

文章编号: 1001-0920(2010)05-0715-06

## 智能式动态路线诱导系统诱导单元决策方法

钟石泉, 马寿峰, 贺国光

(天津大学 系统工程研究所, 天津 300072)

**摘要:** 诱导单元决策方法的研究是实现智能交通系统的一个关键环节, 其实现方法的好坏对诱导效果有直接的影响. 为此, 提出一种智能动态路线诱导系统诱导信息的模式, 对诱导信息所在路段的多目标终点交通流构成比例以及到下游路段的转弯率的预测方法进行研究, 并在此基础上提出了智能动态路线诱导系统诱导单元的综合决策方法. 实验结果及分析表明了所提出的诱导单元决策方法的有效性.

**关键词:** 动态路线诱导系统; 诱导单元; 诱导信息板; 交通流预测

中图分类号: U121

文献标识码: A

## Decision making of guidance unit in intelligent dynamic route guidance system

ZHONG Shi-quan, MA Shou-feng, HE Guo-guang

(Institute of Systems Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China. Correspondent: ZHONG Shi-quan, E-mail: shiquan\_tju@163.com)

**Abstract:** Decision making of guidance unit is one of the key aspects in the implementation of intelligent dynamic route guidance system(DRGS), which has direct effect on guidance. The mode of guidance information of DRGS is proposed. The proportion and turning rate forecasting method of multi-destination traffic flow on the road where the variable message signs(VMS) locats is designed. Based on the methods mentioned above, the comprehensive guidance information of guidance unit in DRGS is presented. The results and analysis of simulation experiments show the effectiveness of the proposed decision making of guidance unit.

**Key words:** Dynamic route guidance system; Guidance unit; Variable message signs; Traffic flow forecasting

### 1 引言

动态路线诱导系统(DRGS)是智能交通系统的重要组成部分, 是提高路网系统效能的重要手段. 其主要作用是通过对交通流路径引导, 充分利用道路网网的通行能力, 使路网保持通畅, 减少出行时间. 自DRGS提出以来, 很多学者为其发展付出了很大的努力, 提出了以预测式<sup>[1-5]</sup>和响应式<sup>[6-8]</sup>为代表的多种DRGS. 预测式DRGS需要构建复杂模型预测出行者对诱导信号的反应以及未来路网的交通流状态; 响应式DRGS主要依赖于对路网交通流进行动态交通分配, 使出行者对到达相同目的地的不同路径旅行时间相等. 因为上述两种诱导系统采用的模型和方法都是以已知或预测交通需求OD矩阵为前提, 模型过于理想化<sup>[9]</sup>, 算法复杂, 可操作性不强, 所以难以实际应

用. 这是DRGS提出20多年来而没有达到实用化的重要原因之一. 文献[10]提出了基于机器学习的智能方法, 以解决交通诱导问题, 具有较强的实用性, 跳出了动态交通分配的思维定式, 为研究DRGS寻找到了新途径.

智能DRGS最终通过诱导信息板上的诱导信息作用于交通流, 而诱导信息的生成取决于诱导单元决策, 因此诱导单元决策方法是保证智能DRGS有效性的关键. 为此, 本文对智能DRGS诱导决策方法进行了探讨.

### 2 智能DRGS组成元素及系统框架

#### 2.1 组成元素

从功能结构考虑, 一个智能DRGS包括若干个相互协调的诱导子系统, 每个诱导子系统包含若干

收稿日期: 2009-05-12; 修回日期: 2009-09-11.

基金项目: 国家863计划项目(2006AA11Z210); 国家自然科学基金项目(70671073).

作者简介: 钟石泉(1980-), 男, 湖南岳阳人, 讲师, 博士, 从事智能交通的研究; 马寿峰(1965-), 男, 天津人, 教授, 博士, 从事智能交通、交通系统工程等研究.

一个诱导决策单元(以下简称诱导单元). 诱导单元是 DRGS 的基本组成元素, 图 1 示意了智能 DRGS 组成结构. 每个诱导单元都有一块安装在靠近路口的诱导信息板(VMS), 用以显示前方主干道的路径诱导信息.

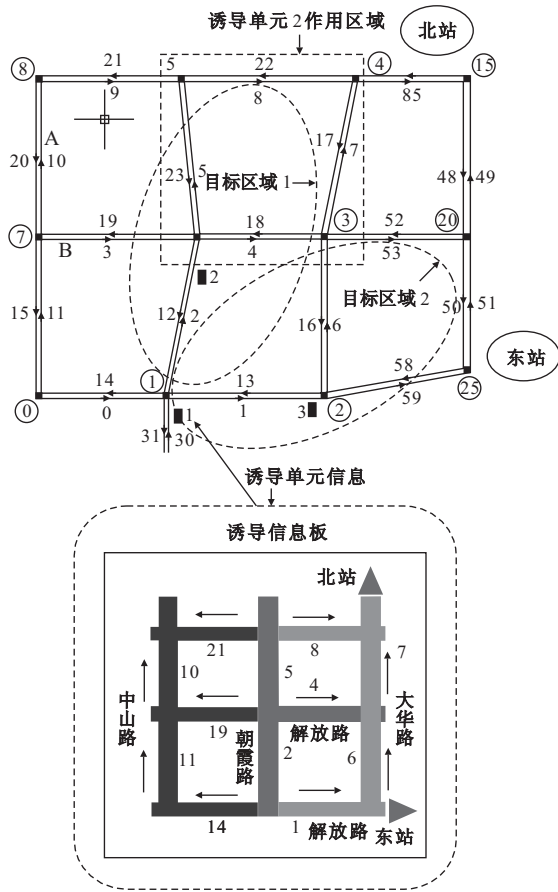


图 1 智能 DRGS 组成元素示意图

## 2.2 系统框架

智能 DRGS 的原理是应用人工智能中的机器学习与推理来处理交通流的短时预测和交通诱导问题. 其系统框架如图 2 所示.

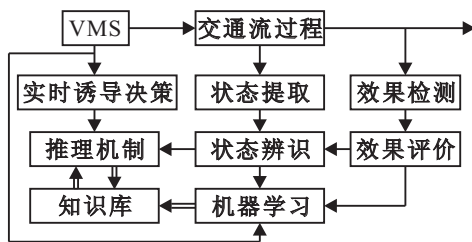


图 2 智能 DRGS 系统框架

车辆实时诱导系统包括状态提取、状态辨识、实时诱导决策、效果检测、效果评价、机器学习、知识库和推理机制等模块, 可划分为实时诱导和学习两个回路. 实时诱导回路根据交通流短时预测和系统辨识出来的诱导单元状态, 在诱导信息库中提取当前状态对应的最优诱导信息, 并将该诱导信息通过 VMS 应

用于路网. 学习回路包含两个功能: 一方面, 对正在学习中的预测策略、诱导信息检验预测和诱导效果, 搜索最优预测数据和当前状态对应的最优诱导信息; 另一方面, 对知识库中保存的通过机器学习得到的诱导信息进行不断地检验, 以便更新知识库中的知识. 智能 DRGS 的详细原理和各模块的功能可参见文献 [10].

本文在文献 [10] 的基础上, 对智能 DRGS 中诱导单元决策方法进行研究, 涉及到上述诱导系统框架中学习、诱导两个回路和实时诱导决策模块的实现方法.

## 3 诱导目标函数及诱导信息对交通流的影响

### 3.1 诱导目标函数

智能 DRGS 的目标是路网交通流的均衡, 使交通流均匀地分布在各路段上, 从而达到充分利用道路网通行能力的目的. 诱导单元  $h$  在周期  $p$  的均衡度  $\varphi_{hp}$  计算公式为

$$\varphi_{hp} = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i \in O_h} (S_O^{ihp} - S_O^{hp})^2}{\sum_{i \in O_h} S_O^{ihp^2}}} \quad (1)$$

其中

$$S_O^{ihp} = \frac{\sum_{j \in N_i^h} \sum_{k=0}^{T_h-1} N_V^{hpk}}{T_h \sum_{j \in G_i^h} C_j} \quad (2)$$

表示诱导单元  $h$  的目标区域  $i$  在周期  $p$  的饱和度,  $S_O^{hp} = \sum_{i \in O_h} S_O^{ihp} / N_h$  表示诱导单元  $h$  的所有目标区域平均饱和度,  $N_h$  表示诱导单元  $h$  的目标区域个数,  $O_h$  表示诱导单元  $h$  的目标区域集合,  $T_h$  表示将一个诱导周期离散后的时间段数,  $C_j$  为路段  $j$  的通行能力,  $N_V^{hpk}$  为诱导单元  $h$  诱导周期  $p$  时刻  $k$  路段  $j$  上的车辆数,  $G_i^h$  表示诱导单元  $h$  目标区域  $i$  中路段集合. 诱导目标区域见图 1, 是一个周期内被诱导的车辆所能到达的区域.

### 3.2 多目标终点的交通流

诱导信息标志所在路段的交通流为该诱导单元将要被诱导的交通流. 一个诱导单元诱导的交通流分为多个方向, 各方向的交通流的主要吸纳点称为该诱导单元交通流的目标终点, 一般一个诱导单元的目标终点不超过 3 个. 因为不同目标终点的交通流对诱导单元的诱导信号的反应是不同的, 所以对同一诱导单元不同方向的交通流及其对诱导信息的影响进行预测和推理, 综合考虑交通流方向的影响后决策下

一周期的诱导信息,使诱导单元目标区域间交通流均衡分布。

### 3.3 诱导信息对交通流的影响

诱导单元的诱导信号是在地图路段上显示不同颜色,以表示不同的路段饱和度,从而对所看到的该诱导信息的交通流产生影响。

虽然从定性分析可知诱导信息对交通流的影响,但对其影响程度很难精确得到,因为不同路段饱和度和不同时段下交通流对诱导信息的反应是不一样的。诱导服从率是一个动态变化的过程,不可能预先设定,因此只能通过机器学习才能得到。考虑到诱导周期 $p$ 结束时刻,诱导单元根据路网状态 $S(p)$ 作出的诱导决策 $U(p)$ 将对下一个诱导周期 $(p+1)$ 有关区域的交通流分配起作用,因此可通过检测周期 $(p+1)$ 目标区域交通流均衡度状况得到诱导效果 $V(p)$ 。数据 $S(p),U(p)$ 和 $V(p)$ 作为一个组合进入诱导学习单元,经过学习、推理机制处理,可作为下次诱导信息使用的依据,这样便完成了一个学习循环。限于篇幅,诱导学习单元的学习、推理机制将另撰文加以阐述。

## 4 诱导单元决策方法

### 4.1 实时诱导决策模块决策关键步骤

智能DRGS实时诱导决策模块决策的关键步骤如下:

- 1) 从诱导信息板所在路段的检测器中获取周期 $p$ 该路段到下游路段的转弯率;
- 2) 更新知识库中各诱导信息对应的预测诱导转弯率;
- 3) 预测周期 $p+1$ 不同方向交通流构成比例;
- 4) 从知识库中提取不同方向交通流最优诱导信息;
- 5) 根据诱导单元路网状态,综合考虑交通流的构成及其对应的最优诱导信息,得到周期 $p+1$ 诱导单元的综合诱导信息;
- 6) 更新诱导周期 $p := p+1$ ,通过VMS将诱导信息作用于交通流,转1)。

上述步骤中,步骤1),步骤2)和步骤6)较易实现,步骤3)~步骤5)涉及到的模型和方法,将在以下各节详细论述。

### 4.2 诱导信息所在路段各目标终点交通流构成比例

当诱导信息所在路段的交通流有多个目标终点时,需要根据 $S(p),U(p)$ 和 $V(p)$ 估计周期 $p$ 该路段各目标终点交通流的构成比例。周期 $p$ 诱导单元 $h$ 被诱导的交通流到目标终点 $e_j(h)$ 的比例为 $s_p[e_j(h)]$ , $j = 1, 2, \dots, N_e(h)$ ,其中 $N_e(h)$ 为诱导单元 $h$ 中被诱导

交通流的目标终点的个数。对于相邻的两个诱导周期 $p-1$ 和 $p$ ,在诱导周期内, $s_{p-1}[e_j(h)]$ 与 $s_p[e_j(h)]$ 是相关联的,可通过周期 $p-1$ 各目标终点交通流的构成比例乘以一个动态修正系数 $\delta_p(e_j(h))$ 得到周期 $p$ 的交通流构成比例。当 $p = 1$ 时,可通过历史统计数据近似得到 $s_1[e_j(h)]$ ;当 $p > 1$ 时,可根据周期 $p-1$ 的诱导信息所在路段到其下游路段的预测诱导转弯率(根据诱导信息计算得出的转弯率)与实际转弯率的值进行比较和调整 $\delta_p(e_j(h))$ 值。设诱导单元 $h$ 诱导信息所在路段为 $g(h)$ ,对于与 $g(h)$ 相邻的下游(用符号 $d$ 标识)路段,依顺时针方向分别用 $g_d^1(h), g_d^2(h), \dots, g_d^{n_d[g(h)]}(h)$ 表示 $g(h)$ 的第1级下游路段。其中: $n_d[g(h)]$ 为 $g(h)$ 的下游路段数量,周期 $p$ 从路段 $g(h)$ 到路段 $g_d^i(h)$ 的预测诱导转弯率和实际转弯率为 $\hat{T}_r^p[g_d^i(h)], \tilde{T}_r^p[g_d^i(h)]$ , $i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]$ 。设置交通流比例调整步长为 $\pi$ ,令

$$k_{\max} = \{i | \max(\hat{T}_r^p[g_d^i(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^i(h)]), \\ i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]\},$$

$$k_{\min} = \{i | \min(\hat{T}_r^p[g_d^i(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^i(h)]), \\ i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]\}.$$

交通流比例调整规则如下:

1) 如果

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] > \mu_h,$$

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] < -\mu_h,$$

则 $g_d^{k_{\max}}(h)$ 方向的车流比例加大 $\pi$ , $g_d^{k_{\min}}(h)$ 方向的车流比例减小 $\pi$ ;

2) 如果

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] > \mu_h,$$

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] \geq -\mu_h,$$

则 $g_d^{k_{\max}}(h)$ 方向的车流比例加大 $\pi$ ,其他方向的车流比例均减小 $\pi/[N_e(h) - 1]$ ;

3) 如果

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\max}}(h)] \leq \mu_h,$$

$$\hat{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] - \tilde{T}_r^p[g_d^{k_{\min}}(h)] < -\mu_h,$$

则 $g_d^{k_{\min}}(h)$ 方向的车流比例减小 $\pi$ ,其他方向的车流比例均加大 $\pi/[N_e(h) - 1]$ 。

不同目标终点交通流比例与下游路段方向诱导服从率的乘积之和为转入该方向的交通流比例。因为实际交通流过程中诱导服从率不可能得到,所以可以将预测诱导服从率的过程看作一个“黑箱”,通过调整交通流的构成比例来反映诱导服从率的变化。因此,上述 $s_p[e_j(h)]$ ( $j = 1, 2, \dots, N_e(h)$ )不一定与实际交通流的构成比例一致,它是考虑了动态诱导服从率之后的一个修正值。

### 4.3 不同诱导信息下诱导转弯率的计算

$G_l[g_d^i(h)]$  表示诱导单元  $h$  周期  $l$  诱导进入  $g_d^i(h)$  的诱导信号. 假设在  $G_p[g_d^i(h)]$  的影响下, 诱导单元  $h$  周期  $p$  到目标终点  $e_j(h)$  的交通流在下游路段  $g_d^i(h)$  的理论转弯率分别为  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_e(h)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]$ , 则存在以下方程组:

$$Q_p(h) * T_r^p[g_d^i(h)] = \sum_{j=1}^{N_e(h)} Q_p(h) * s_p[e_j(h)] * T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]], i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N_d[g(h)]} T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]] = 1; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{N_e(h)} s_p[e_j(h)] = 1; \quad (5)$$

$$s_p[e_j(h)] = s_{p-1}[e_j(h)] * \delta_p. \quad (6)$$

由于实际总转弯率  $T_r^p[g_d^i(h)]$  和被诱导交通流的总流量  $Q_p(h)$  可测, 不同目标终点的交通流比例  $s_p[e_j(h)]$  可以通过第 4.2 节预测得到, 因此上述方程组中只计算  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  即可. 上式包含  $N_e(h) * N_d[g(h)]$  个变量和  $N_d[g(h)] + 4$  个方程, 设  $r(A)$  和  $r(\bar{A})$  分别为方程组的系数矩阵和增广矩阵的秩. 当  $r(A) = r(\bar{A}) = N_e(h) * N_d[g(h)]$  时, 可直接求解出唯一的  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$ ; 当  $r(A) = r(\bar{A}) < N_e(h) * N_d[g(h)]$  时,  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  有无穷多解; 当  $r(A) \neq r(\bar{A})$  时,  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  无解.

对于有无穷多解的情况, 在周期  $l_{\max}$  的方程组 (3)~(6) 中选取部分等式加入到原方程组中联立求解, 加入的顺序为交通流量大的方向所涉及到的方程先加入, 流量小的方向所涉及到的方程后加入, 其中

$$l_{\max} = \{\max(l) | G_l[g_d^i(h)] = G_p[g_d^i(h)], l = p - 1, p - 2, \dots, 1\};$$

对于无解的情况, 首先将冲突的方程组中交通流量小的方向所涉及到的方程删去, 如果删去方程后, 有

$$r(A) = r(\bar{A}) < N_e(h) * N_d[g(h)],$$

则采取与上述方程组有无穷多解的情况相同的处理方式.

对周期  $p$  前  $N_g$  个具有相同诱导信息  $G_p[g_d^i(h)]$  的  $T_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  滚动进行平均, 得到在诱导信息  $G_p[g_d^i(h)]$  的影响下, 诱导单元  $h$  周期  $p$  到目标终点  $e_j(h)$  的交通流在下游路段  $g_d^i(h)$  的预测转弯率  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$ . 设  $C_h(N_g, G_p[g_d^i(h)])$  为诱导单元  $h$  周期  $p$  前  $N_g$  个具有相同  $G_p[g_d^i(h)]$  情况下的诱导周期集合, 则  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  的计算公式为

$$\tilde{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]] = \sum_{q \in C_h(N_g, G_p[g_d^i(h)])} \frac{\lambda_q \tilde{T}_r^q[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]}{N_g}, \quad (7)$$

其中  $\lambda_q$  为周期  $q$  的  $\tilde{T}_r^q[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  在周期  $p$  预测转弯率中所占的权重.

### 4.4 诱导单元综合诱导信息

经过同一诱导信息板所在路段到不同目标终点的交通流所得到的是相同的诱导信息, 而各方向交通流对该诱导信息的反应是不一样的, 因此需要综合考虑该路段交通流的构成对不同目标终点的交通流诱导信息的影响, 得出综合的最优诱导信息. 将其显示在诱导信息板上, 以对下一个周期将经过该路段去不同目标终点的交通流进行诱导. 设  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)]$  为诱导单元  $h$  周期  $p$  到目标终点  $e_j(h)$  的交通流在下游路段  $g_d^i(h)$  的预测转弯率, 则诱导单元综合诱导信息的构造步骤如下:

1) 从知识库中提取当前路网状态下从诱导单元诱导信息所在路段的所有交通流到下游路段的最优诱导转弯率  $\tilde{T}_r^p[g_d^i(h)]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]$ .

2) 构造方程组  $\sum_{j=1}^{N_e(h)} s_p[e_j(h)] * \tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)] = \tilde{T}_r^p[g_d^i(h)]$ , 求解得出  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)]$ . 求解方法与第 4.2 节基本相同, 不再赘述.

3) 从知识库中提取与  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_e(h)$ , 对应的诱导信息板诱导信息 (即显示的不同饱和度颜色).

4) 如果  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_d[g(h)]$ ,  $j = 1, 2, \dots, N_e(h)$  对应的诱导信息板诱导信息完全相同, 则采用该诱导信息, 转 6).

5) 如果  $\tilde{T}_r^p[e_j(h), g_d^i(h)]$  对应的诱导信息不一致, 则对需要显示的诱导信息进行协调: 采用与目标终点为  $d_1 = \{i | \max(s_p[e_j(h)]), j = 1, 2, \dots, N_e(h)\}$  的交通流对应的诱导信息  $G_p^1[h]$  作为基准诱导信息, 然后将其与目标终点为  $d_2 = \{i | \max(s_p[e_j(h)]), j = 1, 2, \dots, N_e(h), j \neq d_1\}$  的交通流对应的诱导信息  $G_p^2[h]$  进行比较. 如果  $G_p^1[h] = G_p^2[h]$ , 则取  $\tilde{G}_p^2[h] = G_p^2[h]$ ; 如果  $G_p^1[h] \neq G_p^2[h]$ , 则在  $G_p^1[h]$  和  $G_p^2[h]$  基础上对诱导信息进行调整, 得到  $\tilde{G}_p^2[h]$ , 使

$$\xi_{1,2} = \sum_{i=1}^{N_d[g(h)]} |\tilde{T}_r^p[e_{d_1}(h), G_p^1[g_d^i(h)]] + \tilde{T}_r^p[e_{d_2}(h), G_p^2[g_d^i(h)]] - \tilde{T}_r^p[e_{d_1}(h), \tilde{G}_p^2[g_d^i(h)]] - \tilde{T}_r^p[e_{d_2}(h), \tilde{G}_p^2[g_d^i(h)]]|$$

的值最小. 依次类推, 得出  $\tilde{G}_p^{N_e(h)}[h]$ . 将得出的综合诱导信息显示在诱导信息板上.

6) 结束.

## 5 仿真实验及分析

### 5.1 仿真实验条件

为了说明本文提出的智能DRGS诱导单元决策方法的有效性, 以及各参数对诱导效果的影响, 本文进行了多组实验, 限于篇幅, 仅列出预测诱导转弯率时进行加权的诱导周期数  $N_g$  的取值对诱导效果影响的实验结果和分析. 本文进行的实验如下:  $N_g$  取不同值时, 预测诱导转弯率的准确度, 实验条件为  $N_g$  取2~5的情况, 实验序号为1~4. 仿真实验在基于元胞自动机原理的微观仿真平台上进行, 车速、流量、控制信号等数据通过仿真软件提取, 诱导周期设为250s, 自由流速度为16m/s, 每个实验仿真900个诱导周期. 仿真路网如图3所示, 设置4个诱导单元, 参数见表1. 限于篇幅, 本文不便列出路网中所有路段参数, 现仅提取图3中与诱导单元相关的主要路段长度及通行能力, 见表2.

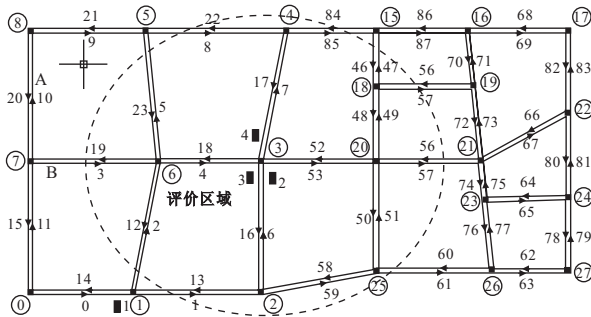


图3 诱导仿真路网

表1 诱导单元参数表

| 诱导单元 | 所属路段 | 目标终点 | 直接影响路段            |
|------|------|------|-------------------|
| 1    | 0    | 17   | 0,1,2,4,5,6,59    |
| 2    | 6    | 17   | 6,7,49,53,55,85   |
|      |      | 8    | 5,6,7,8,18,19,22  |
| 3    | 4    | 17   | 4,7,49,53,55,85   |
|      |      | 27   | 4,16,50,53,55,59  |
| 4    | 17   | 27   | 16,17,50,53,55,59 |

表2 主要路段长度及通行能力

| 路段 | 长度/m | 通行能力/(pcu/h) | 路段 | 长度/m | 通行能力/(pcu/h) |
|----|------|--------------|----|------|--------------|
| 0  | 717  | 1500         | 8  | 802  | 1600         |
| 1  | 853  | 1600         | 16 | 857  | 1700         |
| 2  | 866  | 1800         | 17 | 881  | 1700         |
| 4  | 699  | 1500         | 18 | 699  | 1500         |
| 5  | 905  | 1800         | 22 | 802  | 1800         |
| 6  | 857  | 1700         | 52 | 815  | 1500         |
| 7  | 881  | 1700         | 53 | 815  | 1500         |

### 5.2 仿真实验结果

本文针对表1中的条件进行了多次仿真实验, 现列出其中具有代表性的4次实验数据进行分析. 将实验1~实验4在诱导单元2路段7方向的预测诱导转

弯率与实际转弯率进行比较. 用

$$RE = \frac{1}{p_e - p_s} \sum_{p=p_s}^{p_e} \frac{|\hat{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]] - \hat{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]|}{\hat{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]} \times 100\%$$

表示诱导周期  $p_s$  到  $p_e$  内它们之间的相对误差, 其中  $\hat{T}_r^p[e_j(h), G_p[g_d^i(h)]]$  表示诱导单元  $h$  周期  $p$  目标终点  $e_j(h)$  方向的交通流在诱导信息  $G_p[g_d^i(h)]$  作用下到  $g_d^i(h)$  的实际车辆转弯率. 预测转弯率与实际转弯率的比较结果如表3所示, 实验3的目标区域均衡度变化见图4.

表3 预测转弯率与实际转弯率比较结果 %

| 实验序号 | 1-150 | 151-300 | 301-450 | 451-600 | 601-750 | 751-900 |
|------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1    | 26.5  | 20.3    | 19.5    | 19.2    | 20.1    | 18.6    |
| 2    | 28.3  | 22.8    | 18.3    | 16.5    | 15.3    | 15.4    |
| 3    | 26.7  | 22.9    | 15.5    | 13.2    | 12.0    | 12.5    |
| 4    | 25.0  | 22.6    | 19.5    | 16.4    | 15.0    | 16.2    |

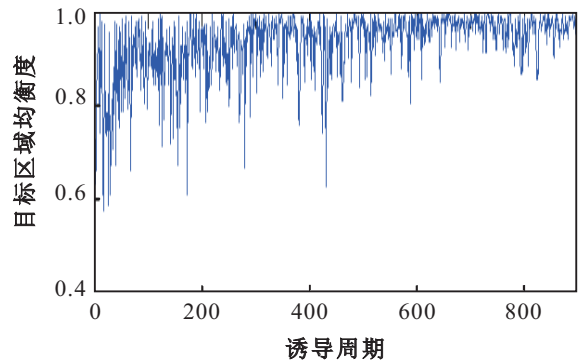


图4 实验3目标区域均衡度变化

### 5.3 仿真实验分析

1) 由表3可知, 在前300个周期内, 4次实验预测诱导转弯率与实际转弯率相差较大, 相对误差都达到20%以上. 这是因为对于每种诱导信息都有一个初始估计转弯率, 预测的诱导转弯率是在这个初始值基础上调整得到的, 需要一定的调整时间.

2) 由表3可知, 当  $N_g$  取4时, 随着诱导时间的推移, 预测诱导转弯率与实际转弯率的相对误差逐渐减小到接近10%, 且较为稳定, 表明本文设计的预测诱导车流转弯率的方法是有效的.

3) 由表3可知, 在本仿真实验条件下, 当  $N_g$  取4时, 预测诱导转弯率与实际转弯率最接近, 因而也能达到最好的诱导效果. 当  $N_g$  过小时, 因为该预测参考相同条件下的实际转弯率太小, 不具有全面代表性, 容易引起预测效果的波动; 当  $N_g$  过大时, 在预测转弯率时, 由于参考前面周期太多而涉及到的时间跨度太大, 交通流的特性发生了改变, 使得部分数据不具有参考价值, 尤其当交通流特性变化较快时, 预测

转弯率不能快速调整, 导致诱导信息不准确而影响诱导效果. 本仿真实验条件下, 推荐采用  $N_g = 4$  的方案, 但在实际条件下,  $N_g$  的取值应根据诱导单元涉及到的路段和诱导时段的交通流特性加以调整. 当交通流变化速度较快时, 可采用较小的  $N_g$ ; 当交通流较为平稳时, 则采用较大的  $N_g$ .

4) 由图 4 可知, 诱导系统是起作用的. 开始均衡度波动大; 随着时间的推移, 均衡度波动逐渐减小; 经过约 500 个诱导周期后, 系统进入较为稳定的运行区间, 均衡度高, 波动小, 诱导效果较为理想. 表明本文提出的智能交通系统诱导单元是有效的.

## 6 结 论

本文对 DRGS 诱导单元决策方法进行了研究. 通过仿真实验, 给出了该实验条件下推荐的参数取值方案, 表明了本文方法的有效性.

诱导系统中最复杂的问题是交通流的不可控性, 很难通过传统方法得到与交通流行为相关的各种数据, 如诱导服从率、诱导信息对交通流的影响范围等. 本文通过实际检测到的上一诱导周期交通流数据, 采用智能化的方法对诱导服从率进行处理, 将预测诱导服从率的过程看作一个“黑箱”, 通过调整交通流的构成比例来反映诱导服从率的变化, 取得了较好的效果. 这种智能化的方法不仅可以处理交通系统中的交通流问题, 而且对其他复杂系统, 如市场营销中客户购买行为问题、股票市场中投资者行为问题等都具有一定的参考价值.

## 参考文献(References)

- [1] Arnott R, De Palma A, Lindsey R. Does providing information to drivers reduce traffic congestion?[J]. *Transportation Research A*, 1991, 25A(5): 309-318.
- [2] Ben-Akiva M, De Palma A, Kayasi I. Dynamic network models and driver information systems[J]. *Transportation Research A*, 1991, 25(5): 251-266.
- [3] Karimi A, Hegyi A, De Schutter B, et al. Integrated model predictive control of dynamic route guidance information systems and ramp metering[C]. *Proc of the 7th Int IEEE Conf on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2004)*. Washington, 2004, 10: 491-496.
- [4] Yamashita T, Izumi K, Kurumatani K. Car navigation with route information sharing for improvement of traffic efficiency[C]. *Proc of the 7th Int IEEE Conf on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2004)*. Washington, 2004, 10: 465-470.
- [5] Wunderlich K E, Kaufman D E, Smith R L. Link travel time prediction for decentralized route guidance architectures[J]. *IEEE Trans on Intelligent Transportation Systems*, 2000, 1(1): 4-14.
- [6] Wu J H, Chen Y, Florian M. The continuous dynamic network loading problem: A mathematical formulation and solution method[J]. *Transportation Research B*, 1998, 32(3): 136-144.
- [7] Meneguzzer C. An equilibrium route choice model with explicit treatment of the effect of intersections[J]. *Transportation Research B*, 1995, 29B(5): 329-356.
- [8] Francesco Palolo Deflorio. Evaluation of a reactive dynamic route guidance strategy[J]. *Transportation Research C*, 2003, 11(5): 375-388.
- [9] 杨清华, 贺国光, 马寿锋. 对动态交通分配的反思[J]. *系统工程*, 2000, 18(1): 49-54.  
(Yang Q H, He G G, Ma S F. The opinion on dynamic traffic assignment[J]. *Systems Engineering*, 2000, 18(1): 49-54.)
- [10] Guo-guang He, Shou-feng Ma. AI-based dynamic route guidance strategy and its simulation[C]. *IEEE Intelligent Transportation System Conf Proc*. Oakland, 2001, 8: 25-29.
- [10] Luse D W. State-space realization of multiple-frequency-scale transfer matrices[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1988, 33(2): 185-187.
- [11] Iwasaki T, Hara S, Yamauchi H. Dynamical system design from a control perspective: Finite frequency positive-realness approach[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2003, 48(8): 1337-1354.
- [12] Iwasaki T, Hara S. Generalized KYP lemma: Unified frequency domain inequalities with design applications[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 2005, 50(1): 41-59.
- [13] Iwasaki T, Hara S, Fradkov A L. Time domain interpretations of frequency domain inequalities on (semi) finite ranges[J]. *Systems & Control Letters*, 2005, 54(5): 681-691.

(上接第714页)