

文章编号: 1673-4874(2010)04-0092-004

基于图论的交通检测器新型布设方法

王彦杰, 李文勇

(桂林电子科技大学机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 文章以相关有向环图的结论为基础, 建立了一种能够获取路网上各路段的流量的检测器布设方法。该方法首先通过模糊综合评价方法确定优先顺序集合, 从而在有向环上选取最优的弧进行检测器布设。该方法具有弧的选择指导性强、能充分考虑交通系统中每条路线内部的交通状况等优点。

关键词: 有向环图; 流量检测器布设; 模糊综合评价方法

中图分类号: U491

文献标识码: A

Designing Traffic Detector Placement Method Based on Graph Theory

WANG Yan-jie, LI Wen-yong

(Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi, 541004)

Abstract: Based on some conclusions of directed circle, a detector placement method that can get segment volume on-line is established. This method first determines priority in the collection through fuzzy evaluation, in order to select the optimal arc in directed circle. In addition, this method has arc directivity, and can take full account of advantages of every segments in transportation system.

Key Words: Directed circle; Volume detector placement; Fuzzy and comprehensive evaluation method

作者简介

王彦杰(1984—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为智能交通系统; 李文勇(1976—), 男, 副教授, 主要研究方向为智能交通系统; 杨波(1983—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为智能交通系统。

0 引言

图论广泛应用于实际生活、生产和科学研究中。交通中的许多问题都可以用图论来解决, 如路网规划、最短路径、物流选址与配送、交通网络的合理分布等。美国德州大学的 Gu^[1]等人运用图论方法研究交通检测器的布点问题。其基本思想为将交通网络看成一个图, 检测点分布问题可看作从图 $G=(V, E)$ 中找到一个最小边控制集。当图 G 中的任意一条边的流量可完全由边集 $E'(E' \subseteq E)$ 决定, 则定义 E' 为 G 的一个边控制集; 如果 $|E'|$ 是 G 的所有边控

制集中数目最少的,则称边控制集 E' 是最小的。该算法存在两点不足:(1)对于 e 的选择缺乏指导性策略,确定 $C_H(e)$ 本身需要复杂的算法;(2)由于实际交通系统中每一条边内部会有许多交通产生点和吸收点,使得该方法的基本假设不成立。

本文的目标是建立一种能够获取路网上各路段流量的检测器布置方法,其研究基于 Gu^[1] 等人得到的关于有向环图的结论:首先对 Gu 等人的方法进行完善,提出具体的执行步骤,并设计用于快速判断任意有向边(也称为弧)是否在有向环上的算法,其次研究任意路网中如何按照图论方法进行检测器布点的问题。

1 基于图论的交通检测器布设方法

将任意有向图 G 中属于完全有向回路图的最大子图当成一个大结点 V_c ,那么图 G 变成一个有向无环图(Directed Acyclic Graph, 简称为 DAG)。 V_c 中任意两结点不一定具有连通关系,为保证完全有向回路图具有完全的确定关系,规定凡与 V_c 直接相连的弧必须选取进行检测器设置。

DAG 中对于不在有向环上的弧(虚拟边不考虑的话,此类弧在实际路网中并不多见,多为城市进出通道,而城市路网一般均处于有向环路上),我们仍按弧的权重的大小来确定优先选取级别,当然还有一个必要的假设就是流入流量与流出流量相等^[2]。以 $Q^+(e, v)$ 表示 v 从弧 e 流出的流量, $Q^-(e, v)$ 表示弧流入的流量,则:

$$\sum Q^+(v) = \sum Q^-(v) \quad (1)$$

至此,对于任意有向图 G ,确定哪些弧应该设置检测器的算法步骤如下:

(1)第 1 步,计算图 G 中 V 的所有元素的权重,并按照权重从大到小重新排列 E 的元素,记为 $\{e_i\}$ 。

(2)第 2 步,按照表 1 介绍的算法^[3],从图 G 中得到最大完全有向回路图 G_c 。

(3)第 3 步,令 $E' = \phi, H = G_c$ 。

(4)第 4 步,循环:当 $E(H) \neq \phi$,则按照在 E_d

中的先后顺序选择一条边 $e \in E(H)$,使得 $E' = E' \cup \{e\}, H = H - C_H(e)$,其中 $C_H(e)$ 可按表 1 的算法确定。

表 1 弧分类算法表

int arc[n];
int arc_r[];
int arc_n[];
int t = 0;
Node * t;
bool get;
do while(t < n)
j = 0;
t = arc[j]. p2;
get = FALSE;
do
if(t == arc[j]. p1)
找到一个环,将环上的每条弧记入 arc_r 中,修改 arc[], t 和 i 值, get = TRUE,退出里层 do-while
if(t != arc[j]. p1)
if(可以继续搜索)
t 往下(还没搜索过的下一层节点)
else
t 往上
if (! get)
将 arc[j] 放入 arc_n[] 中,修改 arc[], t 和 i 值
while(t != arc[j]. p1)

(5)第 5 步,令 $E_o = E - E_{G_c}$ 代表图 G 中不在 G_c 中的弧的集合。对于所有与 G_c 直接相交的弧的集合 E_{G_c} ,令 $E' = E' \cup E_{G_c}$,使 $E_o = E_o - E_{G_c}$,并令 $E_g = E - E_o$ 代表能确定流量(通过检测或推算)的弧集。

(6)第 6 步,若 $E_g = E$,结束算法。否则循环:当 $E_o \neq \phi$,在 E_o 中按照优先顺序遍历所有弧,依据式(1)判断是否有弧能够由 E_g 确定,若有,修改 E_o, E_g ,继续执行第 6 步,若无,转到下一步。

(7)第 7 步,当 $E_o \neq \phi$,在 E_o 中寻找优先级最高的弧 e ,令 $E' = E' \cup \{e\}$,修改 E_o, E_g ,退到第 6 步。

算法的最终目标是 $E_g = E$,使得路网中任意路段的流量均能确定;而搜索的方法是寻找 E' ,得到检测器布点方案。

2 弧权重的确定

这里的弧就是路网中的路段,弧的权重必须考虑更多的条件。

基于交通检测器优化布设的路段权重确定,要考虑与之相关的一系列因数,有道路等级、拓扑结构、交通控制或者诱导方案、交通环境、特殊用途等因数。本文把路段的权重分为五级,根据路段的重要程度有高到低,其权重分别记为 5、4、3、2、1。具体由各个城市交通、公安等部门的专家,管理人员、技术人员以及驾驶员等协商,由模糊综合评价方法确定。

2.1 权重确定的原则

(1)在一定要设置且只有一定要设置检测点的路段上,该路段的权重记为 5。原因是由于交通控制或诱导方案,在城区出入口一定要检测出入口交通流量等;

(2)城市道路类型有快速路、主干道、次干道、支路等,随着道路等级的降低,其权重确定也由高到低;

(3)道路交通状况,根据道路不同时段交通流平均饱和度由高到低,其权重确定也由高到低;

(4)周边环境,根据道路所处的地方离城市中心区距离的远近或者路段周边繁华程度,其权重确定也由高到低;

(5)在各个城市,具体情况千差万别,路段权重的确定也要根据实际情况考虑其它必要的因素;

(6)如果五级权重不够用,也可以灵活的提高到六级、七级或者十级等,当然最高级一定是要设置且只有一定要设置检测点的路段的权重。

2.2 确定路段权重的模糊综合评价方法

以共有 6 级权重为例,由于最高级 6 级为一定要设置且只有一定要设置检测点的路段,由上述原则 1 惟一确定,剩下的 5 级用模糊综合评价方法确定。

下面结合文献[4]、[5],用模糊数学语言描述如下:

等级论域 $V = \{\text{路段权重等级}\}$

等级论域 V 上的 5 个模糊集构成标准模型库,其中

$\{V_1(\text{等级 } 5), V_2(\text{等级 } 4), V_3(\text{等级 } 3), V_4(\text{等级 } 2), V_5(\text{等级 } 1)\}$

效果判别因子论域 U ,选取以下道路指标判别

因子来描述路段权重等级:

道路等级 U_1 ,交通状况 U_2 ,周边环境 U_3 ,其它因素 U_4

$$U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$$

$$A^T = \frac{u_1}{U_1} + \frac{u_2}{U_2} + \frac{u_3}{U_3} + \frac{u_4}{U_4} \quad (2)$$

其中: u_1, u_2, u_3, u_4 分别是判别因子 U_1, U_2, U_3, U_4 的隶属度,就是分别考虑这些判别因子对效果等级所起作用的大小权重。

论域的模糊子集为

$$B^T = \frac{v_1}{V_1} + \frac{v_2}{V_2} + \frac{v_3}{V_3} + \frac{v_4}{V_4} + \frac{v_5}{V_5} \quad (3)$$

式中: v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 分别为判别等级 V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 的隶属度,具有关系 $\sum_{j=1}^5 V_{ij} = 1$ 即所求的结果。

在 u 与 v 之间存在一种模糊关系,这种模糊关系用矩阵 $R_{4 \times 5}$ 来表示,则 $R_{4 \times 5} = u_R(u_1, v_j)$ 。

对于每一条路段,为了求得模糊关系矩阵 R ,通过给城市交通、公安等部门的专家,管理人员、技术人员以及驾驶员等发放表格,最后统计该路段的 4 个道路指标判别因子 U_i 在 5 个权重等级上所占百分率(用小数表示),评判调查表格实例^[5]如表 2 所示,即得到模糊关系矩阵 R 。

$$B^T = A^T \times R = (u_1, u_2, u_3, u_4) \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \end{bmatrix} = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) \quad (4)$$

由公式(4)计算,即求得此路段在 5 个权重等级上的隶属度, $V_j (1 \leq j \leq 5)$ 中最大的数对应的权重等级即为此路段的权重等级。

表 2 路段权重评判调查表

因素	等级				
	5 (V_1)	4 (V_2)	3 (V_3)	2 (V_4)	1 (V_5)
道路等级(U_1)	0.27	0.30	0.27	0.16	0.00
交通状况(U_2)	0.06	0.12	0.18	0.43	0.21
周边环境(U_3)	0.03	0.17	0.64	0.15	0.01
其他因素(U_4)	0.07	0.20	0.49	0.20	0.04

3 算例

对于某路网,如图 1(a)所示:(1) $e_0 \sim e_8$ 为主干道,其他路段的为次干道;(2) $e_0 \sim e_{10}$ 交通流量较大, $e_{11} \sim e_{16}$ 交通流量适中, $e_{17} \sim e_{19}$ 交通流量较小;(3) $e_0, e_1, e_8, e_7, e_{12}, e_2, e_{14}, e_{11}, e_{16}, e_{10}, e_{15}, e_9$ 在路网中心区域,其他路段在路网边缘区域;(4)这里不考虑其他因素。寻找其检测器布置方案。

由以上条件结合表 2 权重评判调查表,分别计算各个路段的权重: $e_0 \sim e_8$ 权重为 5; $e_9 \sim e_{11}$ 权重为 4; $e_{12} \sim e_{16}$ 权重为 3; $e_{17} \sim e_{19}$ 权重为 2。

按照上文介绍的算法,将步骤图形化,如图 1(b)~(f)所示。

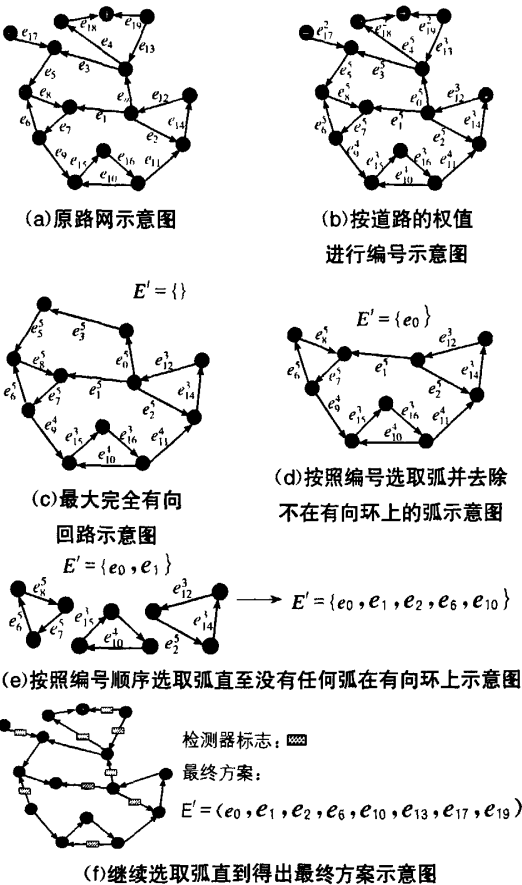


图 1 检测器布点的算法过程图

4 结语

由结果可知,在 20 条弧组成的路网中,选取 9 条弧设置检测器就可以获取整个路网的流量信息;而其中由 15 条弧组成的最大完全有向回路图中,只需要选取 5 条弧,可见完全有向回路图在检测器设置中具有一定的优势。实际路网中,数量众多的城市道路可以组成完全有向回路图,而连接城市路网的高速公路、普通公路虽不在有向回路中,但数量较少。

本算法考虑较为全面,在优先顺序上更考虑了道路等级、交通状况等条件进行迭代计算,算法具有较高的实用性和鲁棒性。同时,存在一些待完善之处:(1)交通流量复杂的时空变化情况(也即路段内的流量不均匀分布);(2)检测器的类型组合^[6]决定了数据采集的效果,而不同应用目的下的检测器组合、布点方式都不同。将多种因素考虑进去的路网检测器布点方法是交通参数获取技术的重要组成部分,是交通工程领域的重要研究方向。●

参考文献

- [1] Gu W. Z., Jia X. D., On a Traffic Control Problem [C]. Proceedings of the 8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks, 2005; 1-6.
- [2] Ito T., Yamada K., Nishioka K., Preceding Vehicle Recognition Algorithm Using Fusion of Laser Radar and Image Processing [C]. Proceedings of Intelligent Vehicles'93 Symposium, 1993; 420-425.
- [3] 储浩, 杨晓光, 李克平, 等. 基于行程时间估计的快速路检测器布设密度优化方法研究 [J]. 公路交通科技, 2006, 23(5): 84-87.
- [4] Kevin M. Passino, Stephen. Fuzzy Control 模糊控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001; 114-126.
- [5] 彭祖赠, 孙锡玉. 模糊 (Fuzzy) 数学及其应用 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002; 122-142.
- [6] 伍建国, 王峰. 城市道路交通数据采集系统检测器优化布设 [J]. 公路交通科技, 2004, 2(14): 88-91, 98.

收稿日期: 2009-10-06

项目资助: 国家自然科学基金(50808050)资助