

基于偏离指数的指路标志优化模型研究*

肖国荣, 余志, 黄敏
(中山大学智能交通研究中心, 广东 广州 510275)

摘要: 为了克服指路标志设置中过于依赖个人经验、以定性为主、定量为辅、局限于单个交叉口的设置与评价的缺陷, 从指路标志影响用户的路径选择及行驶阻抗这一角度出发, 采用偏离指数来衡量指路标志设置方案的合理性和有效性, 提出了一个可获得最优的指路标志设置方案的优化模型。模型充分考虑了各 OD 对的重要程度, 可用于指导实践中的指路标志设置, 以取得较好的指引效果。

关键词: 指路标志; 偏离指数; 交通分配; 优化模型

中图分类号: U491.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 01-0038-05

指路标志是传递道路方向、地点、距离信息的道路交通标志。目前, 国内外对指路标志的研究集中在标志的版面设计^[1-4], 指路标志布设研究相对较少且多以单个路段、交叉口为研究对象。李友钦^[5]结合图论、最优路径搜索优化指路标志设置, 根据单个交叉口情况判断交叉口前是否需要设置标志, 没有从路网整体的角度系统地考虑指路标志的设置, 也不能评价不同规划方案的优劣。黄海军等^[6]在线性成本函数的假设条件下, 研究了交通信息系统对交通行为的影响。Lam^[7]等为了评价利用可变信息标志的动态驾驶者信息系统的效果, 提出了与时间相关的交通分配模型。Toi^[8]等认为对路网不熟悉的驾驶者达到目的地的时间或距离服从某种概率分布, 利用概率分布图求得各个 OD 对之间的迷路指数, 然而实际路网情况复杂, 难以获得各个 OD 对的概率分布图和迷路指数。指路标志应能合理地诱导交通流, 减小路网的总体行驶阻抗。本文从这个角度出发, 定义了偏离指数, 并用之衡量在各种指路标志规划方案下, 对路网不熟悉的驾驶者偏离最优路径的程度, 建立了可求得使路网上所有驾驶者偏离最优路径程度最小的优化模型。

1 指路标志的指示内容

道路交通指路标志可分为对地点的标识和对道路标识。人们可能已经知道通过某条道路可到达其目的地, 其所需信息是如何到达该道路上。实际上, 人们最终想要到达的往往不是到达某条道路上

去, 而是通过哪些路径能够到达其目的地。本文所研究的模型主要应用于对地点的标识。如果某个路段上的交通量非常大, 起着交通集散作用, 可以把该路段的出入口视作交通量的起迄点, 当作地点来处理。

2 规划模型

2.1 路网

路网, 即道路网络, 现用图论中的有向图来表示。 $G = (N, A)$ 是有向图, N 是网络结点的集合, A 是网络有向弧 (即路段) 的集合, $a = (i, j)$ 表示弧段 a 是从结点 i 到结点 j 的有向弧段。 $N_i = \{j | j \in N \text{ 且 } (i, j) \in A\}$ 为结点 i 的邻近结点集。本文假设每对起点终点间只有一条有向弧段, 即两个相邻交叉口之间相同流向的路段只有一条。

本文把路网上交通的起迄点简化为路网上的结点, 并定义以下符号: R 为 OD 起点集, $R \subseteq N$; S 为 OD 迄点集, $S \subseteq N$; r 代表一个起始结点, $r \in R$; s 代表一个终迄结点, $s \in S$; W 为 $\{r-s\} \subseteq R \times S$, OD 对集合。

2.2 本文采用的其它符号

本文引进以下数学符号:

ξ_{lmj} ——如果在路段 (l, m) 上设立了标志牌, 指示行驶在弧段 (l, m) 上的用户经过下一弧段 (m, n) , 可到达地点 j , 则 $\xi_{lmj} = 1$, 反之, $\xi_{lmj} = 0$ 。显然, 当 $n \notin N_m$ 或 $j \notin S$ 时, $\xi_{lmj} = 0$ 。

X_{lm} —— $\lfloor \xi_{lmj} \rfloor$, 表示路段 (l, m) 上标志设

* 收稿日期: 2007-04-18

基金项目: 广东省科技厅智能交通重大专项项目 (4202007); 中山大学青年教师科研启动基金资助项目 (1131059, 1131029)

作者简介: 肖国荣 (1982年生), 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 余志; E-mail: cnjxgr@163.com

置方案。当 $X_{lm} = 0$ 时 (0 为零矩阵), 表示路段 (l, m) 上没有设置指路标志牌。

$X = \{\dots, X_{lm}, \dots\}$, 代表整个路网上的指路标志规划方案。

$$y_{lm} = \begin{cases} 0, & \sum_n \sum_j \xi_{lmnj} = 0, \text{ 即 } X_{lm} = 0 \\ 1, & \sum_n \sum_j \xi_{lmnj} > 0, \text{ 即 } X_{lm} \neq 0 \end{cases} \text{。 } y_{lm} \text{ 的含}$$

义是当 $y_{lm} = 1$, 路段 (l, m) 上设置了指路标志牌; 当 $y_{lm} = 0$, 不在路段 (l, m) 上设置标志牌。

c_{\min}^{rs} 为 OD 对 $r-s$ 间最优路径上的阻抗。如果不考虑交通流对路段阻抗的影响, 对于给定的路网, 给定的 $r-s$, c_{\min}^{rs} 为常数。

q_{rs} 为 OD 从起点 r 出发, 最终达到终点 s 的交通流量。

t_a 为路段的阻抗 (时间、距离等), $a \in A$ 。

$f_a^{rs}(X)$ 为规划方案 X 下, q_{rs} 分配在路段 a 上的交通流量。

w_{rs} 为 OD 对 $r-s$ 的权重系数, 用来衡量 OD 对 $r-s$ 的重要程度, $r-s$ 间的交通流量 q_{rs} 越大, 起始结点 r 和终点 s 的性质越重要, 则 w_{rs} 越大。

2.3 偏离指数

不熟悉路况的驾驶者遇到没有所需的指示信息的交叉路口时, 将根据自己的判断随机地选择下游路段, 存在着偏离最优路径的可能性; 如果交叉路口入口前设置了用户所需的指示信息, 则可减少用户选择最优路径的误差。为了用定量的方法评价指路标志系统的作用或效益, 本文采用偏离指数来衡量指路标志设置的合理性和有效性。指路标志系统设置的越合理、越完善, 则用户偏离最优路径的概率就越小, 偏离指数就越小, 指引效果越好, 反之偏离指数越大, 用户就越有可能偏离最优路径。如果两地之间的指路标志足够完备, 用户在指路标志的指引下, 可以沿着最优路径到达目的地而不偏离, 则偏离指数为零。本文采用的偏离指数 $H_{rs}(X)$ 定义如下:

$$H_{rs}(X) = \frac{\sum_{a \in A} t_a f_a^{rs}(X)}{c_{\min}^{rs} q_{rs}} - 1 \quad (1)$$

$H_{rs}(X)$ 即为在规划方案 X 下, OD 对 $r-s$ 间的偏离指数。要求出式 (1) 中的 $H_{rs}(X)$, 就必须获得 $\sum_{a \in A} t_a f_a^{rs}(X)$, 即必须已知在 X 下, 交通量 q_{rs} 是如何分配到各个路段 a 的。本文假定出行者不是在起点 r 就选择好路径, 而是在出行过程遇到的每一个结点都做一次路径选择, 即真正选择的不是路径, 而是下一个邻接路段。若交叉路口入口处设有指路信息, 则出行者可以根据指路标志, 选择标志指

引的路径; 如果没有指路信息, 则出行者会根据自己的主观判断, 选择其认为最优的下游路段, 路径的选择服从一定的概率分布。

在本文的示例中, 若结点前没有指引信息, 采取 Logit 分配模型将流量分配到下游路段。在图 1 所示的交通网络, 图中边上的数值表示路段的交通阻抗, 节点 1 到节点 16 的最短路径为 $1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 12 \rightarrow 16$, 最短路径阻抗 $c_{\min}^{1,16} = 9$ 。Dail 算法假定出行者不是在起点就决定选择哪条路径, 而是在出行的每个节点都做一次路径选择, 这恰好符合上面的假定^[9]。当全路网上都未设置指路标志时, 采用 Dail 算法分配流量, 可得 OD 对 $1-16$ 在各个路段上的分配的流量 (假定 $q_{1,16} = 1000$), 见图 2, 各个路段上的流量分配在下游路段的比例系数见图 3, 此时偏离指数 $H_{1,16}(X) = \frac{9883}{9 \times 1000} - 1 = 0.098$ 。

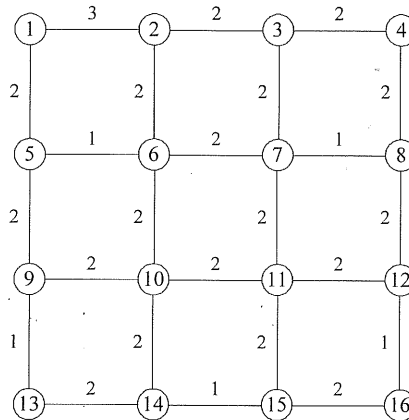


图 1 示例网络

Fig. 1 Network of the example

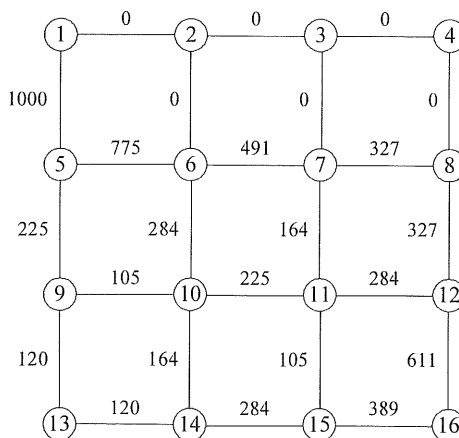


图 2 全路网上未设指路标志时, 路段上的流量
Fig. 2 Traffic Count when no guide signs installed

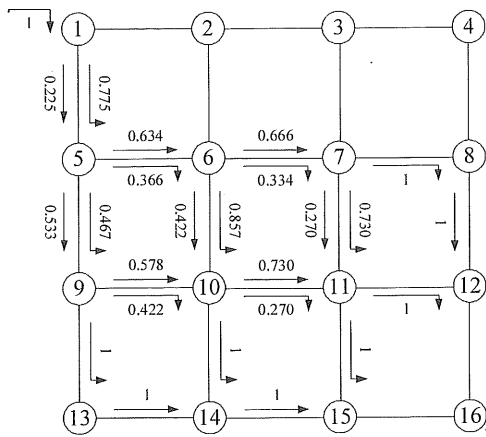


图 3 全网络上未设指路标志时, 路段流量分配到下游路段的比例系数

Fig. 3 Proportion of traffic count assigned to the network when no guide signs installed

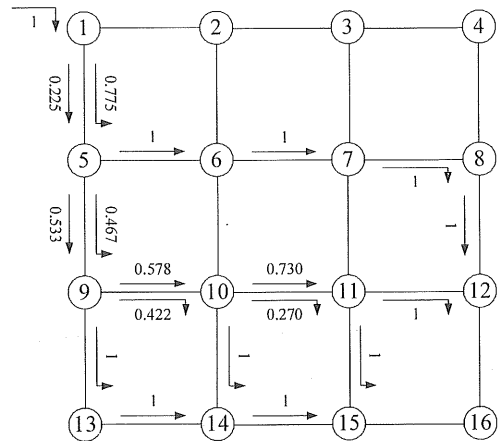


图 5 $\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1$ 时, 路段流量分配到下游路段的比例系数

Fig. 5 Proportion of traffic count assigned to the network when $\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1$

如果在路段 (5, 6) 和 (6, 7) 上设置指路标志上指示最短路径方向, 即令 $\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1$, 其余 $\xi_{lmnj} = 0$, 则路段 (5, 6) 上的流量全部分配到路段 (6, 7), 路段 (6, 7) 上的流量全部分配到路段 (7, 8), $q_{1,16}$ 分配在各个路段的流量见图 4, 各个路段上的流量分配到下游路段的比例系数见图 5, 此时偏离指数 $H_{1,16}(X) = \frac{9\ 347}{9 \times 1\ 000} - 1 = 0.039$ 。

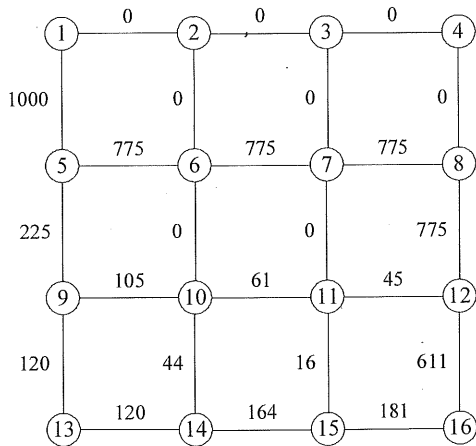


图 4 $\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1$ 时, 路段上的流量
Fig. 4 Traffic count when $\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1$

根据 $H_{rs}(X)$ 的定义, 我们采用如下优化模型:

$$\min Z = \sum_{r-s \in W} w_{rs} H_{rs}(X) \quad (2)$$

$$s. t. \sum_j \xi_{lmnj} \leq n_a \quad (3)$$

$$\sum_l \sum_m y_{lm} \leq n_s \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N_m} \xi_{lmnj} \leq 1 \quad (5)$$

模型中的 n_a, n_s 为事先确定的常量。模型的目标函数 (2) 表示模型要求解使路网的所有 OD 对间的偏离指数之和最小的指路标志设置方案; 路标牌的面积有限, 指路标志牌上显示的内容过多时, 会造成严重的信息过载, 反而导致指路标志不能较好地实现其诱导功能^[10-11]。因此, 在各个指示方向上, 标志牌上所提供的信息数, 即指示的地点数目应有所限制, 式 (3) 保证标志牌上任意指示方向所显示的信息数不超过 n_a, n_a 通常不大于 2; 标志建设资金往往有限, 难以在每个路段都设立路标牌, 式 (4) 保证路网上设置的路标牌总数不超过上限 n_s ; 式 (5) 保证在标志牌最多只能为被指示地点 j 指示一个方向, 路标牌最多只能为被指引的地点提供一条路径, 若多于一条, 用户看到标志牌时将无所适从, 不知道到底哪条路径才是正确的方向。

模型所提出的问题实际上是 0-1 规划问题, 计算时可采用 0-1 规划理论中的相关方法来求解。分配流量时根据交叉口有无设置指路标志来分配, 如果某个交叉口设立了指路标志对某个地点进行指引, 则采取“全有全无分配”法, 将所有去往该地点的交通流量分配到标志指引的下游邻接路段上; 若交叉口没有指引信息, 则采取多路径分配方

2.4 优化模型

设立指路标志的主要目的是指导用户选择最优的路径 (时间、距离或费用最小) 到达目的地, 并减小用户偏离最优路径的可能性。本文所提出的优化模型即着眼于建立指路标志系统, 使得在该系统的指引下, 所有用户行驶在路网上的偏离指数之和最小。

法将交通量随机分配到下游邻接路段上。求解模型时可枚举所有可选方案进行计算、对比，以求出函数值最小的方案。

3 计算示例

计算示例为 4×4 的棋盘状双向道路网，其路网结构如图 1 所示。示例计算 1-16、9-4、14-3 三个 OD 对的偏离指数，并假定 3 个 OD 对的流量均为 1 000，权重系数均取 1，路标牌上任意指示方向最多显示两个地名，即 $n_a = 2$ 。分配流量时，若交叉口入口处设有指路信息，将所有的交通量分配到路标指引的路段上；若没有指示信息，则采取阻抗为常数的 Logit 型多路径分配方法分配流量。示例分别计算了不设立标志牌、设立 1 个以及 2 个标志牌的标志最优规划方案，计算结果见表 1。

从示例可以看出，设置了路标时比不设路标时，用户偏离最优路径的程度更小。当 $n_s = 1$ 时，如果在路段 (13, 9) 上设置指路标志指示用户通过路段 (9, 5) 到达目的地 4，即令 $\xi_{13,9,5,4} = 1$ ，则 $H_{9-4}(X) = 0.053$ ，OD 对 9-4 间的偏离指数最小，但 $Z = 0.158 > 0.107$ ，即整个路网的偏离指数之和不是最小。

表 1 示例计算结果

Tab. 1 Calculation results of the example

n_s	最优规划方案 ($n_a = 2$)	$H_{1-16}(X)$	$H_{9-4}(X)$	$H_{14-3}(X)$	Σ
$n_s = 0$	$X = 0$	0.098	0.099	0.007	0.205
$n_s = 1$	$\xi_{6,7,8,16} = 1, \xi_{6,7,8,4} = 1,$ $\xi_{6,7,3,3} = 1$	0.075	0.077	0.007	0.160
	$\xi_{5,6,7,16} = 1, \xi_{5,6,7,4} = 1,$				
$n_s = 2$	$\xi_{5,6,2,3} = 1, \xi_{6,7,8,16} = 1,$ $\xi_{6,7,8,4} = 1, \xi_{6,7,3,3} = 1,$	0.039	0.061	0.007	0.107

4 讨论

国内外各地在设置指路标志的实践中，积累了大量的经验，但是没有研究如何系统地布设标志，实际建设中可能考虑过路网的结构、被指引的地点的情况等因素，但过于依赖道路交通标志建设者个人对路网、交通问题等的理解能力，随意性大，随机性强，以定性为主，定量为辅，少数定量的规划

方法也往往局限于单个交叉口的设置与评价。为了克服这些缺陷，定量地评价指路标志规划方案的效果，本文采用偏离指数来衡量各种方案设计的合理性和有效性，并提出了一个可获得最优的指路标志设置方案的优化模型。

参考文献：

- [1] HUGHES P K, COLE B L. What attracts attention when driving [J]. Ergonomics, 1986, 29(3): 377-391.
- [2] Ells J G, Dewar R E. Rapid comprehension of verbal and symbolic traffic sign message [J]. Human Factors, 1979, 21: 161-168.
- [3] SPERBER R D, MCCAULEY C, RAGAIN R D, et al. Semantic priming effects on picture and word processing [J]. Memory and Cognition, 1979, 7: 339-345.
- [4] YOUNG S L, WOGALTER M S. Comprehension and memory of instruction manual warnings conspicuous print and pictorial icons [J]. Human Factors 1990, 32: 637-649.
- [5] 李友钦. 城镇指示标志布设之研究[D]. 硕士学位论文. 台北:淡江大学,1997.
- [6] 黄海军,吴文祥. 交通信息对交通行为影响的评价模型[J]. 系统工程理论与实践,2002, 10: 81-83.
- [7] HUAN H J, WU W P. Models for evaluating impacts by travel information systems on travel behavior[J]. Systems Engineering-theory & practice,2002,10:81-83.
- [8] LAM W, CHAN K S. A model for assessing the effects of dynamic travel time information via variable message signs [J]. Transportation, 2001, 28: 79-99.
- [9] TOI S, KIYOTA M T, YOSHITAKE T et al. A Method for planning of road sign system in highway using straying index [J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6: 981-996.
- [10] DIAL R B. A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration [J]. Transportation Research, 1971, 5: 83-111.
- [11] LIU Y C. A simulated study on the effects of information volume on traffic signs [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2005, in press.
- [12] WICKENS C D. Engineering Psychology and Human Performance [M]. New York: Harper Collins Publishers, 1992.

(下转第 46 页)

- information from loop detector[J]. East China Highway, 2006(1):4-6.
- [13] MUSSA Renatus N. Evaluation of driver-based freeway incident detection[C]. ITE Journal, March 1997:33-40.
- [14] STEPHANEDES Yorgos J, LIU Xiao. Artificial neural networks for freeway incident detection[C]. Transportation Research Record 1494 TRB. Washington D C; National Research Council, 1995:91-97.

Analyse of Automatic Incident Detection Algorithm for Urban Road

QUAN Hong-bo, CHEN Rui-xiang

(Research Centre of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Compared with expressway, most of the traffic flow in urban road network can be denoted as interrupted traffic flow. Based on the currently employed equipment for traffic flow collection and traffic signal control in urban roads, different types of traffic flow in urban roads is analysed with the traffic flow arrival/departure model in transportation engineering. Mathematical models complying with traffic flow changes are utilized to match the traffic flow in both entry and exit road blocks, thus enabling the automatic detection of traffic incident. This algorithm serves as a measure for the automatic judgement of urban road congestion and the expansional utility of intelligent transportation facilities in urban areas.

Key words: urban road; incident detection; arriving/departing function; delay



(上接第 41 页)

Research on Optimization Model for Guide Sign Planning Based on Straying Index

XIAO Guo-rong, YU Zhi, HUANG Min

(Research Centre of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Straying index was adopted to evaluate quantitatively the effect of planning scheme of guide sign's installation to reduce the cost of transportation, help road users make better route choice, and improve the conditions that guide sign planning in the past was done qualitatively more than quantitatively, limited to single junction and subject to individual experience of the planner. An optimization model considering the weightiness of different OD pairs was also proposed to get the optimum road sign planning scheme. Application shows that the planning scheme provided by the model was able to give more effective guidance information to road users.

Key words: guide sign; straying index; traffic assignment; optimization model