

Study on Sub-Area Division Strategy of Urban Road Traffic Control

Cuijiao Chen, Liangzhi Zhang*

Shandong Jiaotong University, Ji'nan Shandong
Email: *294675389@qq.com

Received: Sep. 6th, 2018; accepted: Sep. 20th, 2018; published: Sep. 27th, 2018

Abstract

Because of the complexity, randomness and dynamics of the urban road system, it is obviously unrealistic to unify the traffic guidance and control of the whole road network. Therefore, in order to achieve effective traffic guidance and control, the whole traffic network system should be zoned according to the development of urban space and function. The paper expounds the present research situation of traffic control sub-area division by static and dynamic methods and points out the shortcomings, gives the principle of dividing the traffic control sub-area according to the node state, and designs traffic control cell partition algorithm in detail. Finally, the standard test network Sioux Falls network is used to verify the partitioning algorithm. Case analysis shows that the algorithm can achieve effective traffic guidance and control, and alleviate traffic congestion.

Keywords

Traffic Control Sub-Area Division, Partition Algorithm, Traffic Guidance and Control

城市道路交通控制子区划分策略研究

陈翠娇, 张良智*

山东交通学院, 山东 济南
Email: *294675389@qq.com

收稿日期: 2018年9月6日; 录用日期: 2018年9月20日; 发布日期: 2018年9月27日

摘要

由于城市道路系统的复杂性、随机性、动态性等特点, 对整个路网进行统一的交通诱导与控制显然是不

*通讯作者。

现实的。因此要实现有效的交通诱导与控制, 应该根据城市空间和功能的发展变化来对整个交通网络系统进行分区。本文从静态方法、动态方法阐述了交通控制子区划分的研究现状并指明其中存在的不足, 给出了根据节点状态进行交通控制子区划分的原则, 详细设计交通控制子区划分算法。最后运用标准测试网络Sioux Falls网络对划分算法进行验证。实例分析表明, 该算法能够实现有效的交通诱导与控制, 缓解交通拥堵。

关键词

交通控制子区划分, 划分算法, 交通诱导与控制

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着汽车保有量的急剧增加, 在大城市尤其是特大城市对几百个甚至上千个交叉口的路网进行信号控制时, 经常将路网划分成多个相互独立的区域, 每个区域包含 1 个或者相邻的多个交叉口, 即交通控制子区。当控制子区从出行活动性质、行政区域功能、地形地貌等方面考虑时, 子区在长时段内是无变化的。在城市交通诱导与控制领域, 由于交通流状态变化具有复杂性、随机性和动态性, 所以将整个路网分解成多个交通控制子区进行分别诱导与控制是当今社会发展的必然趋势。SCOOT 和 SCATS 系统作为非常典型的城市交通控制系统, 从控制子区的角度出发建立交通模型, 进而对路网进行整体优化, 取得了较好的成果。

1971 年, 美国学者 Walinchus 首次给出交通控制小区的定义[1]。Yagoda 等学者从数学建模的角度考虑, 对子区划分的控制指标、控制阈值和划分算法进行了深入研究, 但最后并没有得出具体的子区划分方法[2]。由于早期的子区划分方法一般使用静态方法划分, 以路网的物理特征作为划分依据, 所以不能适应目前复杂的动态交通变化需求。为了找到与目前复杂交通系统中交通诱导与控制相匹配的子区划分方法, 于是开始着眼于动态角度研究。王学堂把区域复杂系统分解为几个简单系统, 对各个子系统进行研究[3]。高云峰、杨晓光等主要考虑物理关联和路径关联等原则, 对交叉口群的划分方法进行了研究, 把交叉口间的关联性作为划分交叉口群的依据[4]。这些子区划分方法的是基于常态条件下的交通控制, 对非常态交通条件下的交通控制子区的划分方法并没有深入研究。除此以外, 王薇还从诱导角度出发, 讨论了基于网络平衡的大范围交通流动态管理, 她提到为解决计算效率瓶颈问题, 应对路网进行有效划分, 提出了在路网诱导层面划分诱导子区的解决思路[5]。

上述交通控制子区的划分方法, 有些只是给出了划分的原则, 没有给出具体的计算步骤, 有些是静态方法, 虽然相对较为简单, 计算量不大, 但考虑到交通状态的瞬息万变, 这些方法在复杂的城市交通系统中不实用。有些方法虽然是动态计算的, 但没有考虑到针对区域交通状态进行量化分析, 没有建立不同路口、路段的状态连通矩阵, 因此交通控制小区的划分也有一定的局限性。

2. 交通控制子区划分原则

交通控制的路口节点虽地域范围小, 但却是交通瓶颈, 直接影响道路状态, 是控制策略实施的主要场所, 因此根据节点状态进行交通控制子区划分。交通状态是时空连续变量, 控制子区也是动态划分的。

交通优化控制的目标在于最大程度地发挥交通系统的作用, 将车辆尽量均衡分布在所有路口和路段上, 避免局部拥挤, 因此交通拥挤的路口群成为控制实施的重点。为保证控制子区内各路口间能够协调控制, 疏导拥挤交通流, 将拥挤区域与邻近稀疏路口划为同一子区, 便于路口间信号协同配时[6]。

基于上述思想, 划分原则如下:

1) 中心关键 - 周边疏通原则

以可达值最低的一个或几个相邻路口为关键节点, 紧邻的周边路口为疏通节点, 划为一个控制子区;

2) 拥挤低谷点作边界原则

以两个子区节点的集合中, 可达值最大的点为控制子区边界, 边界的低谷点为中心的关键路口服务, 类似原理如图 1 所示;

3) 交通状态相似原则

根据城市规模等级, 在一定的道路拥挤度 λ 下, 若两相邻路口的状态连通值为 0, 则该两节点划为同一子区集合;

4) 距离范围为上限原则

考虑到路口距离较远时, 实施信号相位协同效果不明显, 因此子区集合内的节点限定在直线方向上 1000 米范围内。

3. 交通控制子区划分算法

根据上述原则, 设计在某考察时刻交通控制子区划分算法, 为表达方便, 绘制算法流程分为两个部分, 主算法流程如图 2 所示, 子算法流程如图 3 所示。具体算法过程如下:

Step 1: 初始化: 建立集合 M , 元素为所有路段交叉口节点; 建立若干集合 M_i , 设置为空集, 算法结束后 M_i 为第 i 个小区的节点集合; 设 $s = 0$;

Step 2: 计算所有节点 $j(j=1 \cdots m, j \in N)$ 的可达值 $Q(i)$, 所有链路 l_{ij} 的路段交通状态系数 r_{ij} ;

Step 3: 新建集合 T , 将所有 $Q(i)$ 按照从小到大排序, 并依序置入集合 T ;

Step 4: 从 T 中依序取出 $Q(i)$, 进行以下操作:

1) 判断是否满足 $C_{ij}(\lambda_r) = 0$ 且 $c_{ij}(\lambda_r) = 0$, 若不满足, 结束 Step 4, 否则转(2);

2) 判断是否满足 $i \in M, j \in M$, 若不满足, 转(3), 否则: 节点 i, j 置入新建集合 M_s 中, 同时从集合 M 中删除, 即 $s = s + 1, M_s = \{i, j\}, M = M - \{i, j\}$; 并结束 Step 4;

3) 判断是否满足 $i \in M, j \in M_q$, 若满足, 转(4), 否则, 转(6);

4) 判断若节点 i 加入到结合 M_q , 则 M_q 最大跨距是否大于 1000 米, 若是, 则转(5), 否则结束 Step 4;

5) 判断是否满足 $p_i > p_k, \forall k \in M_q$, 若满足, 则节点 i 加入到集合 M_q , 集合 M 中删除节点 i ; 否则, $s = s + 1, M_s = \{i, j\}, M_q = M_q - \{j\}$; 完成后结束 Step 4;

6) 判断是否满足 $i \in M_a, j \in M_b$, 若是, 转(7), 否则, 结束 Step 4;

7) 判断若 M_a 与 M_b 合并, 合并后最大跨距是否小于 1000 米, 若是则转(8), 否则结束 Step 4;

8) 判断对任意 $x \in M_a, y \in M_b$, 是否有 $p_x \leq p_y$ 成立, 若是, 则 $M_a = M_a \cup M_b$, 结束 Step 4; 否则, 转(9);

9) 排序比较, 确定 M_a 中关键路口 c_a , M_b 中关键路口 c_b ; 判断 c_a 与 c_b 的距离是否小于 1000 米, 若是则转(10), 否则结束 Step 4;

10) 判断是否满足 $p_a < p_b$, 若是, 则 $M_b = M_a \cup M_b$, 否则 $M_a = M_a \cup M_b$ 。

Step 5: 判断集合 T 是否清空, 若是, 转 Step 6, 否则转 Step 4;

Step 6: 对 M 中剩余的元素 i , 进行操作: 新建集合 M_s , 将 i 置入 M_s , 同时从 M 中删除节点 i , 即 $s = s + 1, M_s = \{i\}, M = M - \{i\}$;

Step 7: 算法结束。

算法中集合的最大跨距, 表示集合中的所有节点, 在任意方向上的最远距离。集合中的节点, 取通行度最小的节点作为关键路口。

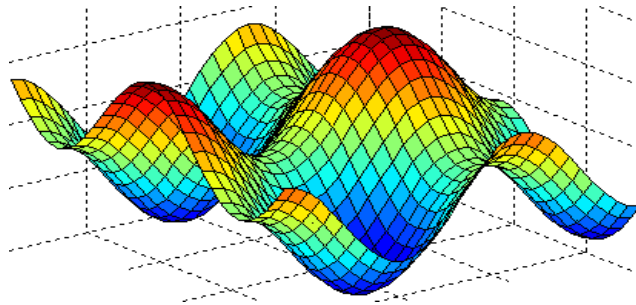


Figure 1. Graph of peak-trough
图 1. 峰值 - 低谷示意图

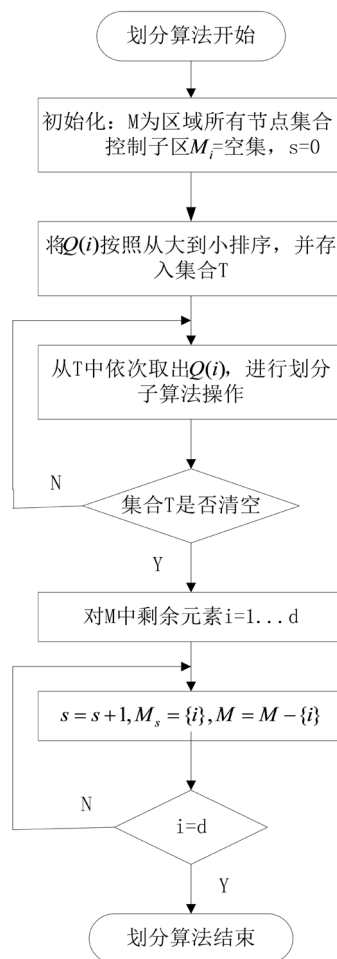


Figure 2. Control subarea division main algorithm flow
图 2. 控制子区划分主算法流程

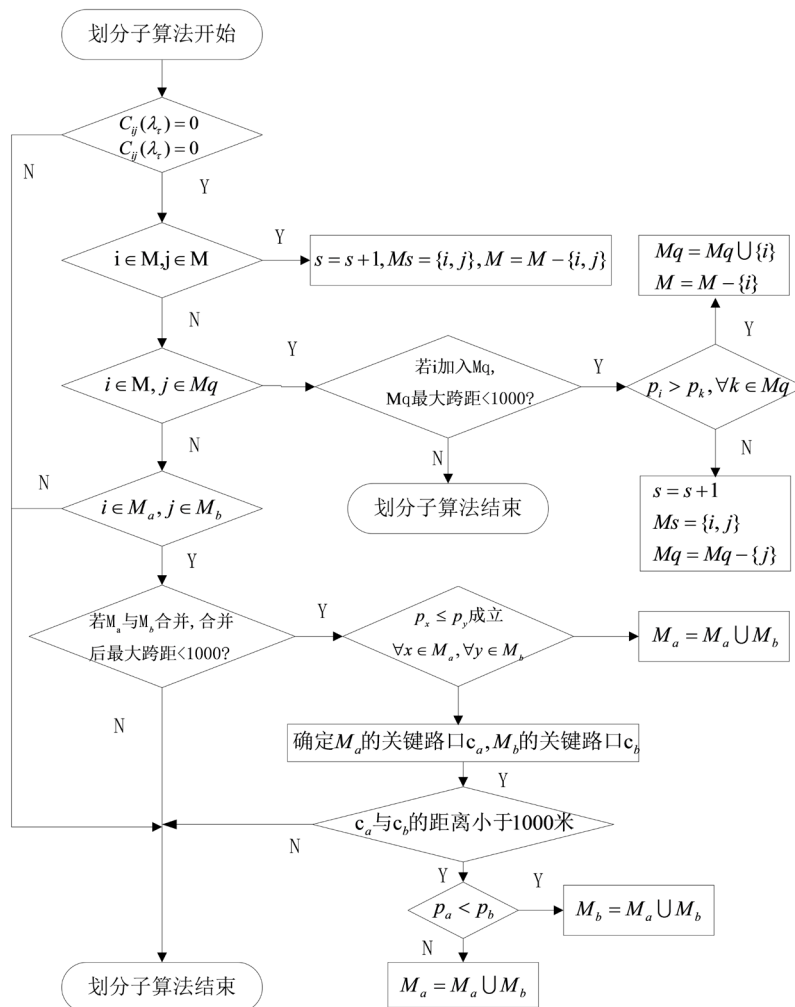


Figure 3. Control subarea division sub-algorithms flow
图 3. 控制子区划分子算法流程

4. 实例分析

为验证上述模型和算法，本文对通用的标准测试网络 Sioux Falls 网络进行优化计算，运算结束将结果以图形化输出。

图 4 中圆圈代表交叉口，相邻交叉口有路段连通，共 24 个路口，74 条路段，路段长度与图中等比放大，设置为双向六车道。表 1 中给出了具体产生交通需求的路段及平峰(饱和度为 0.6)与高峰期(饱和度为 1.2)时的路段交通需求量，表 2 给出了各路段的通行能力，表 3 给出了各路段的长度表示。路段行程时间用通用的交通阻抗表示：

$$t_a(x) = t_{a0} \left[1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right]$$

上式中， t_{a0} 为路段 a 的自由行程时间， x_a 、 C_a 分别为路段 a 的交通需求和通行能力，参数 α 、 β 分别取 0.15 和 4。根据行程时间和路段长度，可求出路段平均行驶速度。计算节点的通行度时，利用 4 个交通拥挤程度截值依次计算各路口节点的通行度。

图 5、图 6 分别给出了交通饱和度分别是 0.6、1.0 的情况下，控制子区的划分情况。从图中可看出，在交通畅通时，流量小，各路口之间相互影响不大，一般 2~3 个路口构成小区，甚至单个路口独立分区。但在交通饱和时，拥堵路口增多，同时为疏通拥挤路口车流，多个附近畅通路口与拥挤路口协同，单个控制小区规模扩大，数量减少。表 3 给出了所有节点的通行度和子区划分情况。

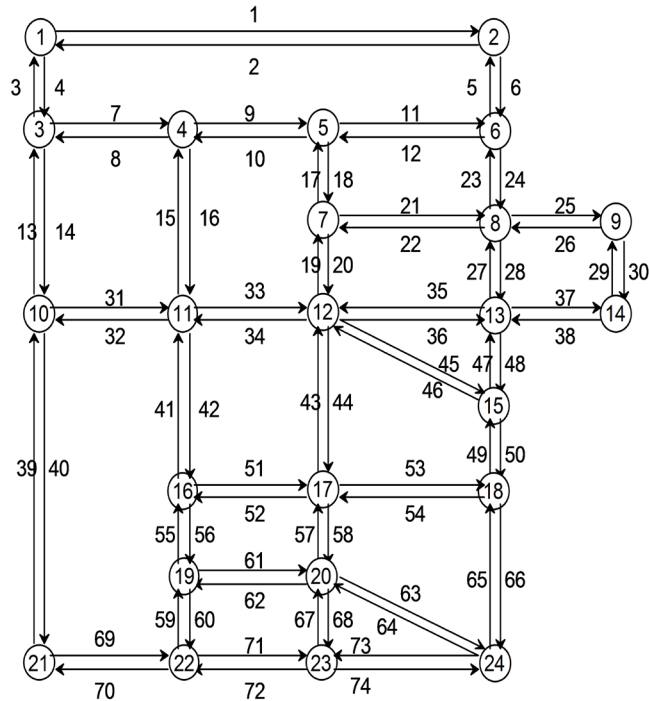


Figure 4. An example of a road network based on Sioux Falls
图 4. 基于 Sioux Falls 的路网实例

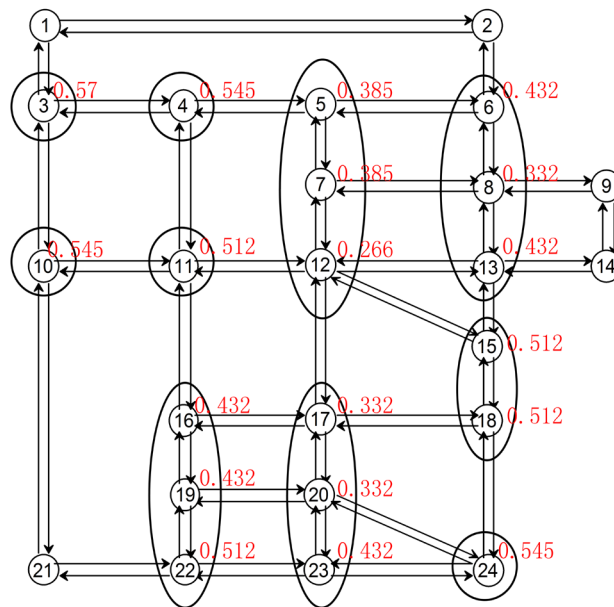


Figure 5. Traffic control subarea division with a saturation of 0.6
图 5. 饱和度为 0.6 的交通控制子区划分

Table 1. Traffic requirements under different conditions**表 1.** 不同状态下的交通需求

饱和度	路段交通需求(pcu/h)		
	1、2、13、14、39、40、 69、70、71、72	7、8、9、10、13、14、19、20、21、22、25、 26、27、28、35、36、37、38、45、46、65、66、 73、74	3、4、5、6、11、12、23、24、29、30、 31、32、33、34、41、42、43、44
0.6	1880	1380	1350
1.0	3200	2200	2400

Table 2. Correlation parameter values of sections in Sioux Falls network**表 2.** Sioux Falls 网络中各路段的相关参数值

路段编号	C_a (pcu/h)	路段编号	C_a (pcu/h)	路段编号	C_a (pcu/h)
1	3200	26	2100	51	2200
2	3200	27	2300	52	2200
3	2400	28	2300	53	2200
4	2400	29	2100	54	2200
5	2400	30	2100	55	2100
6	2400	31	2200	56	2100
7	2200	32	2200	57	2100
8	2200	33	2200	58	2100
9	2200	34	2200	59	2100
10	2200	35	2200	60	2100
11	2200	36	2200	61	2200
12	2200	37	2100	62	2200
13	3200	38	2100	63	2200
14	3200	39	3500	64	2200
15	3200	40	3500	65	2100
16	3200	41	2000	66	2100
17	2300	42	2000	67	2100
18	2300	43	2100	68	2100
19	2300	44	2100	69	3350
20	2300	45	2200	70	3350
21	2200	46	2200	71	3350
22	2200	47	2300	72	3350
23	2300	48	2300	73	2300
24	2300	49	2200	74	2300
25	2100	50	2200		

Table 3. Section length**表 3.** 路段长度

编号	长度(m)	编号	长度(m)	编号	长度(m)	编号	长度(m)
1, 2	1090	17, 18, 19, 20, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 49, 50, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 7, 68	220	7, 8, 9, 10, 31, 32, 33, 34, 51, 52, 61, 62, 69, 70, 71, 72	310	11, 12, 21, 22, 35, 36, 53, 54, 65, 66, 73, 74	400
13, 14, 15, 16	440	3, 4, 5, 6	225	25, 26 37, 38	285	39, 40	830
41, 42, 43, 44	430	45, 46, 63, 64	460	47, 48	210		

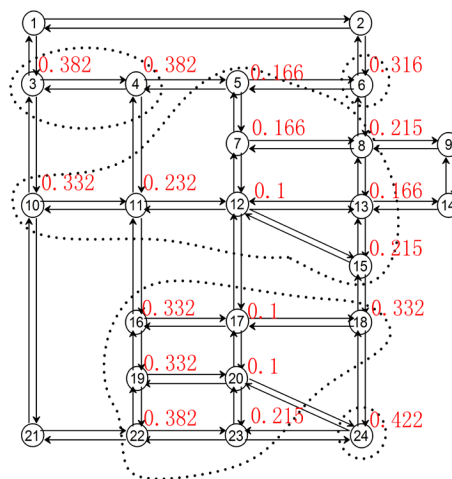


Figure 6. Traffic control subarea division with a saturation of 1.0
图 6. 饱和度为 1.0 的交通控制子区划分

5. 结论

本文针对目前交通控制子区划分的不足之处, 考虑到针对区域交通状态量化分析, 建立不同路口、路段的状态连通矩阵, 通过建立控制子区划分算法和模型, 实现了城市道路交通控制子区的动态划分。最后对通用的标准测试网络 Sioux Falls 网络进行优化计算, 给出不同饱和度时的控制子区划分情况。结果表明, 该策略能够较好的对交通控制子区进行划分, 比目前的子区划分效果提高一倍。

基金项目

山东省自然科学基金项目“基于车载互联的多尺度路网状态辨识与诱导控制研究”(ZR2012FL02)山东省高等学校科技计划项目“道路交通系统的粗糙集模型与控制方法研究”(J10LG52)。

参考文献

- [1] Walinchus, R.J. (1971) Real-Time Network Decomposition and Sub-Network Interfacing. *Highway Research Record*, No. 366, 20-28.
- [2] Yagoda, H.N., Principle, E.H., Vick, C.E. and Leonard, B. (1973) Subdivision of Signal Systems into Control Areas. *Traffic Engineering*, **43**, 42-45.
- [3] 王学堂. 城市交通信号整体优化理论的概念与方法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(5): 92-94.
- [4] 胡华, 高云峰, 杨晓光. 考虑路网 OD 路径的交叉口群动态划分方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(31): 1-4+18.
- [5] 王薇. 基于网络平衡的大范围交通协调控制系统理论及技术研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [6] 陈珊珊. 城市道路区域交通信号控制的动态子区划分[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2016.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org