

信号配时方案对交叉口承载能力的影响

祁宏生¹, 叶盈¹, 韦薇¹, 王殿海¹, 陈晓明²

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 310058 杭州; 2. 青岛海信科技网络股份有限公司, 266071 山东 青岛)

摘要: 为定量描述交叉口承载能力, 并将交叉口几何结构、交通特性、渠化设置以及管制措施等影响因素纳入承载能力分析框架, 对交叉口冲突车流进行分析, 采用图论方法表达了基本相位集, 并将承载能力的一般形式表达成等式方程组. 随后以普通4路交叉为例探索了临界承载能力的必要条件, 最后建立了交叉口承载能力优化模型. 结果表明: 不同的信号控制方案对承载能力有着极大的影响, 绿灯时间等饱和度分配本质上即为承载能力最大控制; 对于一般的4路交叉口, 信号控制车流的流量比之和等于2是交叉口达到承载能力的充要条件.

关键词: 信号控制; 承载能力; 信号相位; 优化; 交叉口

中图分类号: U491 文献标志码: A 文章编号: 0367-6234(2013)10-0100-06

Influence of signal on the capacity of signalized intersection

QI Hongsheng¹, YE Ying¹, WEI Wei¹, WANG Dianhai¹, CHEN Xiaoming²

(1. College of Civil Engineering Architecture, Zhejiang University, 310058 Hangzhou, China;
2. Qingdao Hisense Transportation Technology Co. Ltd., 266071 Qingdao, Shandong, China)

Abstract: In order to describe capacity of intersections, and take the factors such as intersection geometric feature, traffic flow characteristic, channelized section and regulation measures into account, this research expresses the basic phase set based on graph theory through the analysis of conflict movements. Then the common expression of capacity is given by equations. The four-leg intersection is analyzed as an example, whose necessary and sufficient condition is derived. At last, the optimization model of intersection capacity is established. The results show that the signal parameters greatly influence the intersection capacity. Equivalent saturation degree assignment is actually intersection capacity maximal control. For common four-leg intersection, the sufficient and necessary condition for capacity is that the sum of flow ratio equals 2.

Key words: signal control; network capacity; signal phase; optimization; intersection

交通供给的衡量方法是交通研究一个重要的方面, 传统上将交通供给量化为通行能力, 但只适用于断面、连线等路网交通单元. 对应于网络层面的交通供给是路网承载能力. 路网承载能力研究大致可以分为3类: 网络最大流、基于时空消耗法的路网容量、路网储备容量研究. 研究初期, 道路被抽象成一个图, 因而, 很自然地利用图论的方法研究网络承载能力, 但是交通路网比一般的网络图更加复杂, 比如路段一般都是双向、多车道、分

流向, 流量是动态变化的等等. 第2类路网承载能力研究是路网容量^[1]. 该方法将路网抽象成一个具有时间和空间属性的容器, 根据这个容器的总的时空量和每个出行者出行一次所消耗的时空量, 确定出整个路网的容量. 陈春妹、任福田等^[2]将随机效用理论和时空消耗法结合起来, 利用随机效用理论计算行程时间, 为计算路网容量提供了新思路. 时空消耗法比较充分地考虑了交通载体和个体的容量关系, 概念清晰, 形式简单, 但这种方法没有考虑到路网的结构以及交通特性, 使得对模型的解释力及模型的应用能力较弱. 第3类研究是路网储备容量(Reserve capacity)即在路网现有OD基础上, 研究所能容纳的最大OD量. CEYLAN等^[3]考虑了信号设置对路网容量的影

收稿日期: 2013-01-08.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51278454, 51338008).

作者简介: 祁宏生(1983—), 男, 博士;

王殿海(1962—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 王殿海, wangdianhai@sohu.com.

响,提出两阶段储备容量计算方法;Gao 等^[4]将储备容量的概念和网络设计结合起来,对文献[5]进行了两方面的扩展. Chiou 等^[6]将信号设置和路段收费设置结合起来,考虑了以储备容量最大为目标的网络设计问题;邢晓欢等^[7]研究了路网结构和备用容量的关系;Guan 等^[8]认为路网容量研究应考虑实际的服务水平,并研究了给定的路网服务水平下的储备容量;Yang 等^[9]的研究认为 braess 悖论在以路网容量为目标的设计中也存在,即路网中增加一条路有可能降低路网容量.

路网储备容量考虑了路网交通的运行,与前两种方法相比有很大的进步. 但是路网储备容量模型中的节点部分通常只是一系列简单约束,忽略了信号设置、交叉口渠化及其相互作用,目前尚无这方面的报道.

对于交叉口,能承载的交通需求取决于交叉口渠化、组织方式以及信号控制参数. 当交叉口渠化以及组织方式既定,对于承载能力有如下两个基本问题: 1) 给定信号参数,求得该信号参数下的交叉口最大承载交通需求;2) 给定各个进口的交通流量,求得能使得剩余承载能力最大的信号参数. 前一个问题主要是承载能力的求解问题,而后一个问题本质上为信号参数优化. 本文以孤立交叉口承载能力为研究目标,建立交叉口承载能力模型,并据此讨论一般 4 路交叉口过饱和临界条件,最后给出车道利用对承载能力的影响,为网络承载能力的分析奠定基础.

1 交叉口承载能力的一般形式

交叉口承载能力定义为:对于交叉口输入流量,只要找到一种信号参数设置方法能满足该需求,则输入流量没有达到交叉口承载能力;当无论如何设置信号参数,都存在一股或者多股流量过饱和,则输入流量已经超过承载能力. 因此,交叉口承载能力由需求向量来表达. 由于信号配置受到交叉口渠化、交叉口交通组织方式的影响,因而,承载能力同样受限于这些因素. 为了充分考虑信号控制方案,本文首先给出交叉口选取的可行相位集,然后依据可行相位集合给出交叉口承载能力模型.

1.1 基本相位集

同一相位的各股车流之间不应存在相互冲突,称这样的相位为可行相位. 为了得到可行的相位集,将进入交叉口的各股车流表达成节点,车流流向如图 1(a)所示,冲突车流用连线相连,如图 1(b)所示,则可行相位的选择就可以转换为求解

图 1(b)中的强不连通子图(即图中任意两点都没有连线相连,不连通意味着不冲突).

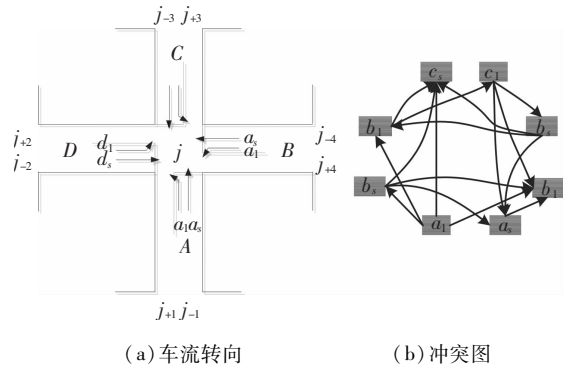


图 1 车流冲突示意图

将各车流进行编号(图中未显示出),设为 $1 \sim N$ 并组成一个图,其中节点表示某车流,两车流冲突则用连线连接,令 $i = 1$,则可行相位选择过程如下:1) 将与第 i 车流相连接的点(即与 i 车流冲突的车流)以及与此些点相连接的连线从图中去除(包括与之相接的连线). 2) 判断剩余的图是否为强不连通图,如果是,则节点 i 和剩余的节点组成一个可行相位, $i = i + 1$ 返回第 1 步;否则进行下一步选择. 3) 任意选择去除之后图中有连线相连接的一点,去除与该点相连接的点以及连线. 4) 判断剩余的图是否为强不连通图,如是,则图中节点为可行相位,否则返回第 3 步.

图 2 显示了可行相位的选择过程,以相位 $a_1 a_1$ 的选择过程为例,去除和 a_1 相连接的点之后图变成了图 2(b),但仍非强不连通图,还需继续选择;保留 a_s ,去除和 a_s 相连接的点和连线,图变成了图 2(c),此时的图为强不连通图,即图中的每个点(车流)没有连线相连(即车流不冲突),所以此强不连通图中的车流组成一个可行相位,以此类推,相应地可以选择出相位 $a_1 b_s$,如图 2(d)所示,以及相位 $a_1 c_1$,如图 2(e)所示.

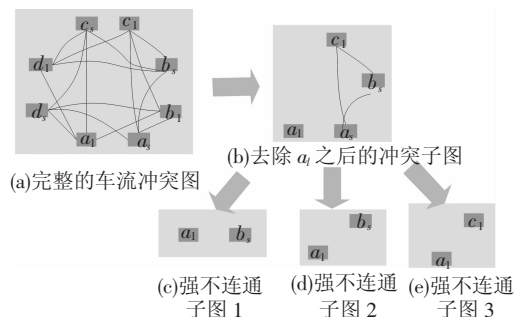
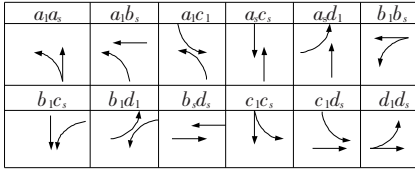


图 2 可行相位选择过程

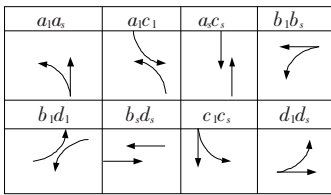
如图 3(a)为图 1(a)所示交叉口的所有可行相位集合. 对于 4 路渠化交叉口,可行相位共有 12 个,但一般不允许 $a_1 b_s$ 之类的相位,因此,可行

相位又缩减到 8 个,如图 3(b)所示.

由于图 3 中包含了所有的可行相位,在某一时刻交叉口显示相位只能是图中的某一个,因而,当交叉口输入流量达到承载能力时,相应的控制方案中的相位必定是图中某几个相位的组合.本节的方法不仅适合于 4 路交叉口,对其他形式的交叉口例如 T 形交叉口、5 路交叉口也适用.



(a) 所有可行相位

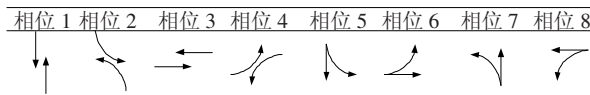


(b) 实际应用相位集

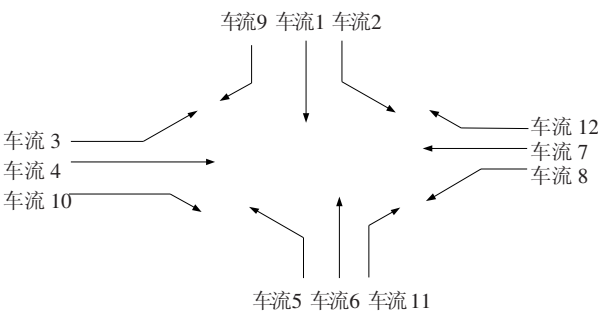
图 3 可行相位

1.2 控制方案的表达

对于某一个信号周期方案,其相位必定是所有可行相位中部分的排列组合,利用枚举法,得到图 4(a)中的相位集合下所有的信号周期方案共 49 种.利用相位选择向量表示某一控制方案,相位选择向量为 8 个元素的向量,其中每一个元素取值为 0 或者 1,如果相位选择向量为 [1,1,1,1,0,0,0,0],则表示该控制方案选择了图 4(a)中的相位集合中的前 4 个相位.所有可能的控制方案组合如表 1 所示,该表表达了所有可能的信号相位方案,实际执行方案必定是表中的某一种,如某相位为 0,表示方案中无该相位.



(a) 相位及编号



(b) 车流编号

图 4 相位集和车流编号

表 1 控制方案列表

方案 编号	相位选择向量各元素取值							
	相位1	相位2	相位3	相位4	相位5	相位6	相位7	相位8
1	0	0	0	0	1	1	1	1
2	0	0	0	1	1	1	1	1
3	0	0	1	0	1	1	1	1
4	0	0	1	1	1	0	1	0
5	0	0	1	1	1	0	1	1
6	0	0	1	1	1	1	1	0
7	0	0	1	1	1	1	1	1
8	0	1	0	0	1	1	1	1
9	0	1	0	1	1	1	1	1
10	0	1	1	0	1	1	1	1
11	0	1	1	1	1	0	1	0
12	0	1	1	1	1	0	1	1
13	0	1	1	1	1	1	1	0
14	0	1	1	1	1	1	1	1
15	1	0	0	0	1	1	1	1
16	1	0	0	1	1	1	1	1
17	1	0	1	0	1	1	1	1
18	1	0	1	1	1	0	1	0
19	1	0	1	1	1	0	1	1
20	1	0	1	1	1	1	1	0
21	1	0	1	1	1	1	1	1
22	1	1	0	0	0	1	0	1
23	1	1	0	0	0	1	1	1
24	1	1	0	0	1	1	0	1
25	1	1	0	0	1	1	1	1
26	1	1	0	1	0	1	0	1
27	1	1	0	1	0	1	1	1
28	1	1	0	1	1	1	0	1
29	1	1	0	1	1	1	1	1
30	1	1	1	0	0	1	0	1
31	1	1	1	0	0	1	1	1
32	1	1	1	0	1	1	0	1
33	1	1	1	0	1	1	1	1
34	1	1	1	1	0	0	0	0
35	1	1	1	1	0	0	0	1
36	1	1	1	1	0	0	1	0
37	1	1	1	1	0	0	1	1
38	1	1	1	1	0	1	0	0
39	1	1	1	1	0	1	0	1
40	1	1	1	1	0	1	1	0
41	1	1	1	1	0	1	1	1
42	1	1	1	1	1	0	0	0
43	1	1	1	1	1	0	0	1
44	1	1	1	1	1	0	1	0
45	1	1	1	1	1	0	1	1
46	1	1	1	1	1	1	0	0
47	1	1	1	1	1	1	0	1
48	1	1	1	1	1	1	1	0
49	1	1	1	1	1	1	1	1

其中控制方案 34 为普通的 4 相位方案:东西直行、东西左转、南北直行、南北左转;方案 1 为单口放行方案;方案 49 为 8 相位方案.

1.3 承载能力的一般形式

上节研究了交叉口的信号配时参数约束,得

出了允许相位集合,其包含了所有某时刻可能出现的相位. 设交叉口相位向量为 \mathbf{P} , 相位绿信比矩阵为 λ_p (维数和 \mathbf{P} 相同), 当某些相位不存在于某信号控制方案时, 可以认为该相位绿信比为 0. 设交叉口进口道矩阵为 \mathbf{L} , 进口道对应的绿信比向量为 λ_L (维数和 \mathbf{L} 相同), 相应停车线的饱和流率矩阵为 \mathbf{S} , 交叉口到达流量矩阵为 \mathbf{Q} . 令交叉口的连线, 即相位发生矩阵为 δ_{LP} , 定义

$$\delta_{L,P_j} = \begin{cases} 1, & \text{如果相位 } P_j \text{ 对应于连线 } L_i; \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (1)$$

则得

$$\lambda_L = \delta_{LP} \times \lambda_p. \quad (2)$$

当进口道 j 流量小于通行能力, 不会发生过饱和现象. 设其到达流量为 q_j , 不产生过饱和条件为

$$q_j \leq S_j \lambda_{L_j} = S_j \sum_i (\delta_{L_j P_i}) \lambda_{P_i}, \forall j. \quad (3)$$

其中: S_j 为 j 车道的饱和流率; λ_{L_j} 为 j 车道对应的绿信比.

为了使得信号配时参数合理, 绿灯时间不应浪费, 令总损失时间为 t_l , 应加上约束

$$\sum_i \lambda_{P_i} = 1 - \frac{t_l}{C}. \quad (4)$$

式(3)、(4)即为使得交叉口不产生过饱和情况下, 输入量即到达流量需要满足的必要条件. 对

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

则达到承载能力时, 则有

$$y_6 + y_2 = y_1 + y_5, \quad (9)$$

$$y_4 + y_8 = y_3 + y_7, \quad (10)$$

$$y_1 + y_3 + y_5 + y_7 = 1 - \frac{t_l}{C}. \quad (11)$$

式(9)~(11)为方程组(6)成立的必要条件, 也是普通 4 路无共用车道交叉口的输入流量达到交通承载能力的必要条件, 将式(9)和式(10)相加, 得

$$y_1 + y_3 + y_5 + y_7 = y_2 + y_4 + y_6 + y_8. \quad (12)$$

因此, 可从式(11)、(12)得出

于最大稳定输入量而言, 所有流量都已经达到临界状态, 因此, 最大稳定输入量满足的条件为

$$\begin{cases} \frac{q_j}{S_j} = \sum_i (\delta_{L_j P_i}) \lambda_{P_i}, \forall j; \\ \sum \lambda_{P_i} = 1 - \frac{t_l}{C}. \end{cases} \quad (5)$$

令流量比 $\frac{q_j}{S_j} = y_j$, 将式(5)表达为矩阵形式,

即

$$\begin{cases} \delta_{LP} \times \lambda_p = \mathbf{Y}, \\ \mathbf{E} \times \lambda_p = 1 - \frac{t_l}{C}. \end{cases} \quad (6)$$

2 普通 4 路交叉口的承载能力

普通四路交叉口(图4)的连线-相位发生矩阵为

$$\delta_{LP} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

当交叉口达到交通承载能力时, 将 λ_p 的非齐次线性方程组(式6)形成的增广矩阵进行初等变换为

$$\begin{bmatrix} y_1 + y_5 - y_2 \\ y_5 \\ y_3 + y_7 - y_4 \\ y_7 \\ y_5 - y_2 \\ y_6 - y_1 + y_2 - y_5 \\ y_7 - y_4 \\ y_8 - y_3 + y_4 - y_7 \\ 1 - \frac{t_l}{C} - y_1 - y_3 - y_5 - y_7 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

$$\sum_i y_i = 2 - \frac{2t_l}{C}. \quad (13)$$

式(13)是式(9)~(11)成立的必要条件, 也是普通 4 路交叉口的输入流量达到交通承载能力的必要条件. 如不考虑信号损失时间, 当 4 路交叉口的流量比(不含右转车流)之和达到 2, 交叉口必定达到承载能力, 当流量比(不含右转车流)之和超过 2 时, 交叉口必定处于过饱和状态.

3 承载能力的几何解释

设有两股车流 q_1 和 q_2 共同竞争利用某一交

叉口,该交叉口抽象为某一点,该点的通行能力为 S ,设两股车流获得的绿信比分别为 λ_1 和 λ_2 ,由于信号配时不能浪费绿灯资源,不考虑信号损失则得 $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$,设两股车流的饱和度以及相应的储备容量分别 μ_1 和 μ_2 ,则

$$\begin{cases} x_1 = \frac{y_1}{\lambda_1}, \mu_1 = 1 - x_1 = 1 - \frac{y_1}{\lambda_1}; \\ x_2 = \frac{y_2}{\lambda_2}, \mu_2 = 1 - x_2 = 1 - \frac{y_2}{\lambda_2}. \end{cases} \quad (14)$$

最大储备容量算法的数学模型为

$$\max_{\lambda_1, \lambda_2} z = \min\left(1 - \frac{y_1}{\lambda_1}, 1 - \frac{y_2}{\lambda_2}\right). \quad (15)$$

由于 $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$,则优化式(15)变为

$$\begin{aligned} \max_{\lambda_1} \min\left(1 - \frac{y_1}{\lambda_1}, 1 - \frac{y_2}{1 - \lambda_1}\right), \\ 0 \leq \lambda_1 \leq 1. \end{aligned} \quad (16)$$

令 $1 - y_1/\lambda_1 = 1 - y_2/(1 - \lambda_1)$,得 $\lambda_1 = y_1/Y$.当 $\lambda_1 \leq y_1/Y$ 时, $z = 1 - y_1/\lambda_1$,得优化结果 $\lambda_1 = y_1/Y$;同理当 $\lambda_1 \geq y_1/Y$,优化结果为 $\lambda_1 = y_1/Y$,从中可以看到,优化式(16)的结果即为等饱和度分配,从而可得等饱和度分配方案实际上等同于最大储备容量控制.

图5为承载能力的几何解释,直线 $q_1 + q_2 = \bar{q}$ 是通行能力约束, A 点为当前的两股输入流量取值,直线 $q_1 + q_2 = \bar{q}$ 的 CD 部分实际上为剩余承载能力,直观上可以解释为两股流量在当前条件下能增加的部分.绿灯等饱和度分配的含义是,当执行信号控制之后,由信号控制决定的通行能力可以允许各个进口道的流量增加的倍数最大,即图5中的 B 点.

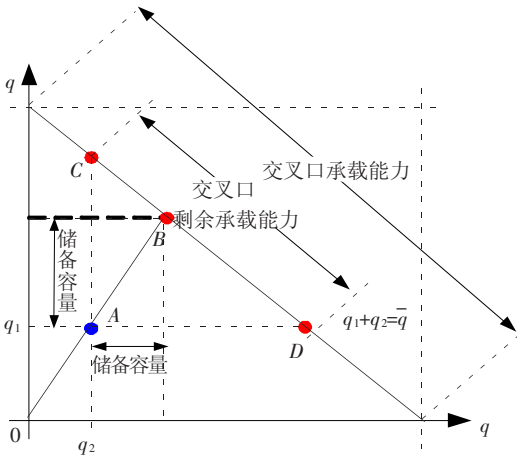


图5 最大储备容量控制和等饱和度控制

4 交通承载能力优化模型

本部分遵循传统的路网储备容量研究方法,给定一个极小的交叉口初始流量输入,然后通过

求得最大流量增加乘子来定义交叉口的承载能力,进而研究各种因素的影响.如交叉口各个进口道各转向车流都有专用车道,且信号配时方案没有特别约束,该优化问题称之为非限制性承载能力问题;如果交叉口由于某些原因,相位设置存在其他的额外约束,则称之为限制性承载能力问题.

4.1 非限制性承载能力模型

设交叉口所有转向的基准流量向量为 Q ,由于饱和流率向量为常量,因此,以流量比向量 Y 代表交叉口需求,流量比向量定义为转向流量向量 Q 和饱和流率向量 S 的点除.

实际交叉口输入流量为基准流量乘以流量乘子 β ,其中 $\beta \geq 1$.从而交叉口实际需求为 βY .对于给定的交叉口,非限制性承载能力问题的优化模型为

$$\max_{\lambda_P, \eta} \beta, \quad (17)$$

$$\delta_{LP} \times \lambda_P \leq \beta Y, \quad (18)$$

$$\delta_{LP} \eta_P > 0, \quad (19)$$

$$\lambda_P \eta_P \times E = 1 - \frac{t_i \eta_P E}{C}. \quad (20)$$

式(18)表示对于每一个流量都有对应的相位;式(20)为信号参数约束,所有相位绿灯时间的加和应等于周期时长减去损失时间.

4.2 限制性承载能力问题

在实际中,交叉口的信号设置可能受多种因素影响,例如存在共用车道、相位为单口放行等,考虑这些因素对承载能力模型进行修正,就得到了限制性承载能力模型.

交叉口的渠化设置直接影响了车流对交通设施的利用,进而影响了交叉口的承载能力.以某4路交叉口南进口道直行车流和左转车流共用一个车道为例,讨论交叉口渠化设置对交通承载能力的影响.对于2.1节提出的可行相位提取方案,交叉口的车流冲突图变为图6形式,可行相位提取流程相同,很容易得出这种情况下的可行相位集合如图7所示,与无共用车道情况相比,可行相位集少了两个相位.相应地可以得到其可行控制方案集合.

5 数值算例

考虑一普通的4路进口交叉口,如图4所示,右转不受信号控制,不作考虑.不同的进口流量结构会对承载能力表征即 β 产生较大的影响,本文随机设定其余8股车流如图8所示.

信号相位方案1~49的需求乘子增量分别为54.634、50.856、53.762、49.984、54.412、53.342、

54. 412、49. 653、53. 529、53. 529、52. 491、53. 529、48. 802、52. 647、53. 762、49. 984、54. 634、53. 762、53. 762、52. 890、50. 856、49. 984、49. 984、49. 112、53. 529、52. 491、53. 529、48. 802、52. 647、54. 412、53. 529、53. 529、52. 647、53. 342、54. 412、49. 653、53. 529、52. 491、53. 529、48. 802、52. 647、52. 491、53. 529、48. 802、52. 647、51. 639、52. 647、47. 951、51. 765. 对于设定的需求结构, 普通的 4 相位承载能力最大, 承载能力最小的控制方案有 7 个相位, 相位选择向量为 [1, 1, 1, 1, 1, 1, 0].

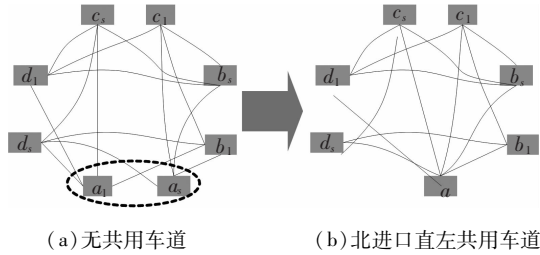


图 6 共用车道交叉口的车流冲突图

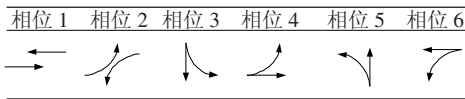


图 7 共用车道情况下的可行相位集

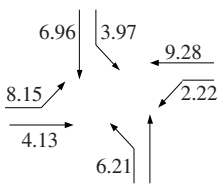


图 8 数值算例基准流量 (辆/h)

不同的相位控制方案会导致不同的连线饱和度, 将基准流量设为相同, 即每一股转向流量都相同, 可得 49 种控制方案的最大饱和度为 1, 最小饱和度为 0. 802. 由此可见, 当交叉口达到承载力时, 部分连线的需求仍然可以继续增加, 这种情况下信号相位控制方案 1 ~ 49 的需求乘子增量分别为 60. 776、56. 573、56. 573、52. 371、56. 573、60. 776、56. 573、56. 573、58. 836、52. 371、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、56. 573、52. 371、60. 776、56. 573、56. 573、58. 836、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、52. 371、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、60. 776、56. 573、56. 573、58. 836、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、56. 573、52. 371、52. 371、54. 634、58. 836、54. 634、54. 634、56. 897.

从而对于不同的信号控制方案, 不同的需求比例会导致不同的承载力分布, 对于某一种控制方案而言过饱和的需求对于另一种方案可能就呈现未饱和状态, 因而, 需要和传统的延误最小控

制方法相结合, 综合优化信号配时参数. 即使交叉口达到了临界饱和状态, 部分进口仍然可能存在着通行能力冗余.

6 结 论

1) 承载力是交叉口的重要交通属性, 传统的交通供给属性衡量方法利用通行能力作为表征, 无法分析各种因素对交通供给的影响. 通过承载能力的定义, 分析了相位组合对承载能力的影响. 结果表明, 交叉口渠化、组织方式以及信号相位设定对承载力有显著的影响.

2) 与孤立的节点相比, 路网的承载力受限因素更多, 包括路网拓扑结构、OD 流量结构、网络信号参数 (如周期、绿信比、相位差等). 当路网达到承载力时, 路网中必定有一个或者多个交叉口达到承载力.

参考文献

[1] 贾顺平, 彭宏勤, 刘爽. 基于居民出行特性与路网承载力的城市交通状态研究[J]. 系统工程理论与方法, 2011, 11(5): 81 - 85.

[2] 陈春妹, 任福田, 荣建, 等. 随机效用理论在路网容量研究中的应用[J]. 北京工业大学学报, 2002, 28(4): 436 - 439.

[3] CEYLAN H, BELL M. Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control [J]. ITS Journal: Intelligent Transportation Systems, 2004, 8(2): 87 - 99.

[4] GAO Z Y, SONG Y F. A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice [J]. Transportation Research Part B, 2002, 36(4): 313 - 323.

[5] WONG S C, YANG H. Reserve capacity of a signal-controlled road network [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 1997, 31(5): 397 - 402.

[6] CHIOU S W. An efficient search algorithm for road network optimization [J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 201(1/2): 128 - 137.

[7] 邢晓欢, 程琳. 路网布局结构对路网容量的影响研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2008, 6(3): 109 - 114.

[8] GUAN Y, ZHU J, ZHANG N. Study of capacity of a road network basing on the level of service [C]//2007 International Conference on Management Science & Engineering(14th). Harbin: ICMSE, 2007: 2241 - 2246.

[9] YANG H, BELL M. A capacity paradox in network design and how to avoid it [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1998, 32(7): 539 - 545.

(编辑 魏希柱)