

基于带宽最大化的城市干线子区划分技术研究

唐小军¹, 赵胜川¹, 章立辉^{*2}

(1. 大连理工大学 交通运输学院, 辽宁, 大连 116024; 2. 浙江大学 交通工程研究所, 杭州 310058)

摘要: 针对以直行车流为主要流向, 实行两相位控制的城市干线, 基于经典的 MAX-BAND 模型, 建立了干线分子区协调控制模型. 该模型自动将干线分为若干具有 3-6 个交叉口的控制子区, 每个子区追求最大化绿波带宽, 不同子区协调方向的直行车辆享有尽可能均等的绿波通行时间. 采用遗传算法求解模型, 求解结果显示, 分段点一般为周期相对较大或间距较大的交叉口. 通过与 Synchro 优化方案相比, 本文模型优化的方案可以使子区的平均带宽有效率提高 27.8%. 利用 CORSIM 对分别采用本文模型和 Synchro 划分的 6 种配时方案进行仿真, 结果表明, 与后者优化的方案相比, 本文模型优化的方案具有更优的干线平均延误、平均车速、停车率等性能指标.

关键词: 交通工程; 子区划分; 超长干线; 协调控制; 遗传算法

DOI:10.16097/j.cnki.1009-6744.2015.03.016

System Partition of Urban Arterials Based on Bandwidth Maximization

TANG Xiao-jun¹, ZHAO Sheng-chuan¹, ZHANG Li-hui²

(1. School of Transportation and Logistics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, China; 2. Institute of Transportation Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: A system partition model for urban arterials is proposed based on classical MAXBAND model. The model divides the whole arterial into several subsystems, each with three to six signalized intersections. Each subsystem is optimized individually to achieve maximum two-way bandwidth. The through traffic in different subsystems is provided average green bandwidth as equal as possible. Genetic Algorithm is applied to solve the model, the optimal results implies that intersections with critical cycle length or large spacing is the partitioning point. Compared to the plan generated by Synchro, the one produced by the proposed model increases the average progression efficiency by 27.8%. CORSIM simulation is conducted to compare the performance of signal timing plans generated by the proposed model and Synchro respectively, and results analysis indicates that compared to the plan generated by latter one, the one produces by former one resulted in better performance indexes, such as average delay, average speed and stops.

Key words: traffic engineering; system partition; super-long arterial; coordination control; genetic algorithm

收稿日期: 2014-12-08

修回日期: 2015-03-29

录用日期: 2015-04-14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51278087, 71401025).

作者简介: 唐小军 (1989-), 男, 四川德阳人, 硕士生.

*通信作者: lihuizhang@zju.edu.cn

1 引言

干线协调控制是避免或缓解干线交通拥堵有效且广泛使用的方法之一.一般来说,采用两类标准进行协调配时设计:最大化绿波带宽和最小化性能指标,如延误、排队长度等.Yang^[1]将两种方法分别运用于一条具有9个信号控制交叉口的干线,发现前者的控制效果一般优于后者的控制效果.同时,由于前者能够满足驾驶员希望以更少的停车次数通过干线的期望,因此也被大多数的交通工程师和驾驶员所喜好.本文采用前一种方法建立相应的干线分子区协调控制模型.

绿波带宽具有这样一种本质^[2]:随着干线交叉口数量的增加,带宽宽度会逐渐减小.马楠等^[3]通过研究发现,当信号灯数量增加至16个时,很难获得全局带宽.表明将具有超过16个交叉口的干线作为整体实施协调控制并不是明智的做法.克服这一问题行之有效的方法之一是实行分子区协调控制.

进行子区划分的常用指标有3种,即关联度、吸引强度、协调因子^[4].上述3种指标主要是考虑相邻交叉口的车流量、路段距离、路段车速、周期长度等因素,来决定是否对相邻交叉口实行协调控制.然而,不论上述指标计算过程简单或是复杂,其决定分段点的阈值是基于经验判断的,具有较强的主观性.当上述方法应用于多条连续路段具有相似指标值的干线时,会导致划分出较庞大的子区,这显然是缺乏一定合理性的.

此外,陈宁宁^[5]提出了以协调控制目标为辅的路网控制子区划分方法,在符合距离、流量、周期三原则的基础上,要求信号控制子区必须有足够大的绿波宽度;Tian等^[6]提出了一种启发式方法,根据交叉口之间的距离、车流量和排队情况及交叉口的饱和度将长干道划分为具有3~5个交叉口的子区,对每个子区实行绿波最大化控制,然后调节子区间相位差对整个系统实行单向绿波最大化控制;Zhang等^[7]提出首先利用K均值法对干线进行子区划分,然后利用PASSER-II对分区进行协调配时参数优化的干线分子区协调控制方法.由上述分析可知,对子区进行划分主要是依据相邻交叉口间距、路段交通量、排队长度及交叉口配时等参数,未见直接以绿波带宽度为优化目标的干线分

子区协调控制研究.

本文基于经典的MAXBAND模型,以绿波带宽度为优化目标,建立干线分子区协调控制模型.该模型避免了传统方法分段点判断阈值具有主观性的缺点,同时可以保证每个子区最优的协调控制效果.

2 干线控制子区划分方法

2.1 MAXBAND模型简介

MAXBAND模型是由Little于1966年提出的^[8].图1描述了相邻交叉口间绿波带的几何关系,图中水平横线表示红灯时间,空白线表示绿灯时间.令 S_h 、 S_i 为任意一对相邻信号灯,且 S_i 在 S_h 的出口方向.其中 r_i 为路段上信号灯 i 的红灯时间; b 、 \bar{b} 分别为信号灯 i 出口、进口方向通过带带宽; $t(h,i)$ 、 $\bar{t}(i,h)$ 分别为从信号灯 $h(i)$ 到 $i(h)$ 沿出口、进口方向的行程时间; $\phi(h,i)$ 、 $\bar{\phi}(i,h)$ 分别为从 S_h 、 S_i 的红灯中心到 S_i 、 S_h 的红灯中心的时间; w_i 、 \bar{w}_i 分别为从 S_i 红灯时间的右侧、左侧到绿波带宽的时间; $m(h,i)$ 必须为整数.

MAXBAND模型的混合整数规划如下:

$$\max_{(b, \bar{b}, w, \bar{w}, r)} B = b + \bar{b} \quad (1)$$

$$\begin{cases} w_i + b \leq 1 - r_i, \forall i = 1, \dots, n \\ \bar{w}_i + \bar{b} \leq 1 - r_i, \end{cases} \quad (2)$$

$$(w_i + \bar{w}_i) - (w_{i+1} + \bar{w}_{i+1}) + (t_i + \bar{t}_i) = m_i - (r_i - r_{i+1}) \quad (3)$$

$$\forall i = 1, \dots, n-1$$

$$\begin{cases} m_i = \text{integer}, \forall i = 1, \dots, n \\ b, \bar{b}, w, \bar{w} \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

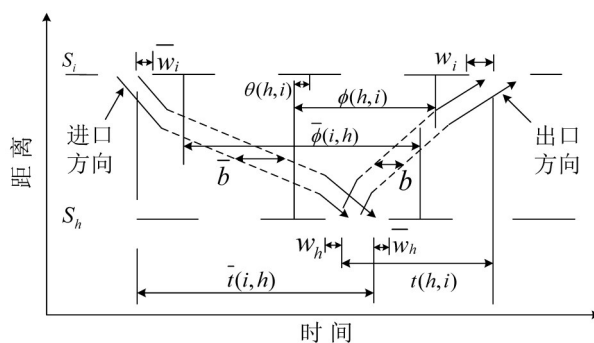


图1 绿波带的几何关系

Fig.1 Geometry of green bandwidth

2.2 干线子区划分模型

上述模型适用于交叉口数量较少的干线.本文在经典MAXBAND模型的基础上,建立了适用于长干线的分子子区协调控制模型.

2.2.1 目标函数

为了保证子区的协调控制效果,子区的优化目标为最大化双向绿波带宽,即

$$B_m = b_m + \bar{b}_m \quad (5)$$

式中 B_m 为第 m 个子区的双向绿波带宽之和; b_m 为第 m 个子区出口方向绿波带宽; \bar{b}_m 为第 m 个子区进口方向绿波带宽.

在实际道路上,交通流量在干线上的分布是不均匀的.对于流量较大的子区,我们希望提供其更大的总绿波带宽时间;流量相对较小的子区,提供其相对较小的总绿波带宽时间.为了保证各子区干线直行车辆享有更公平的绿波通行机会,定义 E_m ,表示单位小时内第 m 个子区协调方向直行车辆的平均绿波通行时间, s/pcu/h; \bar{E}_m 为各子区 E_m 均值.显然,最理想的状况为 $E_m = \bar{E}_m$,即干线所有直行车辆在各子区享有相同的绿波带宽时间.因此,模型总目标为使各子区 E_m 变化最小,则有

$$\min_{(b, \bar{b}, z, w, \bar{w}, i, \bar{i}, \tau, \alpha, \beta, \gamma, \chi, \psi)} Z = \sum_m (E_m - \bar{E}_m)^2 \quad (6)$$

2.2.2 子区约束条件

将 n 个信号灯编号为 $1, 2, \dots, n-1, n$, 路段编号为 $1, 2, \dots, n-1$.引入二进制变量 β_m^i 、 α_m^i , 其含义为

$$\beta_m^i = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 个信号灯在第 } m \text{ 个子区内} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 个信号灯不在第 } m \text{ 个子区内} \end{cases}$$

$$\alpha_m^i = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 条路段在第 } m \text{ 个子区内} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 条路段不在第 } m \text{ 个子区内} \end{cases}$$

对于 β_m^i 而言, 其角标取值分别为 $i=1, 2, \dots, n, m=1, 2, \dots, M$. M 为划分子区数.对于 α_m^i , 由于总的路段数为 $n-1$, 因此不能直接将 i 取为 $i \in [1, n]$.为了方便模型的求解, 增加一条虚拟路段, 编号为 n , 则有 $\alpha_m^n = 0$.

(1) 子区信号周期约束.

对于具有不同分区的干线来说, 由于各子区流量等因素的差异, 各子区可能采用不同的周期.本文设置子区信号周期约束条件为: 周期上/下限

为子区内最大周期加/减 10 s. z_m 为第 m 个子区的公共周期.

$$1/(T_m^{\max} + 10) \leq z_m \leq 1/(T_m^{\max} - 10) \quad (7)$$

(2) 子区信号灯数量约束条件.

显然, 一个信号灯只能划分在一个子区中.同时, 为了保证子区的协调控制效果, 设置每个子区内信号灯数量为 3-6 个.

$$\sum_m \beta_m^i = 1 \quad (8)$$

$$3 \leq \sum_i \beta_m^i \leq 6 \quad (9)$$

(3) 子区信号灯连续性约束条件.

对于划分在同一子区内的信号灯而言, 其编号必定是连续的.分析同一子区内信号灯和路段的关系.

(a) 对于同一子区而言, 信号灯数量比路段数量多 1.

$$\sum_i \alpha_m^i = \sum_i \beta_m^i - 1 \quad (10)$$

(b) 如果一条路段在某子区内, 则必有与其连接的两个信号灯也属于该子区; 如果一条路段不在某子区内, 则至少有一个与其连接的信号灯不属于该子区.即有

$$\text{如果 } \alpha_m^i = 1, \text{ 则 } \beta_m^i + \beta_m^{i+1} = 2 \quad (11)$$

$$\text{如果 } \alpha_m^i = 0, \text{ 则 } \beta_m^i + \beta_m^{i+1} \leq 1 \quad (12)$$

引入二进制变量 χ_m^i 、 $\bar{\chi}_m^i$, 则可将式(11)和式(12)表示为

$$-U \cdot \chi_m^i + \varepsilon \leq (\beta_m^i + \beta_m^{i+1}) - 2 \leq U(1 - \chi_m^i) \quad (13)$$

$$-U \cdot \bar{\chi}_m^i + \varepsilon \leq 2 - (\beta_m^i + \beta_m^{i+1}) \leq U(1 - \bar{\chi}_m^i) + \varepsilon \quad (14)$$

$$\alpha_m^i = (\chi_m^i + \bar{\chi}_m^i) - 1 \quad (15)$$

$$\alpha_m^n = 0 \quad (16)$$

式中 U 为一足够大的正数, 如 9 999; ε 为一任意小的正数, 如 0.001.

2.2.3 子区划分模型

为了进行模型的求解, 我们将MAXBAND模型的约束条件乘以相应的二进制变量.则本文建立的基于带宽的分子子区协调控制模型可表示为

$$\begin{aligned} \min_{(b, \bar{b}, z, w, \bar{w}, i, \bar{i}, \tau, \alpha, \beta, \gamma, \chi, \psi)} Z &= \sum_m (E_m - \bar{E}_m)^2 \\ \text{s.t.} \quad &\begin{cases} \sum_m \beta_m^i = 1, \\ 3 \leq \sum_i \beta_m^i \leq 6, \end{cases} \quad \forall i \in [1, n], m \in [1, M] \end{aligned}$$

$$\begin{cases}
-U \cdot \chi_m^i + \varepsilon \leq (\beta_m^i + \beta_m^{i+1}) - 2 \leq U(1 - \chi_m^i), \\
-U \cdot \bar{\chi}_m^i + \varepsilon \leq 2 - (\beta_m^i + \beta_m^{i+1}) \leq U(1 - \bar{\chi}_m^i) + \varepsilon, \\
\alpha_m^i = (\chi_m^i + \bar{\chi}_m^i) - 1, \\
\forall i \in [1, n-1], m \in [1, M] \\
\sum_i \alpha_m^i = \sum_i \beta_m^i - 1, \text{ 且 } \alpha_m^n = 0, \forall i \in [1, n], m \in [1, M] \\
\begin{cases}
-U \cdot \gamma_m^i + \varepsilon \leq (\alpha_m^i + \alpha_m^{i+1}) - 2 \leq U(1 - \gamma_m^i), \\
-U \cdot \bar{\gamma}_m^i + \varepsilon \leq 2 - (\alpha_m^i + \alpha_m^{i+1}) \leq U(1 - \bar{\gamma}_m^i) + \varepsilon, \\
\psi_m^i = (\gamma_m^i + \bar{\gamma}_m^i) - 1, \\
\forall i \in [1, n-1], m \in [1, M] \\
1/(T_m^{\max} + 10) \leq z_m \leq 1/(T_m^{\max} - 10), \forall m \in [1, M] \\
\begin{cases}
\beta_m^i \cdot (w(i) + b_m) \leq \beta_m^i \cdot (1 - r(i)), \\
\beta_m^i \cdot (\bar{w}(i) + \bar{b}_m) \leq \beta_m^i \cdot (1 - r(i)), \forall i \in [1, n], m \in [1, M] \\
\begin{cases}
\alpha_m^i \cdot [(w(i) + \bar{w}(i)) - (w(i+1) + \bar{w}(i+1)) + (t(i) + \bar{t}(i))] \\
= \alpha_m^i \cdot [\tau(i) - (r(i) - r(i+1))], \\
\alpha_m^i \cdot [(d(i)/f)z_m] \leq \alpha_m^i \cdot t(i) \leq \alpha_m^i \cdot [(d(i)/e)z_m], \\
\alpha_m^i \cdot [(d(i)/\bar{f})z_m] \leq \alpha_m^i \cdot \bar{t}(i) \leq \alpha_m^i \cdot [(d(i)/\bar{e})z_m], \\
\psi_m^i \cdot [(d(i)/h)z_m] \leq \psi_m^i \cdot [(d(i)/d(i+1)) \cdot t(i+1) - t(i)] \\
\leq \psi_m^i \cdot [(d(i)/g)z_m], \\
\psi_m^i \cdot [(d(i)/\bar{h})z_m] \leq \psi_m^i \cdot [(d(i)/d(i+1)) \cdot \bar{t}(i+1) - \bar{t}(i)] \\
\leq \psi_m^i \cdot [(d(i)/\bar{g})z_m], \\
\forall i \in [1, n-1], m \in [1, M] \\
\tau(i) = \text{integer}, \forall i \in [1, n] \\
\begin{cases}
E_m = 3600 \cdot \sum_i \beta_m^i \cdot (b_m + \bar{b}_m) / \sum_i \beta_m^i \cdot v(i), \\
\bar{E}_m = \frac{3600}{M} \sum_m \sum_i \beta_m^i \cdot (b_m + \bar{b}_m) / \sum_i \beta_m^i \cdot v(i), \\
b_m, \bar{b}_m, w(i), \bar{w}(i) \geq 0, \\
\forall i \in [1, n], m \in [1, M]
\end{cases}
\end{cases}
\end{cases}
\end{cases}$$

式中 $d(i)$ 为相邻交叉口间距; e, f, \bar{e}, \bar{f} 分别为相邻路段出口、进口车速限制; h, g, \bar{h}, \bar{g} 分别为相邻路段出口、进口车速改变限制; $\gamma_m^i, \bar{\gamma}_m^i, \psi_m^i, \bar{\psi}_m^i$ 为二进制变量; $v(i)$ 表示第 i 个交叉口协调方向直行车流之和。

2.2.4 子区间相位差计算

由于各子区信号周期可能不同,难以在分段点间获得稳定的行进带宽。为了简化研究,本文采用文献[9]提出的公式计算分段点间的相位差,然后再进行以交叉口1为起始参考点的相位差相对化处理。

3 Synchro 信号配时软件简介

Synchro 软件是著名的交通信号配时设计/通行能力分析仿真商业软件^[10]。该软件以最小化性能指标为优化目标,能够同时优化信号交叉口周期、绿灯时长、相位相序、相位差等参数。其通过考虑路段行程时间、排队、流量等参数计算协调因子,以判断是否对相邻交叉口实行协调控制。但协调因子的计算是具有高度经验性的,因此从某种程度上来说,该方法缺乏一定合理性。但作为划分方案的比较评价,仍具有一定的参考意义。

4 模型求解

本文采用遗传算法求解模型。其好处在于可将模型转化为求解多个小型线性规划问题。另一方面,由于本文的研究范围为具有20个信号灯的主干线,因此求解规模是较小的,可以确保得到全局最优解。模型求解步骤如下。

Step 1 染色体配置。

确定子区分段数后(4段、5段或6段),对初始解进行编码,每四位基因代表一个子区末端分段点。但需保证首四位基因的实值大于或等于3且小于或等于6,末四位基因的实值大于或等于15且小于或等于17。同时,前后串实值也需满足子区信号灯数量约束条件。如染色体000001101101表示划分方案为1-3,4-9,10-15,16-20。

Step 2 适应度计算。

采用目标函数作为适应度计算公式。

Step 3 产生父代。

首先用最好的个体替换最坏的个体,将其设为父代第一个个体,然后采用随机联赛机制产生其余父代。

Step 4 交叉。

为了提高种群多样性,本文采用多点交叉。因为在进行交叉操作后,必须判断前后串实值关系。如果子区约束条件仍满足,则产生新个体;否则,重新进行交叉操作。交叉率取0.9。

Step 5 变异。

同交叉操作一样,变异操作后同样需进行前后串实值关系判断。变异率取0.001。

Step 6 循环迭代。
重复 Step 2 - Step 6,至最大迭代次数,取 10.

道干线实行分子区协调控制,该干线不存在明显的地理分割特征.考虑到经典 MAXBAND 模型主要适用于干线直行车流为主且支路转入干线车流小的交通条件,本文将 Synchro 中的左转交通流设为允许左转,交叉口为定时两相位控制,各交叉口初始周期由 Synchro 优化所得.路网数据如表 1 所示.

5 数值算例分析

5.1 算例路网

利用模型对一条具有 20 个信号灯的双向六车

表 1 路网数据
Table 1 Data of numerical example

编 号	周 期(s)	间 距(m)	东进口(pcu/h)			西进口(pcu/h)			南进口(pcu/h)			北进口(pcu/h)		
			左	直	右	左	直	右	左	直	右	左	直	右
1	60	—	62	1 409	82	56	1 361	138	40	200	52	38	219	109
2	60	348	85	1 254	42	131	1 291	114	24	179	42	54	150	51
3	60	690	50	1 084	85	98	908	68	15	150	38	31	168	75
4	55	600	50	1 328	68	90	1 426	128	50	500	48	40	480	50
5	70	532	133	1 245	69	90	1 342	48	50	180	50	50	180	50
6	50	298	32	1 053	100	85	1 246	120	50	800	120	42	650	62
7	45	454	59	1 095	156	100	1 200	96	75	350	123	52	520	48
8	55	780	49	1 208	81	86	1 164	250	-	440	72	-	520	156
9	45	483	120	1 325	150	68	1 209	100	-	850	150	-	1 000	150
10	60	349	64	1 672	64	60	1 528	100	56	240	38	32	134	51
11	60	644	36	1 483	250	45	1 250	360	45	700	67	40	680	78
12	50	403	102	1 345	157	100	1 230	141	60	450	59	86	349	87
13	60	357	72	1 600	152	105	1 644	134	51	321	37	50	260	50
14	70	523	64	1 500	321	53	1 589	78	45	289	60	68	450	78
15	55	519	45	1 526	167	98	1 614	58	-	750	75	-	700	140
16	50	344	100	1 456	120	104	1 389	100	-	700	169	-	700	152
17	55	518	68	1 500	52	100	1 324	156	42	500	35	36	324	72
18	55	398	103	1 675	110	120	1 582	150	-	289	58	-	442	64
19	55	780	58	1 329	213	64	1 439	156	34	304	112	25	256	144
20	65	406	64	1 350	64	76	1 292	120	28	504	76	48	544	128

5.2 分段及配时方案比较

保持交叉口间距不变,利用表 1 的原始数据(后文称为 demand 1)产生另外两组数据(demand 2 和 demand 3).其中 demand 2 是将 demand 1 的数据进行倒序排列,demand 3 是将 demand 1 的后十组与前十组数据互换.利用本文模型对上述 3 种交通场景进行子区划分及配时方案计算.分区结果如表 2 所示.

由表 2 可知,对于每种流量组合而言,尽管分

段数不同,但是分段点大致相同,且流量相对较大或距离相隔较远的交叉口在 3 种分段方案中一般都成为分段点.如 demand 1 中的 5、8、14;demand 2 中的 7、16 及 demand 3 中的 8、9.

利用 Synchro 生成 9 种对比方案.为了保证方案的公平性,我们使 Synchro 9 种方案中的路段设计速度与模型优化的 9 种方案的设计速度对应保持一致.其分段结果如表 3 所示.

表 2 模型分段结果

Table 2 Partitioning results generated by model

流量组合	分段方案								
	4 段			5 段			6 段		
	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)
Demand 1	1-4	61	57	1-4	61	57	1-4	61	57
	5-10	60	53	5-7	60	53	5-7	60	53
	11-14	60	60	8-10	64	58	8-11	64	58
	15-20	60	55	11-14	60	60	12-14	63	63
				15-20	60	55	15-17	60	60
							18-20	75	65
Demand 2	1-5	68	50	1-3	66	57	1-3	66	57
	6-9	80	80	4-6	56	52	4-6	57	53
	10-15	61	52	7-9	80	80	7-9	80	80
	16-20	75	72	10-15	61	52	10-13	59	52
				16-20	75	72	14-16	66	58
							17-20	75	72
Demand 3	1-5	61	56	1-5	61	56	1-3	51	51
	6-8	63	66	6-8	63	66	4-6	60	52
	9-14	55	51	9-11	55	51	7-9	63	67
	15-20	60	53	12-17	60	53	10-12	75	69
				18-20	63	57	13-17	60	53
							18-20	63	57

表 3 Synchro 分段结果

Table 3 Partitioning results generated by Synchro

流量组合	分段方案								
	4 段 [△]			5 段 [△]			6 段 [△]		
	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)	分 段	周 期(s)	子区双向 带宽(s)
Demand 1	1-8	56	21	1-5	60	53	1-5	60	53
	9	43	-	6-10	54	45	6-10	51	26
	10	77	-	11-14	56	57	11-14	62	67
	11-20	56	11	15-18	51	40	15-20	52	34
				19-20	59	61			
Demand 2	1-10	56	20	1-16	53	3	1-2	53	56
	11-16	53	35	17-18	55	58	3-7	55	42
	17-18	58	59	19-20	57	72	8-13	53	21
	19-20	63	78				14-20	51	39
Demand 3	1-10	56	16	1-16	55	0	1-2	53	62
	11-18	53	12	17-18	52	50	3-10	56	20
	19	43	-	19	43	-	11-14	61	65
	20	77	-	20	77	-	15-18	51	26
							19	43	-
							20	77	-

注: △并不表示 Synchro 优化的分段数, 仅为方便表示配时方案, 分段方案与表 2 相同表示对应的交通场景(流量、路段设计速度)相同。

由表 3 可知, Synchro 划分在同一子区内的交叉口数量是没有限制的. 由于其在划分时没有考虑最终的协调控制效率, 可能会导致子区的绿波带宽很小, 甚至无法得到子区带宽. 而本文模型考虑

了子区内信号灯数量对带宽的影响,可保证每个子区具有足够的带宽.由表2和表3计算可知,Synchro为各子区提供的平均带宽有效率为36%(不计单个交叉口),而本文模型能够提供高达46%的平均带宽有效率,提高率为27.8%.带宽有效率由式(17)计算.

$$\text{带宽有效率}(\%) = \frac{B_a + B_b}{2 \times C} \times 100\%$$

(17)

式中 B_a 为出口方向带宽(s); B_b 为进口方向带宽(s); C 为公共周期(s).

平均带宽有效率即为每种划分方法下的9种分段方案所有子区带宽有效率的均值.值得注意的是,不同于由模型优化所得平均带宽有效率(46%),Synchro显示的带宽包含了黄灯时间(本文设为3 s),因此计算的平均带宽有效率(36%)实际

上会偏大.

5.3 CORSIM微观仿真评价

各子区更大的绿波带宽,意味着干线直行车辆能够以更少的停车次数通过干线.但是基于带宽的协调配时方法存在一定的局限性,即在优化时没有考虑交通流和交叉口的通行能力,因此并不一定能优化其他与延误有关的性能指标^[1].另外,由于协调车流在分段点处容易被信号灯打断,可能引起额外的延误.而Synchro则以最小化路网性能指标,包括控制延误、排队延误和停车数为优化目标.为了评价模型的控制效果,采用demand 1下的6种配时方案进行CORSIM仿真.每种方案采用不同的随机种子数仿真10次,仿真均值如表4所示.其中延误为干线双向平均车均延误,停车率为总的停车数除以总的通过车辆数.

表4 微观仿真结果
Table 4 Results of simulation

Model			Synchro		
延误(s/pcu)	停车率(%)	平均速度(km/h)	延误(s/pcu)	停车率(%)	平均速度(km/h)
185.89	29.07	39.28	189.67	31.46	38.95
178.07	28.60	39.46	183.32	29.87	39.17
185.96	29.80	40.26	187.24	31.05	40.22

由表4可看出,本文提出的方法在干线3项评价指标中均具有一定程度的优势.对于本算例而言,本文模型优化的3种分段方案具有相似的控制效果.就干线延误及停车率而言,分为5段的控制方案最优,其主要原因是该方案提供的干线绿波带宽时间最大.分为6段的方案具有最大的平均速度,因为其路段设计速度最大.由此分析可知,分段数增加时,协调控制效果不一定会变得更好.

6 研究结论

本文建立的干线分子区协调配时模型是可行的.本文针对传统干线子区划分方法存在分段点判断阈值具有主观性的缺点,基于经典的MAXBAND模型提出了干线分子区协调配时模型.该模型计算的分段点一般为周期相对较大或间距较大的交叉口.与Synchro优化的配时方案相比,本文模型使得平均带宽有效率提高了27.8%,且具有更优的控制效果.

本文模型并未考虑左转相位的优化问题,但对于考虑左转的模型也可以通过本文提出的类似方法进行建模和求解.

参考文献:

[1] Yang X K. Comparison among computer packages in providing timing plans for Iowa Arterial in Lawrence, Kansas[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(4):314 - 318.

[2] Lin L T, Tung L W, Ku H C. Synchronized signal control model for maximizing progression along an arterial[J]. Journal of Transportation Engineering, 2009, 136(8): 727-735.

[3] 马楠,邵春福,赵熠. 干道信号交叉口群协调控制系统中的影响因素[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(6): 112-117. [MA N, SHAO C F, ZHAO Y. Influence factors of coordination control system in signalized intersections[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 43(6): 112-117.]

参考文献:

- [1] G A Davis, N L Nihan. Nonparametric regression and short-term freeway traffic forecasting[J]. J. Transp. Eng., 1991,117(2): 178-188.
- [2] 张玉梅,曲仕茹,温凯歌. 基于混沌和RBF神经网络的短时交通流量预测[J].系统工程,2007,25(11):26-32. [ZHANG Y M, QU S R, WEN K G. A short-term traffic flow forecasting method based on chaos and rbf neural network[J]. Systems Engineering, 2007, 25(11):26-32.]
- [3] 李进燕,朱征宇,刘琳. 基于简化路网模型的卡尔曼滤波多步行程时间预测方法[J]. 系统工程理论与实践, 2013,33(5):1289-1297. [LI J Y, ZHU Z Y, et al. Multi step Kalman filtering travel time estimation method based on simplified road network model[J]. Systems Engineer Theory & Practice,2013,33(5):1289-1297.]
- [4] 李琦,姜桂艳. SCATS 线圈数据短时多步双重预测方法[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(2):123-128. [LI Q, JIANG G Y, Bi-level method of multi-step forecasting for short-term data of loop in SCATS[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013,45(2): 123-128.]
- [5] H Nicholson, C D Swann. The prediction of traffic flow volumes based on spectral analysis[J]. Transport Res., 1974, 8: 533-538.
- [6] Tigran T Tchakian, Biswajit Basu, et al. Real-time traffic flow forecasting using spectral analysis[J]. Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012,13(2):519-526.
- [7] W B Davenport, W L Root. An introduction to the theory of random signals and noise[M]. New York: McGraw-Hill, 1958.

上接第106页

- [4] Hook D, Albers A. Comparison of alternative methodologies to determine breakpoints in signal progression[C]//In Compendium of Technical Papers for the 69th Annual Meeting of the ITE, 1999.
- [5] 陈宁宁. 信号控制子区动态划分及区域自适应协调控制研究[D]. 广东: 中山大学, 2010. [CHEN N N. Research on sub-area dynamic division and adaptive coordinated signal control[D]. Guang dong: Sun Yat-Sen University, 2010.
- [6] Tian Z, Urbanik T. System partition technique to improve signal coordination and traffic progression[J]. Journal of Transportation Engineering, 2009, 133(2): 119-128.
- [7] Zhang T, Zhang Y. System partition method to improve arterial signal coordination[C]//Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, 2014.
- [8] Little J D C. The synchronization of traffic signals by mixed-integer linear programming[J]. Operations Research, 1966, 14(4): 568-594.
- [9] 罗斯 罗格, 普拉萨丝 艾琳娜, 米山尼 威廉姆. 交通工程(应用)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008. [Roger P R, Elena S P, William R M. Traffic engineering (Application) [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.
- [10] Husch D, Albeck J. Synchro 6: Traffic signal software-user guide[M]. Trafficware Limited, 2003.
- [11] Zhang L, Yin Y. Robust synchronization of actuated signals on arterials[J]. Transportation Research Record: Journal of The Transportation. Research Board, 2008, 2080(1):111-119.

上接第119页

- [5] Vansteenwegen P, Oudheusden V D. Developing railway timetables which guarantee a better service[J]. European Journal of Operational Research, 2006 (173):337-350.
- [6] 何韬, 毛保华, 杨远舟. 地铁换乘站线路间列车到站间隔优化问题研究[J]. 物流技术, 2011, 30(6): 118-121. [HE T, MAO B H, YANG Y Z. Optimization of arrival intervals at metro interchange stations[J]. Logistics Technology, 2011, 30(6): 118-121.]
- [7] Nachtigall K, Voget S. Minimizing waiting times in integrated fixed interval timetables by upgrading railway tracks[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 103(3): 610 - 627.
- [8] Goverde R M P. Improving punctuality and transfer reliability by railway timetable optimization[C]. Proceedings of TRAIL 5th Annual Congress, Delft, Netherlands, 1999.
- [9] 时颖. 我国高速铁路列车运行图采用模式的分析[J]. 铁道学报, 2000, 22(1):92-97. [SHI H. Analysis on rational applied modes of high-speed train diagram in our country[J]. Journal of the China Railway Society, 2000, 22(1):92-97.]