

文章编号: 1001 7372 (2010) 03 0095 07

进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法

卢 凯, 徐建闽, 李轶舜

(华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510641)

摘要: 针对进口单独放行的信号相位设计方式, 遵循绿波带宽度最大化设计理念, 利用干道协调控制中的时距分析方法, 给出了进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法。通过优化选取各交叉口的信号相序组合, 确定干道交叉口的最佳公共信号周期与相位差取值, 计算不同干道行驶方向的绿波带宽度。分析结果表明: 与进口对称放行方式下的数解算法相比, 进口单独放行方式下的数解算法能使理想交叉口间距取值具有更大的选取空间, 更适合于对交叉口间距不齐的多个干道交叉口进行绿波协调控制; 进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制方法能够获得较好的控制效果, 特别是对于交叉口间距参差不齐的干道交通条件同样具有较强的适应性。

关键词: 交通工程; 双向绿波; 数解算法; 进口单独放行; 绿波带宽度; 公共信号周期; 相位差

中图分类号: U491.54

文献标志码: B

摘要: 针对进口单独放行的信号相位设计方式, 遵循绿波带宽度最大化设计理念, 利用干道协调控制中的时距分析方法, 给出了进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法。通过优化选取各交叉口的信号相序组合, 确定干道交叉口的最佳公共信号周期与相位差取值, 计算不同干道行驶方向的绿波带宽度。分析结果表明: 与进口对称放行方式下的数解算法相比, 进口单独放行方式下的数解算法能使理想交叉口间距取值具有更大的选取空间, 更适合于对交叉口间距不齐的多个干道交叉口进行绿波协调控制; 进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制方法能够获得较好的控制效果, 特别是对于交叉口间距参差不齐的干道交通条件同样具有较强的适应性。

关键词: 交通工程; 双向绿波; 数解算法; 进口单独放行; 绿波带宽度; 公共信号周期; 相位差

中图分类号: U491.54

文献标志码: B

摘要: 针对进口单独放行的信号相位设计方式, 遵循绿波带宽度最大化设计理念, 利用干道协调控制中的时距分析方法, 给出了进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法。通过优化选取各交叉口的信号相序组合, 确定干道交叉口的最佳公共信号周期与相位差取值, 计算不同干道行驶方向的绿波带宽度。分析结果表明: 与进口对称放行方式下的数解算法相比, 进口单独放行方式下的数解算法能使理想交叉口间距取值具有更大的选取空间, 更适合于对交叉口间距不齐的多个干道交叉口进行绿波协调控制; 进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制方法能够获得较好的控制效果, 特别是对于交叉口间距参差不齐的干道交通条件同样具有较强的适应性。

关键词: 交通工程; 双向绿波; 数解算法; 进口单独放行; 绿波带宽度; 公共信号周期; 相位差

收稿日期: 2009 07 13

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)项目(2006 06011); 国家自然科学基金项目(50878088);

教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(200805610005); 广东省工业科技攻关计划项目(2008 010200010)

作者简介: 卢 凯(1979), 男, 湖南长沙人, 讲师, 工学博士研究生, 电话: 139 2222 2222, 电子邮箱: lukai@scut.edu.cn

0 引言

干道绿波协调控制是将干道上的多个交叉口以一定方式联结起来作为研究对象,同时对各个交叉口进行相互协调的配时方案设计,使得尽可能多的干道行驶车辆可以获得不停顿的通行权。干道绿波带设计方法是通过追求绿波通行时间与公共信号周期比值的最大化,从而确定干道协调控制系统的信号配时参数,即以车辆连续绿波带带宽作为评价指标来研究干道配时方案的协调控制效果。

常用的干道绿波协调控制算法有很多,如图解法^[1]、数解法^[2]、穷举法^[3]、模拟退火法^[4]以及遗传算法^[5]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;穷举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;模拟退火法与遗传算法均是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。此外,文献[5]中运用数解算法的思想研究了路段行人过街信号与交叉口信号的协调控制问题。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的干道交叉口群,而难以满足进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制设计要求。

与进口对称放行方式相比,进口单独放行方式^[6-7]可以最大限度地均衡各流向车道的利用率、饱和度和停车延误,能够利用左直合用车道实时调整直行流向与左转流向的通行能力,以适应不同流向的实时交通需求,特别适用于几何条件不对称、左转车流量较大、对向流向不均衡的信号交叉口。然而,目前有关进口单独放行方式下的干道绿波协调控制研究甚少,文献[8]中提出的双向绿波设计方法也仅是通过作图方式求解协调控制配时参数,缺乏相关的理论分析证明,对于进口单独放行方式下的相序组合分析不够全面深入。本文中笔者将针对进口单独放行相位设计方式的特点,给出一种进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法,并通过算例分析验证算法的准确性与适用性。

1 进口对称放行方式下的数解算法

进口对称放行方式下的数解算法是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 T_0 ;②确定理想交叉口间距 L_0 的取值范围 $[L_0 - \Delta L, L_0 + \Delta L]$,其中, v 为绿波带速度, ΔL 为理想交叉口间距变化浮动范围;③求取最佳理想交叉口间距 L_{opt} ,保证最佳理想交叉口间距与实际交叉口间距最为匹配;④确定最终选用的最佳公共信号周期 T_{opt} ;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 W_{opt} 。

假若相邻交叉口间距参差不齐,由于理想交叉口间距取值惟一,实际交叉口位置可能无法处于理想交叉口位置附近,较大的偏移绿信比将会严重影响绿波带宽度,从而导致进口对称放行方式下的干道双向绿波协调控制方法可能难以取得理想的协调控制效果。

2 进口单独放行方式下的数解算法

进口单独放行方式下的数解算法是通过寻求与实际交叉口位置最为匹配的理想交叉口位置,从而确定各交叉口的最佳信号相序组合、公共信号周期与相位差,以期使干道协调控制系统的不同干道行驶方向均可获得尽可能大的绿波带宽度和较为理想的协调控制效果。

进口单独放行方式下的数解算法计算步骤如下:

步骤1:确定公共信号周期的允许变化范围。

对于干道上的 n 个交叉口,假设第 i 个交叉口的信号周期变化范围为 $[T_{min}^i, T_{max}^i]$,则干道协调控制系统的公共信号周期允许变化范围 $[T_{min}, T_{max}]$ 应取为 $[\max(T_{min}^1, T_{min}^2, \dots, T_{min}^n), \min(T_{max}^1, T_{max}^2, \dots, T_{max}^n)]$ 。

步骤2:计算不同公共信号周期取值与不同信号相序设置方式下的理想交叉口间距。

假设交叉口 i 与交叉口 j 为南北向干道相邻交叉口,交叉口 i 位于交叉口 j 以南;交叉口 i 与交叉口 j 均采用进口单独放行的相位设计方式,对于东、南、西、北4个进口放行相位无相序限制要求;公共信号周期取为 T ,设周期序号为 k ,交叉口 i 与交叉口 j 的东、南、西、北4个进口放行绿灯时间分别为 $g_{iE}^k, g_{iS}^k, g_{iW}^k, g_{iN}^k, g_{jE}^k, g_{jS}^k, g_{jW}^k, g_{jN}^k$,各信号相位之间的绿灯间隔时间均取为 λ ,绿波带速度取为 v 。针对交叉口 i 与交叉口 j 之间的不同相序组合,利用时距图可以计算出相应的理想交叉口间

例如,当交叉口 格 的相序取为南北东西或南北西东时(由于主干道为南北向,因此交叉口的相邻东西相位置换等效),对应交叉口 辆 的相序分别取南北东西或南北西东、北南东西或北南西东、南东北西、南西北东的理想交叉口间距是 $\frac{L_{\text{格}}}{2}$ 。计算过程如图 1 所示。

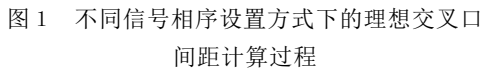


图 1 中, $摩_{\text{南}}$ 为交叉口悞的实际所处位置, $摩_{\text{南},2}$ 、 $摩_{\text{南},3}$ 分别为交叉口悞选取第 1 种相序 (北南东西) 时所对应的第 1、2、3 号可选理想位置, 为便于区分, 将其相序依次标为北南东西 (2)、北南东西 (3); $摩_{\text{北},1}$ 、 $摩_{\text{北},2}$ 、 $摩_{\text{北},3}$ 为交叉口悞选取第 2、3、4 种相序设置 (南东北南、北南东西、南西北东) 时所对应的 1 号可选理想位置; $摩_{\text{东}}$ 表示同一相序设置情况下相邻可选交叉口位置之间的间距。由于不同干道放行方向不同放行相位, 因此需要将干道交叉口各个的绿灯信号在时距图中按照信号相序设置要求排列。

$$\text{見格欄} = \frac{1}{4} (\text{獵狀} + \text{獵準} - \text{獵狀} - \text{獵準}) \text{獵齡} + \frac{1}{2} \text{獵值}$$
$$\frac{\text{見}\text{培}\text{綱}}{\text{狗}\text{鈴}} - \frac{1}{2}\text{狗}\text{綱狀} - \text{狗} - \frac{1}{2}\text{狗}\text{擊} + \frac{\text{見}\text{培}\text{綱}}{\text{狗}\text{鈴}} =$$

选取基准交叉口, 针对交叉口的不同相序

号相序设置方式,分别计算交叉口犮、犵、状在不同相序设置情况下的理想位置(与左侧最近基准交叉口位置的间距)。例如,当交叉口 犵的相序取为南北东西时,不同公共信号周期取值对应交叉口犮、犵、状在不同相序设置情况下的理想位置见表 2。

表 2 交叉口 犵相序取为南北东西时其他交叉口的理想位置

公共信号周期/昷		90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
交叉口犮的理想位置/狻	南北东西	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0
	北南东西	270.0	276.0	282.0	288.0	294.0	300.0	306.0	312.0	318.0	324.0	330.0
	南东北西	369.0	377.2	385.4	393.6	401.8	410.0	418.2	426.4	434.6	442.8	451.0
	南西北东	360.0	368.0	376.0	384.0	392.0	400.0	408.0	416.0	424.0	432.0	440.0
交叉口犵的理想位置/狻	南北东西	445.5	455.4	465.3	475.2	485.1	495.0	504.9	514.8	524.7	534.6	544.5
	北南东西	283.5	289.8	296.1	302.4	308.7	315.0	321.3	327.6	333.9	340.2	346.5
	南东北西	355.5	363.4	371.3	379.2	387.1	395.0	402.9	410.8	418.7	426.6	434.5
	南西北东	373.5	381.8	390.1	398.4	406.7	415.0	423.3	431.6	439.9	448.2	456.5
交叉口状的理想位置/狻	南北东西	441.0	450.8	460.6	470.4	480.2	490.0	499.8	509.6	519.4	529.2	539.0
	北南东西	288.0	294.4	300.8	307.2	313.6	320.0	326.4	332.8	339.2	345.6	352.0
	南东北西	378.0	386.4	394.8	403.2	411.6	420.0	428.4	436.8	445.2	453.6	462.0
	南西北东	351.0	358.8	366.6	374.4	382.2	390.0	397.8	405.6	413.4	421.2	429.0
交叉口犿的理想位置/狻	南北东西	432.0	441.6	451.2	460.8	470.4	480.0	489.6	499.2	508.8	518.4	528.0
	北南东西	297.0	303.6	310.2	316.8	323.4	330.0	336.6	343.2	349.8	356.4	363.0
	南东北西	351.0	358.8	366.6	374.4	382.2	390.0	397.8	405.6	413.4	421.2	429.0
	南西北东	378.0	386.4	394.8	403.2	411.6	420.0	428.4	436.8	445.2	453.6	462.0
昷/狻		450.0	460.0	470.0	480.0	490.0	500.0	510.0	520.0	530.0	540.0	550.0

表 3 交叉口实际位置与左侧最近基准交叉口位置的间距

公共信号周期/昷	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
昷/狻	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550
交叉口犮的偏离距离/狻	50	40	30	20	10	0	500	500	500	500	500
交叉口犵的偏离距离/狻	430	420	410	400	390	380	370	360	350	340	330
交叉口状的偏离距离/狻	400	380	360	340	320	300	280	260	240	220	200
交叉口犿的偏离距离/狻	90	60	30	0	460	440	420	400	380	360	340

根据各交叉口实际位置偏离理想位置的距离,利用式(1)计算各交叉口的偏移绿信比,确定优选相序与最大偏移绿信比之和;依据最大偏移绿信比最小化的原则,求取最佳相序组合与最佳公共信号周期。

利用表 2、3 中的相应数据可以求出交叉口 犵相序取为南北东西情况下的其他交叉口偏移绿信比、优选相序组合与最大偏移绿信比之和,如表 4 所示。表 4 中,偏移绿信比为正表示实际位置位于最近理想位置的右边,偏移绿信比为负表示实际位置位于最近理想位置的左边,交叉口 犵作为基准交叉口,其偏移绿信比为 0。最大偏移绿信比之和的计算是对于不同公共信号周期,在各交叉口最小

步骤 3:确定干道交叉口的最佳相序组合与最佳公共信号周期。

在不同公共信号周期取值情况下,交叉口犮、犵、犿的实际位置与左侧最近基准交叉口位置的间距如表 3 所示。

偏移绿信比取值集合中,求取最大值与最小值之差,例如当公共信号周期取为 90 昷时,交叉口 犵、犮、犿的最小偏移绿信比取值集合为 {0, 0.046, -0.017, 0.025, 0.12},对应最大偏移绿信比之和为 0.12 - (-0.017) = 0.137。

从表 4 可以得出,当交叉口 犵相序取为南北东西时,最佳公共信号周期取值 98 昷交叉口犮、犵、犿的最佳相序组合应取为南北东西、南东北西、北南东西、南北东西。

同样可以针对交叉口 犵的其他 3 种信号相序设置方式,分别计算出相应的优选相序组合、最大偏移绿信比之和与公共信号周期,总的计算结果如表 5 所示。

表 4 交叉口相位序取为南北东西时其他交叉口的偏移绿信比

表 4 偏移绿信比和相序对绿波带长度的影响													
公共信号周期 / 秒			90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110
交叉口	偏移绿信比	南北东西	0.046	0.034	0.022	0.011	0.000	-0.010	-0.020	-0.029	-0.039	-0.047	-0.056
		北南东西	-0.245	0.244	0.232	0.221	0.210	0.200	0.190	0.181	0.172	0.163	0.155
		南东北西	0.146	0.134	0.122	0.111	0.100	0.090	0.080	0.071	0.062	0.053	0.045
		南西北东	0.156	0.144	0.132	0.121	0.110	0.100	0.090	0.081	0.072	0.063	0.055
	优选相序		南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西
交叉口	偏移绿信比	南北东西	-0.017	-0.039	-0.059	-0.079	-0.097	-0.115	-0.133	-0.149	-0.165	-0.180	-0.195
		北南东西	0.163	0.142	0.121	0.102	0.083	0.065	0.048	0.031	0.015	0.000	-0.015
		南东北西	0.083	0.062	0.041	0.022	0.003	-0.015	-0.033	-0.049	-0.065	-0.080	-0.095
		南西北东	0.063	0.042	0.021	0.002	-0.017	-0.035	-0.053	-0.069	-0.085	-0.100	-0.115
	优选相序		南北东西	南北东西	南西北东	南西北东	南东北西	南东北西	南东北西	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西
交叉口	偏移绿信比	南北东西	-0.046	-0.077	-0.107	-0.136	-0.164	-0.190	-0.216	-0.240	0.237	0.214	0.192
		北南东西	0.125	0.093	0.063	0.034	0.007	-0.020	-0.046	-0.070	-0.094	-0.117	-0.138
		南东北西	0.025	-0.007	-0.037	-0.066	-0.094	-0.120	-0.146	-0.170	-0.194	-0.217	-0.238
		南西北东	0.055	0.023	-0.007	-0.036	-0.064	-0.090	-0.116	-0.140	-0.164	-0.187	-0.208
	优选相序		南东北西	南东北西	南西北东	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西	北南东西
交叉口	偏移绿信比	南北东西	0.120	0.085	0.052	0.020	-0.011	-0.040	-0.068	-0.096	-0.122	-0.147	-0.171
		北南东西	-0.230	0.235	0.202	0.170	0.140	0.110	0.082	0.055	0.029	0.004	-0.021
		南东北西	0.210	0.175	0.142	0.110	0.080	0.050	0.022	-0.006	-0.032	-0.057	-0.081
		南西北东	0.180	0.145	0.112	0.080	0.050	0.020	-0.008	-0.036	-0.062	-0.087	-0.111
	优选相序		南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南北东西	南西北东	南西北东	南东北西	北南东西	北南东西	北南东西
最大偏移绿信比之和			0.137	0.124	0.059	0.034	0.018	0.040	0.046	0.101	0.123	0.121	0.183

表 5 最佳公共信号周期与最佳相序组合的确定

交叉口相位选取相序	最大偏移绿信比之和	公共信号周期/秒	交叉口圆、圆、圆、圆的相序组合
南北东西	0.018	98	南北东西、南东北西、北南东西、南北东西
北南东西	0.066	90	南西北东、北南东西、北南东西、南西北东
南东北西	0.057	92	南东北西、北南东西、北南东西、南北东西
南西北东	0.060	92	南北东西、南东北西、北南东西、南北东西

至此可以确定,最佳公共信号周期取值为98 秒,交叉口圆、圆、圆、圆的最佳相序组合为南北东西、南北东西、南东北西、北南东西、南北东西。

步骤 4:确定各交叉口的相位差。
选取干道由南往北行驶方向作为上行参考方向,以基准交叉口圆的南进口放行相位绿灯中心时刻作为相位差基准点。根据各交叉口的信号相序寻找相序相同且距其最近的理想交叉口位置,确定理想交叉口位置与基准交叉口位置之间的间距。利用式(2)计算各交叉口的绝对相位差,计算结果如表 6 所示。

表 6 交叉口相位差计算

交叉口	圆	圆	圆	圆	圆
信号相序	南北东西	南北东西	南东北西	北南东西	南北东西
间距/米	0.0	499.8	877.1	1 293.6	1 450.4
南进口绿信比	0.34	0.30	0.32	0.30	0.36
相位差/秒	81	35	72	17	29

步骤 5:求取双向绿波带宽度。
对于干道由南往北行驶方向,交叉口圆、圆、圆、圆位于相应最近理想交叉口位置的下游,交叉口圆位于相应最近理想交叉口位置的上游,各交叉口的偏移绿信比和绿灯中心时刻线上、下方的绿信比见表 7,由表 7 中的数据可求得,其绿波带宽度为 $(0.143 + 0.15) \times 100\% = 29.3\%$ 。

表 7 由南往北行驶方向各交叉口的绿信比

交叉口	圆	圆	圆	圆	圆
实际所方位	正中	下游	下游	下游	上游
偏移绿信比	0.000	0.000	0.003	0.007	0.011
上方绿信比	0.170	0.150	0.157	0.143	0.191
下方绿信比	0.170	0.150	0.163	0.157	0.169

对于干道由北往南行驶方向,交叉口圆、圆、圆、圆

于相应最近理想交叉口位置的上游,交叉口巷位于相应最近理想交叉口位置的下游,各交叉口的偏移绿信比和绿灯中心时刻线上、下方的绿信比见表 8,由表 8 中的数据可求得,其绿波带宽度为 $(0.14+0.14) \times 100\% = 28\%$ 。

表 8 由北往南行驶方向各交叉口的绿信比					
交叉口	倍	辆	值	彝	巷
实际所处方位	正中	上游	上游	上游	下游
偏移绿信比	0.000	0.000	0.003	0.007	0.011
上方绿信比	0.140	0.140	0.163	0.187	0.159
下方绿信比	0.140	0.140	0.157	0.173	0.181

步骤 6:画出时距图。利用确定好的公共信号周期、相序组合与相位差,画出干道绿波协调控制时距图,如图 3 所示。可以看出,作图得到由南往北行驶方向的绿波带宽度为 29.3%,由北往南行驶方向的绿波带宽度为 28%,这与数解算法计算结果完全吻合。

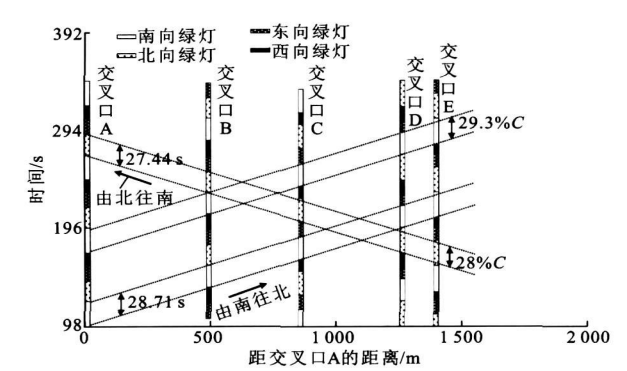


图 3 算例时距

算例同时表明,即便干道交叉口间距参差不齐,进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法也能对公共信号周期、相序组合与相位差进行优化设计,以保证不同干道行驶方向均可获取较为理想的绿波带宽度。

4 结 语

- ① 与进口对称放行的相位设计方法相比,进口单独放行的相位设计方法能使理想交叉口间距取值具有更大的选取空间,更适合于对交叉口间距不齐的多个干道交叉口进行绿波协调控制。
- ② 理论分析与算例验证表明,进口单独放行方式下的干道双向绿波协调控制数解算法能优化交叉口的信号相序组合,选取协调控制的最佳信号配时

参数,实现绿波带宽度的最大化,为干道协调控制设计提供了一种新方法。

参考文献:

参考文献

- [1] 徐建闽.交通管理与控制[M].北京:人民交通出版社,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.
- [3] 郑长江,王 炜,陈淑燕.行人过街信号与交叉口信号的协调控制[J].交通运输工程学报,2004,4(4):106 109.
- [4] 张海军,杨晓光,张 珏.两种交叉口信号相位设计方法的比较[J].交通与计算机,2005,23(1):3 7.
- [5] 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.
- [6] 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 12,16.