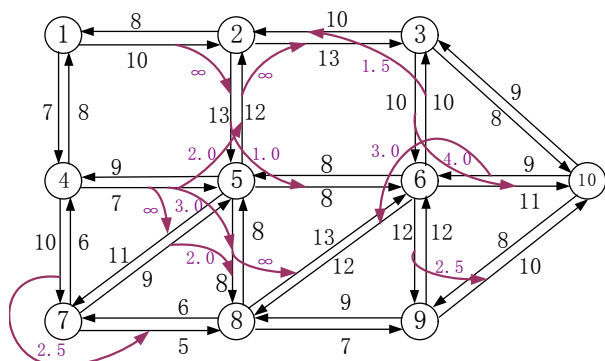


图 2 示例路网

Fig. 2 Road network of the example

段数为 5。在进行分配计算中，分配所需要的各种数据都可以通过文件的形式输入。这些数据文件包括：① 各个节点的 OD 交通量；② 路网几何要素值；

③ 路段转向延误值；④ 各路段在各个时段里所获得的诱导与控制方案；⑤ 各路段出行者接受诱导与控制方案的比例。其中，各时段交通控制与诱导措施和各个节点的 OD 交通量如表 1、表 2 所示。

表 1 各个时段交通控制与诱导措施

Tab. 1 Traffic control and guidance measures at each time interval

时 段	交通控制措施	交通诱导措施
第 1 时段	无	无
第 2 时段	2→3	5→6
第 3 时段	无	4→7, 7→8, 8→9
第 4 时段	5→7	5→8, 8→6
第 5 时段	无	5→2, 2→3, 3→10

表 2 路网 OD 矩阵

Tab. 2 OD matrixes of the road network

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	100	120	130	150	100	80	160	100	110
2	90	0	70	90	140	120	130	140	100	180
3	110	80	0	40	90	100	80	120	110	150
4	120	100	80	0	70	120	100	110	140	170
5	140	120	100	80	0	110	120	100	180	200
6	100	110	90	100	100	0	130	100	80	140
7	90	120	90	100	110	100	0	100	80	100
8	150	130	110	120	120	110	110	0	120	140
9	110	110	100	130	160	100	90	110	0	100
10	100	150	120	150	180	120	120	130	110	0

通过 VC++ 编制的程序运算以及对路网饱和度的计算，可以得到表 3 所列的结果。

表 3 示例准动态交通分配结果

Tab. 3 Results of the semi-dynamic traffic assignment

路 段	交通量分配值	饱和度	路 段	交通量分配值	饱和度
1→2	332	0.664	5→2	339	0.678
1→4	318	0.636	5→4	376	0.752
2→1	354	0.708	5→6	365	0.73
2→3	356	0.712	5→7	324	0.648
2→5	368	0.736	5→8	349	0.698
3→2	349	0.698	6→3	392	0.784
3→6	352	0.704	6→5	374	0.748
3→10	286	0.572	6→8	308	0.616
4→1	349	0.698	6→9	373	0.746
4→5	393	0.786	6→10	344	0.688
4→7	378	0.756	7→4	381	0.762

续表 3

路 段	交通量分配值	饱和度	路 段	交通量分配值	饱和度
7→5	267	0.534	9→6	363	0.726
7→8	331	0.662	9→8	393	0.786
8→5	381	0.762	9→10	288	0.576
8→6	330	0.66	10→3	347	0.694
8→7	382	0.764	10→6	356	0.712
8→9	352	0.704	10→9	297	0.594
饱和度均值		0.697	饱和度方差		0.004
分析评价指标 $p/(%)$		0.575			

根据分配结果可见, 经过 5 个时段分配后路网上各个路段的交通量都保持在比较均衡的状态 (在 267~393 之间)。整个路网的饱和度均值为: 0.697; C 级服务水平; 饱和度方差与均值的比值为: 0.58%。根据路网的饱和度计算方差与均值的比值来进行结果评价的思想, 可以说明分配结果在可接受范围之内。

5 结束语

(1) 本文通过弱化动态交通分配中出行时间的实时波动性特点, 基于非平衡交通分配, 研究并设计了

交通诱导与控制系统下的准动态交通分配策略和算法。该策略和算法不仅克服了现有动态交通分配算法计算量大、路网规模受限的不足, 而且可以用于对交通出行诱导方案进行分析评价, 为交通诱导策略和诱导方案生成技术的研究奠定基础。

(2) 本文提出了两种交通诱导与控制系统下的准动态交通分配策略:

- ① 改变路段阻抗的交通分配策略;
- ② 改变多路径分配策略的交通分配策略, 并采用“全有全无”的方式来处理时段 OD 交通需求量的消散和生成问题, 实现了变 OD 需求下的连续准动态交通分配。

参考文献

- [1] 杨兆升. 城市交通流诱导系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.
- [2] 石小法, 王 炜. 高度信息化条件下的动态交通配流模型[J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2001, 31 (3): 91-93.
- [3] Xin wu-ping, Xu jian-min. A combined multiple equilibrium behavior model with incorporated influences of advanced traveler information systems [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2001, 29 (1): 26-29.
- [4] 孔惠惠, 李引珍. 动态多时段交通分配算法研究 [J]. 兰州交通大学学报 (自然科学版), 2004, 23 (4): 122-125.
- [5] 石小法, 王 炜, 李文权. 交通信息对交通网络的影响研究[J]. 系统工程学报, 2001, 16(3): 167-171.
- [6] 曾 松, 杨晓光. 行程时间信息质量与接受水平关系分析[J]. 中国公路学报, 2002, 13 (4): 78-81.
- [7] 任 刚. 交通管制下的交通分配[D]. 南京: 东南大学, 2004.

(中文编辑: 吴继屏)