

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2011.10.018

# 非对称放行方式下的干道双向绿波协调控制

姬利娜, 宋清华

(安阳工学院, 河南 安阳 455000)

**摘要:** 通过对对称放行和非对称放行两种方式下的双向绿波设计进行比较, 针对非对称放行方式的特点, 根据绿波协调控制需求, 进行独特的搭接相位设计, 并在相位差的计算过程中考虑各路段行驶车速和红灯排队车辆的影响。在此基础上, 提出了一种新的干道绿波协调控制实用设计方案, 并通过其在昆明市滇池路上的应用验证了其准确性与有效性。

**关键词:** 交通工程; 非对称放行; 双向绿波; 公共信号周期; 搭接相位; 相位差; 绿波带宽度

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2011) 10-0096-06

## Bidirectional Green Wave Coordinate Control for Arterial Road under Asymmetric Signal Mode

Ji Lina, SONG Qinghua

(Anyang Institute of Technology, Anyang Henan 455000, China)

**Abstract:** Compared with bidirectional green wave design under symmetric and asymmetric signal modes, aimed at characteristics of asymmetric signal mode, connecting phase was designed specially according to the demand of green wave coordinate control, and the driving speed on road and queue length when vehicles come across intersection was considered in the process of phase difference computation. Then, a new design of green wave coordinate control for arterial road was proposed, its accuracy and effectiveness were verified on Dianchi Road of Kunming.

**Key words:** traffic engineering; asymmetric signal mode; bidirectional green wave; common signal cycle; connecting phase; phase difference; green wave bandwidth

### 0 引言

随着社会和经济的发展, 城市中的交通工具日益增多, 城市各主干道的交通压力也随之增大。要缓解这一压力, 提高交通流量, 防止出现交通堵塞, 目前常用的一种方法就是把主干道上—批相邻的交叉路口的交通信号连接起来, 加以协调控制, 使主干道车辆通过这些交叉口时尽可能的遇到绿灯, 为主干道直行方向的车队提供最大绿波带, 减少干道上的延误和停车率, 以保证主干道上的车辆能够畅通, 这种方法称为干道绿波协调控制<sup>[1]</sup>。

常用的干道绿波协调控制方法有很多, 如图解法、数解法<sup>[2]</sup>、Purdy法、Maxband法以及Multiband法<sup>[3-4]</sup>等。其中, 图解法是通过作图的方法, 确定协调控制系统的公共信号周期与相位差; 数解法是通过数值计算的方法, 寻求最小偏移绿信比; 求解协调控制配时参数; Purdy法是一种公共信号周期固定情况下的相位差优化设计方法; Maxband法与Multiband法均是通过建立绿波带宽度的线性规划模型, 利用混合整数线性规划方法实现信号配时参数的优化求解。然而, 上述绿波协调控制方法主要适用于干道进口直行方向采用对称放行方式(几何条

收稿日期: 2011-06-02

作者简介: 姬利娜(1983-), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生, 讲师。(jilina\_520@yahoo.com.cn)

件对称、对向流向均衡)的干道交叉口群,而难以满足非对称放行方式下的干道双向绿波协调控制设计要求。本文中笔者将针对进口非对称放行相位设计方式的特点,结合实际的交通流状况,提出了一种新的干道双向渐变绿波协调控制方案,并通过算例分析验证了该方案的有效性与实用性。

### 1 进口对称放行方式下的双向绿波设计<sup>[5]</sup>

进口对称放行方式下的双向绿波设计一般情况下运用数解法,通过寻求与实际交叉口间距最为匹配的理想交叉口间距,从而确定最佳公共信号周期与相位差,以期使干道协调控制系统能获得尽可能大的绿波带宽度和较为理想的协调控制效果。其计算步骤为:①确定初始公共信号周期 $C_m$ ;②确定理想交叉口间距 $S_i$ 的取值范围 $[VC_m/2 - \Delta S_i, VC_m/2 + \Delta S_i]$ ,其中 $V$ 为绿波带速度, $\Delta S_i$ 为理想交叉口间距变化浮动范围;③确定最合适的理想信号位置,保证最佳理想交叉口间距与实际交叉口间距最为匹配;④作连续行驶通过带;⑤根据各交叉口相对于理想交叉口位置所处的方位,确定其相位差大小;⑥计算双向绿波带宽度 $B_w$ 。

### 2 进口非对称放行方式下的双向绿波设计

非对称放行绿波设计主要参数有周期时长、绿信比和相位差。下面分别说明这3个关键参数的确定方法。

#### 2.1 周期时长

各个交叉口单点控制信号配时设计大多采用F·韦伯斯特-B·柯布理论和他们所提出的方法(简称F-B法),其基本点是:车辆通过交叉口时,以其受阻延误时间作为唯一的衡量指标进行信号配时。F-B法的周期计算公式如下:

$$c = \frac{1.5L + 5}{1 - Y}, \quad (1)$$

式中, $c$ 为周期时间; $L$ 为每周期总损失时间; $Y$ 为交叉口关键相位最大流量比之和。

通过上述计算可得到各个交叉口的周期时长,一般的绿波协调控制设计方法取协调交叉口的最大信号周期作为公共周期,没有考虑到公共周期与绿波控制效果的关系。本文在进行非对称放行方式下的双向绿波设计时,其公共周期时长的确定不仅考虑到各交叉口实际交通需求,而且根据交叉口间距求出适合双向绿波协调控制的最佳周期,最后,综合比较确定适应协调控制要求的公共信号周期。

当交叉口间距满足式(2)时可取得最佳效果:

$$S = \frac{vc}{2} \times n, \quad (2)$$

式中, $S$ 为交叉口间距; $v$ 为车流行驶速度; $c$ 为周期时长; $n$ 为非负整数。

由公式(2)反推出能取得最佳绿波效果的理想信号周期公式如下:

$$c = \frac{2S}{n \times v}. \quad (3)$$

#### 2.2 绿信比

为保证绿波控制效果,在保证非协调相位饱和度不超过实用限值 $x_p$ (一般取 $x_p = 0.9$ )的基础上,将剩余的绿灯时间全部分给协调相位。因此根据交叉口车辆到达均衡公式 $c_m q_n = S_n g_{ne} x_p$ 可计算得到非协调相位有效绿灯时间为:

$$g_{ne} = \frac{c_m q_n}{S_n x_p} = \frac{c_m y_n}{x_p}, \quad (4)$$

式中, $g_{ne}$ 为非协调相位有效绿灯时间; $c_m$ 为公共周期时长; $q_n$ 为非协调相位关键车道的流量; $S_n$ 为协调相位关键车道的饱和流量; $x_p$ 为非协调相位饱和度实用限值; $y_n = \frac{q_n}{S_n}$ 为非协调相位关键车道流量比。

进而通过有效绿灯时间和显示绿灯时间的关系,确定非协调相位绿灯显示时间 $g_n$ :

$$g_n = g_{ne} - I_n + l_n, \quad (5)$$

式中, $g_n$ 为非协调相位绿灯显示时间; $I_n$ 为非协调相位绿灯间隔时间; $l_n$ 为非协调相位的损失时间。

通过公式(4)、(5)即可求出非协调相位的有效绿灯及显示绿灯时间,在确定所有非协调相位绿灯时间后,协调相位有效绿灯时间可由公式(6)确定:

$$g_c = C - L - \sum g_{ne}, \quad (6)$$

再由公式(5)即可确定协调相位的显示绿灯时间。

#### 2.3 相位差

非对称放行方式下的绿波协调设计相位差的确定步骤如下:

(1)分别对两个协调方向进行单向协调绿波计算,确定单向协调的最佳相位差。单向协调的相位差计算公式如下:

$$o = \text{mod}\left(\frac{T}{c}\right), \quad (7)$$

式中, $o$ 为单向协调相位差; $T$ 为机动车单向行驶时间。

$$T = \frac{L}{u}, \quad (8)$$

式中,  $L$  为相邻交叉口停车线间的距离;  $u$  为路段上车辆的平均行驶速度;  $c$  为协调控制交叉口的公共周期时长。

(2) 考虑排队车辆影响, 对理论最优相位差做修正。由于上游交叉口右转车流和冲突相位左转车流的汇入, 使得协调相位车流到达本交叉口时已有部分车辆排队, 因此应对公式 (7) 做修正, 使下游交叉口提前起亮绿灯, 以保证在协调车流到达下游交叉口时排队车辆已消散完毕。修正后的相位差计算公式如下:

$$o = \text{mod}\left(\frac{T}{c}\right) - \Delta t, \quad (9)$$

$$\Delta t = \frac{3600 \times m}{S}, \quad (10)$$

式中,  $\Delta t$  为下游排队车辆消散时间;  $m$  为下游排队车辆数;  $S$  为下游排队车流的饱和流率。

这里主要需要确定的是  $m$  值, 有两种确定  $m$  的方法, 第一是通过实际交通调查, 直接对交叉口协调相位红灯其间排队车辆数进行统计, 根据实际调查结果确定  $m$  的取值; 第二是根据协调相位上游交叉口相关相位的流量及协调相位的红灯时间来确定协调相位红灯期间的排队车辆, 具体计算公式如下:

$$m = \frac{\sum n_i q_i r}{n}, \quad (11)$$

式中,  $n_i$  为上游  $i$  相位的进口车道数;  $q_i$  为上游  $i$  相位的流率;  $r$  为协调相位的红灯时间;  $n$  为协调相位进口车道数。

(3) 根据计算所得两个协调方向的相位差及绿信比, 利用图解法画出基本的渐变式双向绿波协调控制图。

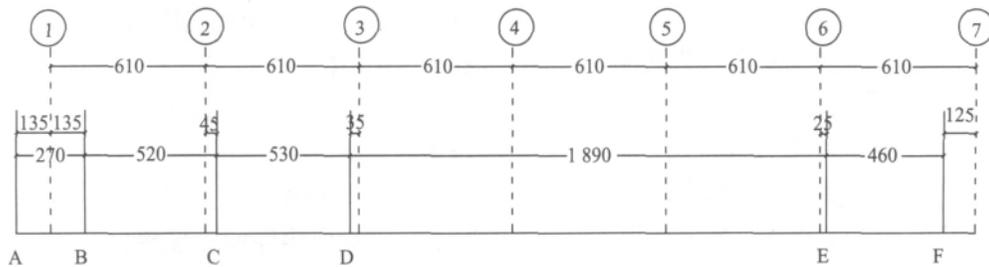


图 1 理想信号与实际信号相对位置 (单位: m)

Fig. 1 Relative position between ideal signal and actual signal (units: m)

④作连续行驶通过带, 并根据各交叉口相对于理想交叉口位置所处的方位, 确定其相位差大小,

### 3 算例分析

滇池路位于昆明市西山区的繁华地段, 南北向, 为双向 6 或 8 车道, 交通流量大; 相交的支路车道数较少, 车流也明显少于主路。另外, 滇池路沿线交叉口距离较为接近, 符合绿波设计的理想条件。于是, 选取滇池路上相邻的 8 个交叉口进行双向绿波协调设计, 滇池路上污水处理厂交叉口和广福路口由高架桥相连接, 故在做绿波设计时把位于高架桥下方的南亚风情园和南三环 2 个交叉口略去, 因此, 实际纳入线控系统范围内的有 6 个交叉口。为便于表达, 首先从环西路交叉口开始, 依次赋予滇池路上各线控交叉口代码为 A、B、C、D、E、F, 各交叉口类型、距离和行驶时间见表 1。

表 1 滇池路各交叉口类型、间距和行驶时间

Tab. 1 Type, headway and driving time at each intersection on Dianchi Road

交叉口名称	五华体育馆	西园路	金牛小区	污水处理厂	广福路	质监局
类型	T	十字	T	十字	十字	T
代码	A	B	C	D	E	F
间距/m	—	272	515	533	1894	458
A-F 行驶时间/s	—	29	60	38	113	32
F-A 行驶时间/s	26	52	45	113	29	—

在对称放行条件下, 运用数解法协调滇池路线控系统相邻信号间的时差。

①确定初始公共信号周期  $C_m = 110$  s;

②确定理想交叉口间距  $S_i$  的取值范围 [51, 71];

③确定最合适的理想信号位置, 计算得出理想信号距 A 为 135 m, 即为第一理想信号, 然后按次每 610 m 间隔将各理想信号列在各实际信号间, 如图 1 所示;

计算双向绿波带宽度  $B_w$ , 结果如表 2 所示。

表 2 绿时差计算结果

Tab. 2 Calculation result of green signal offset

交叉路口	A	B	C	D	E	F
理想信号 NO	①	①	②	③	⑤	⑤
各信号位置	左	右	右	左	右	左
绿信比 $\lambda/\%$	45	67	73	64	54	63
损失 $l/\%$	22	22	7	6	4	20
有效绿信比 $l/\%$	23	45	66	58	50	43
绿时差 $l/\%$	77.5	66.5	13.5	68	23	68.5

从表 2 中可知, 连续通过带的带宽为 A 交叉口的有效绿信比 23% 与 B 交叉口的有效绿信比 45% 的平均值 34%。

以上计算结果, 可用图 2 所示的时间 - 距离表示。图 2 表示的是滇池路上 6 个连续信号交叉口的干线控制系统的时距图, 以周期时长时间 (即信号配时) 作为纵坐标, 干道上交叉口间的距离作为横坐标。

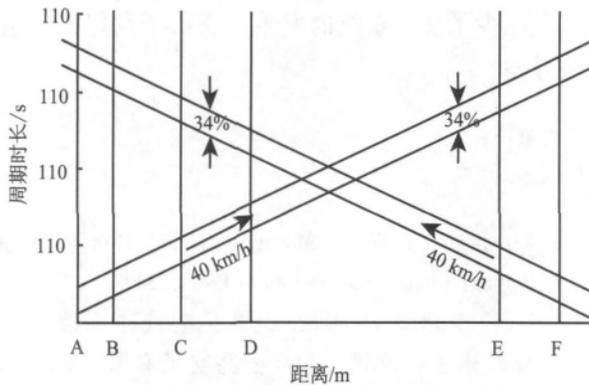


图 2 对称放行双向绿波设计结果

Fig. 2 Bidirectional green wave design result under symmetric signal mode

在对滇池路进行非对称放行双向绿波控制设计时, 首先根据绿波协调控制需求, 需对污水处理厂交叉口的相位相序进行优化, 增加一个搭接相位, 如表 3 所示。

其次, 确定公共周期。滇池路绿波设计中已知设计车速为 40 km/h (11 m/s), 各交叉口间距如表 1 所示, 由公式 (3) 可计算得出各交叉口间的理想周期如下。

$$\text{交叉口 A 至 B 的理想周期为: } \frac{272 \times 2}{11} \approx 50 \text{ s};$$

$$\text{交叉口 B 至 C 的理想周期为: } \frac{515 \times 2}{11} \approx 94 \text{ s};$$

$$\text{交叉口 C 至 D 的理想周期为: } \frac{533 \times 2}{11} \approx 97 \text{ s};$$

表 3 污水处理厂交叉口优化配时计算结果

Tab. 3 Result of signal timing optimizing design for sewage treatment plant intersection

	相位 1	相位 2	相位 3
相位			
绿灯时间/s	15	60	26

注: 图中实线箭头代表机动车, 单向虚线箭头代表非机动车, 双向虚线箭头代表行人。

$$\text{交叉口 D 至 E 的理想周期为: } \frac{1894 \times 2}{11 \times 3} \approx 115 \text{ s};$$

$$\text{交叉口 E 至 F 的理想周期为: } \frac{515 \times 2}{11} \approx 94 \text{ s}.$$

根据试算可知, 各绿波协调控制交叉口的理想周期均在 100 s 左右 (交叉口 A 至 B 理想周期为 50 s, 但取 2 倍即为 100 s), 同时结合各交叉口流量数据, 利用单点信号配时方法计算可得到各交叉口最佳周期均在 120 s 左右, 因此综合考虑选取平均值 110 s 作为各交叉口的公共周期。

然后, 计算协调相位的绿灯显示时间。以污水处理厂交叉口为例, 由公式 (4) 计算得出非协调相位有效绿灯时间  $g_{1e}$  和  $g_{2e}$ 。

$$g_{1e} = \frac{c_m q_1}{S_1 x_p} = \frac{c_m y_1}{x_p} = \frac{110 \times 0.123}{0.9} = 15 \text{ s},$$

$$g_{2e} = \frac{c_m q_2}{S_2 x_p} = \frac{c_m y_2}{x_p} = \frac{110 \times 0.213}{0.9} = 26 \text{ s}.$$

$$\text{由公式 (6) 确定协调相位有效绿灯时间 } g_e = C - L - \sum g_{ne} = 110 - 3 \times 3 - 41 = 60 \text{ s}$$

再由公式 (5) 求出污水处理厂交叉口协调相位及所有非协调相位的显示绿灯时间。

最后考虑行驶车速和排队车辆影响, 对理论最优相位差做修正, 利用图解法进行反复调整, 可得到滇池路双向绿波协调控制的最终控制方案如表 4、表 5 所示。

表 4 非对称放行时各交叉口信号配时计算结果

Tab. 4 Calculation result of signal timing design for each intersection under asymmetric signal mode

交叉口	相位 1	相位 2	相位 3
五华体育馆交叉口	50	33	18
西园路交叉口	70	34	无
人大常委会交叉口	75	29	无
污水处理厂交叉口	15	60	26
广福路交叉口	60	25	16
质监局交叉口	70	34	无

注: 公共周期  $c = 110 \text{ s}$

表5 滇池路各交叉口相位差计算结果

Tab.5 Calculation result of phase difference for each intersection on Dianchi Road

方向	绝对相位差/s					
	五华体育馆交叉口	西园路交叉口	人大交叉口	污水处理厂交叉口	广福路交叉口	质监局交叉口
A-F	0	10	60	3	—	—
F-A	—	10	60	18	28	0

注: 滇池路绿波协调控制公共周期  $c=110\text{ s}$

采用表3、表4所示配时方案, 可得到双向渐变式绿波协调控制效果, 双向最小带宽为50s, 最大带宽为70s, 如图3所示。通过TransModeler模拟软件对两种绿波控制方案的控制效果进行比较, 主要评价指标有车辆平均延误、平均停车次数等, 比较结果见表6。

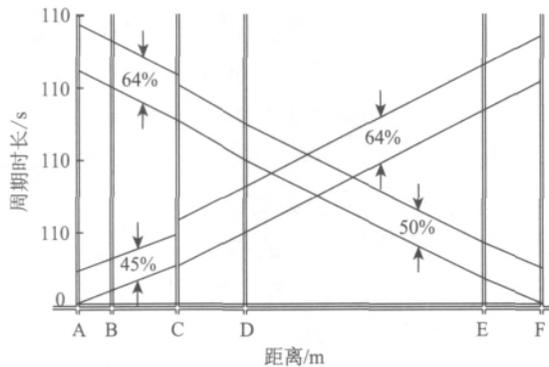


图3 非对称放行渐变式双向绿波设计结果

Fig.3 Design of gradual bidirectional green wave control under asymmetric signal mode

表6 2种方案双向绿波控制效果对比

Tab.6 Contrast of effect between two schemes of bidirectional green wave control

交叉 口	方向	平均延误/(s · veh <sup>-1</sup> )		平均停车次数/(stops · veh <sup>-1</sup> )			
		方案1	方案2	延误改善/%	方案1	方案2	停车改善/%
A	A-F方向	128.8	117.2	9.01	1.3	1.1	15.38
	F-A方向	23.9	24.1	-0.84	0.4	0.5	-25.00
B	A-F方向	45.9	38.8	15.47	0.9	0.6	33.33
	F-A方向	51.2	40.9	20.12	1.2	1.0	16.67
C	A-F方向	48.3	41.2	14.70	1.1	0.9	18.18
	F-A方向	32.4	21.2	34.57	0.7	0.4	42.86
D	A-F方向	40.4	19.8	50.99	0.9	0.4	55.56
	F-A方向	27.0	19.8	26.67	0.5	0.4	20.00
E	A-F方向	37.2	32.3	13.17	0.6	0.5	16.67
	F-A方向	28.7	24.6	14.29	0.4	0.3	25.00
F	A-F方向	18.4	14.8	19.57	0.2	0.1	50.00
	F-A方向	27.9	26.8	3.94	0.3	0.2	33.33

注: 方案1代表对称放行方式下的双向绿波, 方案2代表非对称放行方式下的双向绿波。

由此可见, 在滇池路采用非对称放行方案所得到的绿波带宽比对称放行方案提高了35%~89%, 且能够有效地协调干道交叉口群, 使车辆在各个交叉口上的平均延误和停车次数大大地降低, 提高通行效率。

#### 4 结语

综上所述, 与对称放行方式下的传统绿波实现方法相比, 笔者所提的双向渐变式绿波实现方法, 适用于由于几何条件不对称或对向流向不均衡而采用非对称放行的干道交叉口群。该方案利用独特的搭接相位的设计, 并在修正最优相位差时充分考虑了行驶速度和排队车辆的影响, 能够优化交叉口的信号相序组合, 选取协调控制的信号配时参数, 实现绿波带宽度的最大化。上述方法在滇池路交叉口群的应用中取得了良好的效果, 不仅车辆的行车延误降低, 而且减少车辆的频繁启动和制动, 最大程度上减少了交通事故的发生, 获得了良好的社会、经济效益。

#### 参考文献:

#### References:

[1] XU Jianmin. Traffic Management and Control [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.

[2] 卢凯, 徐建闽, 叶瑞敏. 经典干道协调控制信号配时数解算法的改进 [J]. 公路交通科技, 2009, 26(1): 120-124, 129.  
LU Kai, XU Jianmin, YE Ruimin. Improvement of Classical Algebraic Method of Signal Timing for Arterial Road Coordinate Control [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(1): 120-124, 129.

[3] GAZIS D C. Traffic Theory [M]. New York: Springer, 2002.

[4] LITTLE J D C. The Synchronization of Traffic Signals by Mixed-integer Linear Programming [J]. Operations Research, 1966, 14(4): 568-594.

[5] 杨佩昆, 张树升. 交通管理与控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999: 86-120.  
YANG Peikun, ZHANG Shusheng. Traffic Management and Control [M]. Beijing: China Communications Press, 1999: 86-120.

[6] 陈喜群, 李瑞敏. 基于仿真的交通信号控制优化策略研究 [J]. 交通与计算机, 2007, 25(5): 17-20.  
CHEN Xiqun, LI Ruimin. Traffic Signal Control Optimization Strategy Based on Simulation [J]. Computer

- and Communications , 2007 , 25 ( 5) : 17 - 20.
- [7] 邹成伟, 李志海, 于冬意. 哈尔滨市红旗大街线控制系统设计 [J]. 应用科技, 2002, 29 ( 5) : 30 - 33.  
ZOU Chengwei, LI Zhihai, YU Dongyi. Design of Linear Control System in Hongqi Street in Harbin [J]. Applied Science and Technology, 2002, 29 ( 5) : 30 - 33.
- [8] 陈旭梅, 李永猛, 黄官中. 安宁绿波带: 一种改善安全和减少环境影响的新思路 [J]. 公路交通科技, 2000, 17 ( 2) : 42 - 44.  
CHEN Xumei, LI Yongmeng, HUANG Guanzhong. Calming Green Waves: A New Way to Improve Safety and Environmental Impact [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17 ( 2) : 42 - 44.
- [9] 苏志忠, 梅林, 李学敏, 等. 一种新的双向绿波实用设计方法 [J]. 交通标准化, 2009, 210: 223 - 226.  
SU Zhizhong, MEI Lin, LI Xuemin, et al. A New Two-way Green Wave Design Method [J]. Transport Standardization, 2009, 210: 223 - 226.
- [10] 林晓辉, 徐建闽, 卢凯, 等. 各进口单独放行条件下的双向绿波设计方法研究 [J]. 交通与计算机, 2007, 25 ( 5) : 8 - 12.  
LIN Xiaohui, XU Jianmin, LU Kai, et al. A Design Method of Two Way Green Wave of Each Phase for Entrance [J]. Transport and Computer, 2007, 25 ( 5) : 8 - 12.
- [11] LU Jian. Development of a Measuring System for Measuring International Roughness Index and RIDE Number for Calibration [R]. University of South Florida, 2002.
- [12] PING W V. Use of FWD for Evaluating Pavement Surface Cracking [C] // Proceedings. 4th International Conference on Road & Airfield Pavement Technology. Kunming [s. n. ], 2002: 23 - 25.
- [13] 卢凯, 徐建闽, 李轶舜. 进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法 [J]. 中国公路学报, 2010, 23 ( 3) : 95 - 101.  
LU Kai, XU Jianmin, LI Yishun. Algebraic Method of Arterial Road Coordinate Control for Bidirectional Green Wave under Signal Design Mode of One-phase-one-approach [J]. China Journal of Highway and Transport, 2010, 23 ( 3) : 95 - 101.
- 
- ( 上接第 85 页)
- [11] 裴钟哲, 刘小明. 用方位角算法和转向角算法解决节点权重问题 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 ( 5) : 103 - 108.  
PEI Zhongzhe, LIU Xiaoming. Using Azimuth Algorithm and Turn - angle Algorithm to Solve Nodal Weight Problem [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 ( 5) : 103 - 108.
- [12] 周元峰, 张好智, 张琨, 等. 动态交通信息策略博弈协调模型研究 [J]. 中国公路学报, 2009, 22 ( 1) : 90 - 95.  
ZHOU Yuanfeng, ZHANG Haozhi, ZHANG Kun, et al. Research on Dynamic Traffic Information Strategy Model Based on Game - based Coordination [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22 ( 1) : 90 - 95.
- [13] 雷东升, 诸彤宇. 一种基于实时路况信息的动态路径规划算法 [J]. 计算机科学, 2008, 35 ( 4) : 28 - 30.  
LEI Dongsheng, ZHU Tongyu. A Dynamic Path Planning Algorithm Based on Real Time Traffic Information [J]. Computer Science, 2008, 35 ( 4) : 28 - 30.
- [14] GETTING I A. The Global Positioning System [J]. IEEE Spectrum, 1993, 12: 36 - 38, 43 - 47.
- [15] GARTNER N H, STAMATIADIS C. Integration of Dynamic Traffic Assignment with Real - Time Traffic Adaptive Control System [J]. Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board, 1998, 1644: 150 - 156.