



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111081041 B  
(45) 授权公告日 2022. 03. 15

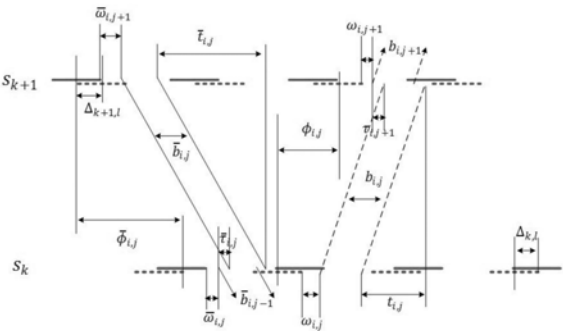
(21) 申请号 201911282350.0  
(22) 申请日 2019.12.13  
(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111081041 A  
(43) 申请公布日 2020.04.28  
(73) 专利权人 连云港杰瑞电子有限公司  
地址 222000 江苏省连云港市海州区圣湖  
路18号  
(72) 发明人 程添亮 项俊平 张新军 丁海龙  
钟欣 许森 杜云霞 石磊 杨权  
李云青  
(74) 专利代理机构 连云港润知专利代理事务所  
32255  
代理人 刘喜莲

(51) Int.Cl.  
G08G 1/081 (2006.01)  
(56) 对比文件  
CN 108877246 A, 2018.11.23  
CN 107610487 A, 2018.01.19  
CN 105788236 A, 2016.07.20  
CN 103632555 A, 2014.03.12  
CN 102982688 A, 2013.03.20  
US 2018096595 A1, 2018.04.05  
项俊平. 城市道路交通信号区域均衡控制方  
法及应用研究.《中国优秀硕士学位论文全文  
数据库(博士) 工程科技II辑》.2018, (第6期),  
第C034-49页.  
审查员 胡天天

权利要求书5页 说明书13页 附图1页

(54) 发明名称  
一种面向交通流向的区域协调控制方法

(57) 摘要  
本发明是一种面向交通流向的区域协调控  
制方法,属智能交通控制领域,解决在城市交通  
信号控制优化过程中遇到的交通流绿波协调问  
题。该方法以构建TF-BAND模型为核心,可变协调  
相位包括直行相位,左转相位和右转相位,可以  
配置交通流上各交叉口的协调相位。方法首先确  
定待优化路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的  
东西南北方向的路网信息和方案信息;其次添  
加所有目标交通流,配置各交通流上的所有交叉  
口和协调相位;最后配置优化模式和系统参数。  
构建TF-BAND模型用分支定界法进行编程与求  
解。本发明方法易实现,方便集成,计算效率高,  
在协调相位可配置的条件下进行多交通流的区  
域绿波协调。



1. 一种面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:

该方法在进行区域协调优化时,对于路网包含的所有交通流,在其上各交叉口协调相位按需进行绿波控制;通过构建TF-BAND模型,实现城市交通信号控制优化过程中的交通流绿波协调;交通流中的协调相位包括直行相位、左转相位和右转相位,实现交通流上各交叉口的协调相位的配置;其步骤如下:

首先:确定待优化路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的东西南北方向的路网信息和方案信息;

其次:添加所有目标交通流,配置各交通流上的所有交叉口和协调相位;

最后:配置优化模式和系统参数;

构建TF-BAND模型是混合整数线性规划模型,用分支定界法作为TF-BAND模型的求解器,进行交通流的绿波控制;

其具体步骤如下:

步骤1:输入路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的交叉口编号、交叉口名、周期上下限;配置交叉口东西南北4个方向的相邻交叉口编号、东西南北4个方向的路段距离;配置所有交叉口东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的控制方式,可选的控制方式为绿波协调和无协调;配置所有交叉口东西南北方向的带宽上下限和东西南北方向路段的速度上下限;配置所有交叉口的配时方案,按照阶段表或者双环结构配置每个交叉口的配时方案,配时方案应包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的绿灯时间、黄灯时间和全红时间;配置所有交叉口东西南北方向的清空时间;配置路段距离阈值和优化模式,优化模式包含相序优化和非相序优化;

步骤2:配置所有交通流集合 $Z$ ,

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_y\} \quad (1)$$

其中 $Z_i$ 表示第 $i$ 股待优化交通流; $Z_i$ 由交通流两股单向交通流构成:

$$Z_i = \{Z_{i,1}, Z_{i,2} | S_m\} \quad (2)$$

$Z_{i,j}$ 表示 $Z_i$ 的第 $j$ 股单向交通流;

$$Z_{i,j} = P_m \quad (3)$$

$S_m$ 表示交通流 $Z_{i,1}$ 经过的交叉口的序列, $P_m$ 表示单向交通流上交叉口的协调相位序列;

$$S_m = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}, P_m = \{p_i, p_{i+1}, \dots, p_{i+m-1}\} \quad (4)$$

$s_i$ 表示第 $i$ 个交叉口, $p_i$ 表示交叉口的相位号;相位号定义如表1所示:

表1相位号定义

方向	左转	直行	右转
向西	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$
向东	$p_{16}$	$p_{17}$	$p_{18}$
向北	$p_6$	$p_7$	$p_8$
向南	$p_1$	$p_2$	$p_3$

步骤3:构建TF-BAND模型;

假设协调控制区域构成一张连通图,设定右转相位放行时间等于同方向左转相位放行时间加上对向直行相位放行时间;模型中所有变量定义如下:

E:Z中的无向边的个数;

V: 交叉口个数;

$b_{ij}(\bar{b}_{ij})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j条路段的带宽;

$\tau_{ij}(\bar{\tau}_{ij})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j个交叉口的清空时间;

$\omega_{ij}(\bar{\omega}_{ij})$ : 绿波协调时,  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j个交叉口相位干预变量;

$C_i$ : 交叉口i的周期;

$z_i$ : 交叉口i的频率;

$ST_{i,j}$ :  $Z_i$  上的第j个交叉口在  $Z_{i,1}$  方向上的协调相位红灯起点;

$\phi_{ij}(\bar{\phi}_{ij})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j个交叉口和第j+1个交叉口间的相位差;

$M_i$ : 循环整数变量;

$N_i$ : 循环整数变量;

$t_{ij}(\bar{t}_{ij})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j个路段的旅行时间;

$\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ : 在南北/东西方向上, 确定交叉口i左转相序的0/1变量;

$\xi_i$ : 确定交叉口i的南北相位与东西相位在双环模型中的前后顺序, 为0/1变量;

$\Delta_{i,j}$ :  $Z_{i,1}$  和  $Z_{i,2}$  上交叉口k协调相位红灯中点差值;

$\nabla_k$ : 交叉口k所处2股单向交通流  $Z_{i,1}$  和  $Z_{j,1}$  上协调相位的红灯起点差值;

$g_i$ : 相位  $p_i$  的绿信比;

$gs_p$ : 相位p的绿灯起始时间/ $C_i$

$r_p$ : 相位p的红灯时间/ $C_i$ ;

$C_{i,1}/C_{i,2}$ : 交叉口i的周期上下限;

$e_{ij}/f_{ij}(\bar{e}_{ij}/\bar{f}_{ij})$ : 交叉口i在  $Z_{j,1}(Z_{j,2})$  方向上的速度上下限;

$lb_{ij}/ub_{ij}(\bar{lb}_{ij}/\bar{ub}_{ij})$ : 交叉口i在  $Z_{j,1}(Z_{j,2})$  方向上的协调相位带宽上下限;

$d_{i,j}$ : 第i股交通流上第j个路段的距离;

$\alpha_{ij}(\bar{\alpha}_{ij})$ :  $b_{ij}(\bar{b}_{ij})$  的带宽权重;

$\beta_{ij}(\bar{\beta}_{ij})$ : 确定  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第j个路段为绿波协调或者无协调;

$P_{p,L}/P_{p,S}/P_{p,R}(\bar{P}_{p,L}/\bar{P}_{p,S}/\bar{P}_{p,R})$ : 与p相关的上行(下行)左转/直行/右转相位;

模型以最大带宽为优化目标, 最大带宽为所有带宽结合带宽权重计算:

$$\text{Max } B = \sum_{k=1}^{2E} \alpha_{ij} * b_{ij} + \bar{\alpha}_{ij} * \bar{b}_{ij} \quad (5)$$

绿波协调时的时距: 绿波协调时, 干预变量  $\omega_{ij}(\bar{\omega}_{ij})$  为  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上第j个交叉口的红灯右侧到绿波带左侧的时间; 相位差  $\phi_{ij}(\bar{\phi}_{ij})$  为  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上第j+1(j)个交叉口的协调相位红灯中点时间与第j(j+1)个交叉口的协调相位红灯中点间的差值;  $\Delta_{i,j}$  为  $Z_{i,1}$  上交叉口j协调相位红灯中点时刻与  $Z_{i,2}$  上交叉口j协调相位红灯中点时刻的差值; 绿波协调时的时距见公式(6) - (24):

$$\omega_{i,j} + b_{i,j} \leq 1 - r_{p_k} \quad (6)$$

$$\bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{b}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_{k+1}} \quad (7)$$

$$\omega_{i,j+1} + b_{i,j} + \tau_{i,j+1} \leq 1 - r_{p_{k+1}} \quad (8)$$

$$\bar{\omega}_{i,j} + \bar{b}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_k} \quad (9)$$

$$\phi_{i,j} + \omega_{i,j+1} - \omega_{i,j} - t_{i,j} + \tau_{i,j+1} = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (10)$$

$$\bar{\phi}_{i,j} - \bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{\omega}_{i,j} - \bar{t}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} = (\bar{r}_{p_{k+1}} - \bar{r}_{p_k})/2 \quad (11)$$

$$0 \leq \omega_{i,j} \leq 1 \quad (12)$$

$$0 \leq \bar{\omega}_{i,j} \leq 1 \quad (13)$$

$$\phi_{i,j} + \bar{\phi}_{i,j} - M_k = \Delta_{i,j+1} - \Delta_{i,j} \quad (14)$$

$$ST_{1,1} = 0 \quad (15)$$

$$ST_{i,j+1} - ST_{i,j} - \phi_{i,j} - N_k = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (16)$$

$$-10 \leq M_k \leq 10, M_k \in \mathbb{Z} \quad (17)$$

$$-10 \leq N_k \leq 10, N_k \in \mathbb{Z} \quad (18)$$

$$1/C_{i,1} \leq z \leq 1/C_{i,2} \quad (19)$$

$$lb_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \leq b_{i,j} \leq ub_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \quad (20)$$

$$\bar{lb}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \leq \bar{b}_{i,j} \leq \bar{ub}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \quad (21)$$

$$d_{i,j}/f_{i,j} * z_k \leq t_{i,j} \leq d_{i,j}/e_{i,j} * z_k \quad (22)$$

$$d_{i,j}/\bar{f}_{i,j} * z_k \leq \bar{t}_{i,j} \leq d_{i,j}/\bar{e}_{i,j} * z_k \quad (23)$$

左转相位模式基于双环结构,选择最优左转相位模式需要添加 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束;由于TF-BAND的协调相位可变,交叉口交通流 $Z_{i,1}$ 和 $Z_{i,2}$ 上的协调相位并不一定位于双环隔离的同一边,需要同时引入 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 才能构造 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束,用 $p_x(p_y)$ 表示 $s_k$ 在 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的协调相位;

定义 $p_x(p_y)$ 的红灯中点时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X(Y)$ ,定义南北方向放行时长为 $\theta_{sn}$ ,东西方向放行时长为 $\theta_{ew}$ , $\theta_{sn} + \theta_{ew} = 1$ ;根据 $p_x, p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ , $\Delta_{i,j}$ 的计算包含6种情况:

$$\Delta_{i,j} = \begin{cases} X - Y - \theta_{sn} + \xi_k p_x \text{ 为南北相位, } p_y \text{ 为东西相位} \\ X - Y + \theta_{sn} - \xi_k p_y \text{ 为南北相位, } p_x \text{ 为东西相位} \\ X - Y \text{ 其他} \end{cases} \quad (24)$$

左转相位模式中: $X$ 和 $Y$ 是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数,因为 $X$ 和 $Y$ 都是从本方向的左侧隔离开始计算,因此 $X$ 和 $Y$ 的公式统一表示为公式(25):

$$X = \begin{cases} \delta_{i,1} * g_7 + (1 + g_1)/2 & p_x = p_1 \\ (1 - \bar{\delta}_{i,1}) * g_6 + (1 + g_2)/2 & p_x = p_2 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_3 \\ \bar{\delta}_{i,1} * g_2 + (1 + g_6)/2 & p_x = p_6 \\ (1 - \delta_{i,1}) * g_1 + (1 + g_7)/2 & p_x = p_7 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_8 \\ \delta_{i,2} * g_{12} + (1 + g_{16})/2 & p_x = p_{11} \\ (1 - \bar{\delta}_{i,2}) * g_{11} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{12} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{13} \\ \bar{\delta}_{i,2} * g_{17} + (1 + g_{11})/2 & p_x = p_{16} \\ (1 - \delta_{i,2}) * g_{16} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{17} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{18} \end{cases} \quad (25)$$

添加 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 的0-1整数约束:

$$\delta_{i,1} \in \{0,1\} \quad (26)$$

$$\bar{\delta}_{i,1} \in \{0,1\} \quad (27)$$

$$\delta_{i,2} \in \{0,1\} \quad (28)$$

$$\bar{\delta}_{i,2} \in \{0,1\} \quad (29)$$

$$\xi_k \in \{0,1\} \quad (30)$$

为了进行多干线区域协调,需要添加 $p_x$ 和 $p_y$ 红灯起点差值等式约束;定义 $s_k$ 上的两股交通流为 $Z_x$ 和 $Z_y$ , $Z_{x,1}$ ( $Z_{y,1}$ )上的协调相位为 $p_x$ ( $p_y$ ), $p_x$ ( $p_y$ )的红灯中点时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X$ ( $Y$ ),根据 $p_x$ , $p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ , $\nabla_k$ 的计算包含6种情况:

$$\nabla_k = \begin{cases} Y - X + \theta_{sn} - \xi_k p_x \text{为南北相位, } p_y \text{为东西相位} \\ Y - X - \theta_{sn} + \xi_k p_y \text{为南北相位, } p_x \text{为东西相位} \\ Y - X \text{其他} \end{cases} \quad (31)$$

$X$ 和 $Y$ 是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数, $X$ 和 $Y$ 都是从本方向的左侧隔离开始计算, $X$ 和 $Y$ 的公式统一表示为公式(32):

$$X = \begin{cases} g_7 * \delta_{i,1} + g_1 p_x = p_1 \\ g_6 * (1 - \bar{\delta}_{i,1}) + g_2 p_x = p_2 \\ g_2 + g_6 p_x = p_3 \\ g_2 * \bar{\delta}_{i,1} + g_6 p_x = p_6 \\ -g_1 * \delta_{i,1} + g_1 + g_7 p_x = p_7 \\ g_1 + g_7 p_x = p_8 \\ g_{12} * \delta_{i,2} + g_{16} p_x = p_{11} \\ g_{11} * (1 - \bar{\delta}_{i,2}) + g_{17} p_x = p_{12} \\ g_{17} + g_{11} p_x = p_{13} \\ g_{17} * \bar{\delta}_{i,2} + g_{11} p_x = p_{16} \\ -g_{16} * \delta_{i,1} + g_{16} + g_{12} p_x = p_{17} \\ g_{16} + g_{12} p_x = p_{18} \end{cases} \quad (32)$$

由公式(6)-(32)作为约束条件,公式(5)作为目标函数,构成了混合整数线性规划模型;

步骤4:使用分支定界法求解TF-BAND模型,获得所有交叉口的配时方案、所有交通流上路段间的协调带宽和推荐速度和交叉口所属的交通流编号和子区编号。

2.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:交通流上的协调都为双向协调,或者通过配置路段的控制方式为无协调来实现单向协调。

3.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:

该方法需要输入路网结构、所有交叉口的路段参数和所有交叉口的基础配时方案;

路网结构包括所有交叉口的编号、交叉口名、交叉口东西南北4个方向的相邻交叉口编号、东西南北4个方向的路段距离;

路段参数包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的控制方式,东西南北方向的带宽上下限、东西南北方向路段的速度上下限和东西南北方向的清空时间;控制方式可选的控制方式为绿波协调和无协调;

基础配时方案包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的绿灯时间、黄灯时间和全红时间;可以按照阶段表或者双环结构配置每个交叉口的配时方案。

4.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:该方法需要输入配置路段距离阈值和优化模式;在相序优化模式下,由TF-BAND模型智能选择交叉口的最优相序;在非相序优化模式下,相序依照基础方案的相序。

5.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:在分支定界法对TF-BAND求解完毕后,根据模型输出,获取每个交叉口的周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号;根据每个交叉口的周期、相位差和新的配时方案,推导所有交通流的带宽、推荐运行速度;提供获取交叉口参数:包括周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号,以及交通流参数:包括交叉口编号、交叉口名、路段距离、路段旅行时间、路段推荐速度和路段带宽的程序接口,以供其他程序调用。

6.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:根据TF-BAND模型的计算结果,将交叉口自动划分到不同的子区中。

7.如权利要求1所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其特征在于:当路段距离大于了设定的路段距离阈值时,该路段不参与协调计算控制。

## 一种面向交通流向的区域协调控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于智能交通控制领域,具体涉及一种面向交通流向的区域协调控制方法。

### 背景技术

[0002] 在城市交通信号控制领域,当交通流非饱和时,为保证行车通畅、减少停车次数和通行时间,经常采用绿波带控制模式。在绿波带的控制模式下,所有交叉口采用公共周期,在合适的相位差下,通行车队可以一路绿灯地通过其道路控制区域。为了计算绿波控制所需参数,人们提出了各种解决方案。

[0003] 早在上世纪60年代,就有学者对如何优化干线绿波进行了系统的研究,一类为Little等人提出的以最大化带宽为目标的研究,另一类为Hillier等人提出的最小化延误、停车次数为目标的研究。Little等人在1981年提出了干线双向绿波的设计方案,建立了混合整数线性规划模型-MAXBAND模型,该模型以最大化带宽乘以权重的和作为优化目标,自动选择最优周期和设计速度,在给定的左转相位模式中选择一个最优的超前滞后模式,添加了交通流清空时间,能够解决干线或者三角形网络下的绿波协调问题。Chang等人在1988年提出了MAXBAND-86模型,该模型对MAXBAND模型进行了扩展,能够解决在多干线闭合网络中左转相序的最优化问题。

[0004] MAXBAND和MAXBAND-86的优化模型中不考虑路段的实际交通流量和通行能力,因此不能保证优化结果是最优的,为了解决这个问题,Gartner等人在1990年提出了MULTIBAND模型,模型在MAXBAND的基础上进行了扩展,为每个路段添加了的带宽变量,且带宽的权重因子与路段特征相关,实验表明MULTIBAND的优化结果远优于MAXBAND。

[0005] Stamatiadis与Gartner在1996年提出了MULTIBAND-96模型,该模型在MULTIBAND模型的基础上进行了扩展,优化了所有的信号控制变量,包括相位时间、相位差、周期和相序,保证了干线的变带宽协调。相比于单一干线优化的MULTIBAND模型,MULTIBAND-96解决了网络中的干线协调问题,如果结合以延误为优化目标的模型(例如TRANSYT)还能够优化相序。Chaudhary和Messer在1993年开发了名为“PASSER-IV”的干线协调优化程序,该程序同样基于MAXBAND模型,利用启发式算法进行求解,解决了多干线有环网络的交通信号配时优化问题。常云涛等人在2003年提出了基于遗传算法的城市干道协调控制相位差优化设计方法,对城市干道协调控制中交通流在协调控制系统内各交叉口的“驶离-到达”模式进行了分析,能更准确地反映实际的交通运行情况和控制效果。

[0006] 近年来,一些学者对干线协调优化的研究取得了不同程度的进展。在2006年,Cheng等人提出了一种干线协调控制并行算法,通过博弈论虚拟模型进行反复计算调整来寻求一种较优的干线协调控制方案。在2013年,H.Hu提出了一个以数据驱动的干线相位差优化模型,模型依赖高精归档交通信号数据解决信号协调和交叉口排队长度不确定问题。在2015年,C.Zhang等人提出了非对称的MULTIBAND干线协调模型(AM-BAND),放宽了MULTIBAND中对称性传播带的要求,与MULTIBAND模型相比,AM-BAND灵活性更强,能更加有

效的 利用每个方向的绿灯时间。

[0007] 经典的干线绿波模型MAXBAND、MULTIBAND、AM-BAND解决了干线 绿波参数的计算问题,但都只考虑同一干线上的交通流,即以该干线的直行相位 作为协调相位。如果关注的交通流跨越不同的干线,即交通流出现了转向,那么 左转和右转相位也会作为协调相位出现,此时经典绿波模型失效。在可变协调相 位的情况下,为了优化协调效果,考虑相序优化和多交通流的区域协调,由于目 标交通流上各交叉口协调相位可能不是同一相位,即南北和东西方向的相序都需 要进行优化,更增加了问题的复杂度。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的是针对现有技术的问题,提出一种面向交通流向的区域协调控 制方法,该方法易实现,方便集成,计算效率高,在协调相位可配置 的条件下进行多交通流的区域绿波协调。

[0009] 本发明所要解决的技术问题是通过以下的技术方案来实现的。本发明是一种 面向交通流向的区域协调控制方法,其特点是:

[0010] 该方法在进行区域协调优化时,对于路网包含的所有交通流,在其上各交叉 口协调相位按需进行绿波控制;通过构建TF-BAND(Traffic flow based Multiband) 模型,实现城市交通信号控制优化过程中的交通流绿波协调;交通流中的协调相 位包括直行相位、左转相位和右转相位,实现交通流上各交叉口的协调相位的配 置;其步骤如下:

[0011] 首先:确定待优化路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的东西 南北方向的路网信息和方案信息;

[0012] 其次:添加所有目标交通流,配置各交通流上的所有交叉口和协 调相位;

[0013] 最后:配置优化模式和系统参数;

[0014] 构建TF-BAND模型是混合整数线性规划模型,用分支定界法作为 TF-BAND模型的求解器,进行交通流的绿波控制。

[0015] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:交通流上的协调都为双向协调,或者通过配置路段的控制方式为无协调来实 现单向协调。

[0016] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:该方法需要输入路网结构、所有交叉口的路段参数和所有交叉口的基础配时 方案;

[0017] 路网结构包括所有交叉口的编号、交叉口名、交叉口东西南北4个方向的相 邻交叉口编号、东西南北4个方向的路段距离;

[0018] 路段参数包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的控制方式,东 西南北方向的带宽上下限、东西南北方向路段的速度上下限和东西南北方向的清 空时间;控制方式可选的控制方式为绿波协调和无协调;

[0019] 基础配时方案包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的绿灯时间、黄灯 时间和全红时间;可以按照阶段表或者双环结构配置每个交叉口的配时方案。

[0020] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:该方法需要输入配置路段距离阈值和优化模式;在相序优化模式下,由 TF-BAND模型智能选择交叉口的最优相序;在非相序优化模式下,相序依照基 础方案的相序。

[0021] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:



在分支定界法对TF-BAND求解完毕后,根据模型输出,获取每个交叉口的 周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号;根据每个交叉口的 周期、相位差和新的配时方案,推导所有交通流的带宽、推荐运行速度;提供获 取交叉口参数:包括周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号,以及交通流参数:包括交叉口编号、交叉口名、路段距离、路段旅行时间、路段 推荐速度和路段带宽的程序接口,以供其他程序调用。

[0022] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:根据TF-BAND模型的计算结果,将交叉口自动划分到不同的子区中。

[0023] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:当路段距离大于了设定的路段距离阈值时,该路段不参与协调计算控制。

[0024] 本发明所述的面向交通流向的区域协调控制方法,其进一步优选的技术方案 是:其具体步骤如下:

[0025] 步骤1:输入路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的交叉口编号、交叉口 名、周期上下限;配置交叉口东西南北4个方向的相邻交叉口编号、东西南北4 个方向的路段距离;配置所有交叉口东西南北方向左转、直行、右转共12个相 位的控制方式,可选的控制方式为绿波协调和无协调;配置所有交叉口东西南北 方向的带宽上下限和东西南北方向路段的速度上下限;配置所有交叉口的配时方 案,按照阶段表或者双环结构配置每个交叉口的配时方案,配时方案应包括东西 南北方向左转、直行、右转共12个相位的绿灯时间、黄灯时间和全红时间;;配 置所有交叉口东西南北方向的清空时间;配置路段距离阈值和优化模式,优化模 式包含相序优化和非相序优化;

[0026] 步骤2:配置所有交通流集合Z,

[0027]  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_v\}$  (1)

[0028] 其中 $Z_i$ 表示第i股待优化交通流; $Z_i$ 由交通流两股单向交通流构成:

[0029]  $Z_i = \{Z_{i,1}, Z_{i,2} | S_m\}$  (2)

[0030]  $Z_{i,j}$ 表示 $Z_i$ 的第j股单向交通流;

[0031]  $Z_{i,j} = P_m$  (3)

[0032]  $S_m$ 表示交通流 $Z_{i,1}$ 经过的交叉口的序列, $P_m$ 表示单向交通流上交叉口的协调 相位序列;

[0033]  $S_m = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}, P_m = \{p_i, p_{i+1}, \dots, p_{i+m-1}\}$  (4)

[0034]  $s_i$ 表示第i个交叉口, $p_i$ 表示交叉口的相位号;相位号定义如表1所示:

[0035] 表1相位号定义

[0036]

方向	左转	直行	右转
向西	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$
向东	$p_{16}$	$p_{17}$	$p_{18}$
向北	$p_6$	$p_7$	$p_8$
向南	$p_1$	$p_2$	$p_3$

[0037] 步骤3:构建TF-BAND模型;

[0038] 假设协调控制区域构成一张连通图,设定右转相位放行时间等于同方向左转 相位放行时间加上对向直行相位放行时间;模型中所有变量定义如下:

[0039] E:Z中的无向边的个数;

- [0040]  $V$ : 交叉口个数;
- [0041]  $b_{i,j}(\bar{b}_{i,j})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  条路段的带宽;
- [0042]  $\tau_{i,j}(\bar{\tau}_{i,j})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  个交叉口的清空时间;
- [0043]  $\omega_{i,j}(\bar{\omega}_{i,j})$ : 绿波协调时,  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  个交叉口相位干预变量;
- [0044]  $C_i$ : 交叉口  $i$  的周期;
- [0045]  $z_i$ : 交叉口  $i$  的频率;
- [0046]  $ST_{i,j}$ :  $Z_i$  上的第  $j$  个交叉口在  $Z_{i,1}$  方向上的协调相位红灯起点;
- [0047]  $\phi_{i,j}(\bar{\phi}_{i,j})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  个交叉口和第  $j+1$  个交叉口间的相位差;
- [0048]  $M_i$ : 循环整数变量;
- [0049]  $N_i$ : 循环整数变量;
- [0050]  $t_{i,j}(\bar{t}_{i,j})$ :  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  个路段的旅行时间;
- [0051]  $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ : 在南北/东西方向上, 确定交叉口  $i$  左转相序的 0/1 变量;
- [0052]  $\xi_i$ : 确定交叉口  $i$  的南北相位与东西相位在双环模型中的前后顺序, 为 0/1 变量;
- [0053]  $\Delta_{i,j}$ :  $Z_{i,1}$  和  $Z_{i,2}$  上交叉口  $j$  协调相位红灯中点差值;
- [0054]  $\nabla_k$ : 交叉口  $k$  所处 2 股单向交通流  $Z_{i,1}$  和  $Z_{j,1}$  上协调相位的红灯起点差值;
- [0055]  $g_i$ : 相位  $p_i$  的绿信比;
- [0056]  $gs_p$ : 相位  $p$  的绿灯起始时间/ $C_i$
- [0057]  $r_p$ : 相位  $p$  的红灯时间/ $C_i$ ;
- [0058]  $C_{i,1}/C_{i,2}$ : 交叉口  $i$  的周期上下限;
- [0059]  $e_{i,j}/f_{i,j}(\bar{e}_{i,j}/\bar{f}_{i,j})$ : 交叉口  $i$  在  $Z_{j,1}(Z_{j,2})$  方向上的速度上下限;
- [0060]  $lb_{i,j}/ub_{i,j}(\bar{lb}_{i,j}/\bar{ub}_{i,j})$ : 交叉口  $i$  在  $Z_{j,1}(Z_{j,2})$  方向上的协调相位带宽上下限;
- [0061]  $d_{i,j}$ : 第  $i$  股交通流上第  $j$  个路段的距离;
- [0062]  $\alpha_{i,j}(\bar{\alpha}_{i,j})$ :  $b_{i,j}(\bar{b}_{i,j})$  的带宽权重;

- [0063]  $\beta_{i,j}(\bar{\beta}_{i,j})$ : 确定  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上的第  $j$  个路段为绿波协调或者无协调;
- [0064]  $P_{p,L}/P_{p,S}/P_{p,R}(\bar{P}_{p,L}/\bar{P}_{p,S}/\bar{P}_{p,R})$ : 与  $p$  相关的上行(下行)左转/直行/右转相位;
- [0065] 模型以最大带宽为优化目标, 最大带宽为所有带宽结合带宽权重计算:

$$[0066] \quad \text{Max } B = \sum_{k=1}^{2E} \alpha_{ij} * b_{ij} + \bar{\alpha}_{ij} * \bar{b}_{ij} \quad (5)$$

[0067] 绿波协调时的时距: 绿波协调时, 干预变量  $\omega_{i,j}(\bar{\omega}_{i,j})$  为  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上第  $j$  个交叉口的红灯右侧到绿波带左侧的时间; 相位差  $\phi_{i,j}(\bar{\phi}_{i,j})$  为  $Z_{i,1}(Z_{i,2})$  上第  $j+1(j)$  个交叉口的协调相位红灯中点时间与第  $j(j+1)$  个交叉口的协调相位红灯中点间的差值;  $\Delta_{i,j}$  为  $Z_{i,1}$  上交叉口  $j$  协调相位红灯中点时刻与  $Z_{i,2}$  上交叉口  $j$  协调相位红灯中点时刻的差值; 绿波协调时的时距见公式 (6) - (24):

$$[0068] \quad \omega_{i,j} + b_{i,j} \leq 1 - r_{p_k} \quad (6)$$

$$[0069] \quad \bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{b}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_{k+1}} \quad (7)$$

$$[0070] \quad \omega_{i,j+1} + b_{i,j} + \tau_{i,j+1} \leq 1 - r_{p_{k+1}} \quad (8)$$

$$[0071] \quad \bar{\omega}_{i,j} + \bar{b}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_k} \quad (9)$$

$$[0072] \quad \phi_{i,j} + \omega_{i,j+1} - \omega_{i,j} - t_{i,j} + \tau_{i,j+1} = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (10)$$

$$[0073] \quad \bar{\phi}_{i,j} - \bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{\omega}_{i,j} - \bar{t}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} = (\bar{r}_{p_{k+1}} - \bar{r}_{p_k})/2 \quad (11)$$

$$[0074] \quad 0 \leq \omega_{i,j} \leq 1 \quad (12)$$

$$[0075] \quad 0 \leq \bar{\omega}_{i,j} \leq 1 \quad (13)$$

$$[0076] \quad \phi_{i,j} + \bar{\phi}_{i,j} - M_k = \Delta_{i,j+1} - \Delta_{i,j} \quad (14)$$

$$[0077] \quad ST_{1,1} = 0 \quad (15)$$

$$[0078] \quad ST_{i,j+1} - ST_{i,j} - \phi_{i,j} - N_k = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (16)$$

$$[0079] \quad -10 \leq M_k \leq 10, M_k \in \mathbb{Z} \quad (17)$$

$$[0080] \quad -10 \leq N_k \leq 10, N_k \in \mathbb{Z} \quad (18)$$

$$[0081] \quad 1/C_{i,1} \leq z \leq 1/C_{i,2} \quad (19)$$

$$[0082] \quad lb_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \leq b_{i,j} \leq ub_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \quad (20)$$

$$[0083] \quad \bar{lb}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \leq \bar{b}_{i,j} \leq \bar{ub}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \quad (21)$$

$$[0084] \quad d_{i,j}/f_{i,j} * z_k \leq t_{i,j} \leq d_{i,j}/e_{i,j} * z_k \quad (22)$$

$$[0085] \quad d_{i,j}/\bar{f}_{i,j} * z_k \leq \bar{t}_{i,j} \leq d_{i,j}/\bar{e}_{i,j} * z_k \quad (23)$$

[0086] 左转相位模式基于双环结构,选择最优左转相位模式需要添加 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束;由于TF-BAND的协调相位可变,交叉口交通流 $Z_{i,1}$ 和 $Z_{i,2}$ 上的协调相位并不一定位于双环隔离的同边,需要同时引入 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 才能构造 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束,用 $p_x(p_y)$ 表示 $s_k$ 在 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的协调相位;

[0087] 定义 $p_x(p_y)$ 的红灯中点时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X(Y)$ ,定义南北方向放行时长为 $\theta_{sn}$ ,东西方向放行时长为 $\theta_{ew}$ , $\theta_{sn} + \theta_{ew} = 1$ ;根据 $p_x, p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ , $\Delta_{i,j}$ 的计算包含6种情况:

$$[0088] \quad \Delta_{i,j} = \begin{cases} X - Y - \theta_{sn} + \xi_k & p_x \text{ 为南北相位, } p_y \text{ 为东西相位} \\ X - Y + \theta_{sn} - \xi_k & p_y \text{ 为南北相位, } p_x \text{ 为东西相位} \\ X - Y & \text{其他} \end{cases} \quad (24)$$

[0089] 左转相位模式中: $X$ 和 $Y$ 是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数,因为 $X$ 和 $Y$ 都是从本方向的左侧隔离开始计算,因此 $X$ 和 $Y$ 的公式统一表示为公式(25):

$$[0090] \quad X = \begin{cases} \delta_{i,1} * g_7 + (1 + g_1)/2 & p_x = p_1 \\ (1 - \bar{\delta}_{i,1}) * g_6 + (1 + g_2)/2 & p_x = p_2 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_3 \\ \bar{\delta}_{i,1} * g_2 + (1 + g_6)/2 & p_x = p_6 \\ (1 - \delta_{i,1}) * g_1 + (1 + g_7)/2 & p_x = p_7 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_8 \\ \delta_{i,2} * g_{12} + (1 + g_{16})/2 & p_x = p_{11} \\ (1 - \bar{\delta}_{i,2}) * g_{11} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{12} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{13} \\ \bar{\delta}_{i,2} * g_{17} + (1 + g_{11})/2 & p_x = p_{16} \\ (1 - \delta_{i,2}) * g_{16} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{17} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{18} \end{cases} \quad (25)$$

[0091] 添加 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 的0-1整数约束:

$$[0092] \quad \delta_{i,1} \in \{0, 1\} \quad (26)$$

$$[0093] \quad \bar{\delta}_{i,1} \in \{0, 1\} \quad (27)$$

$$[0094] \quad \delta_{i,2} \in \{0, 1\} \quad (28)$$

$$[0095] \quad \bar{\delta}_{i,2} \in \{0, 1\} \quad (29)$$

$$[0096] \quad \xi_k \in \{0, 1\} \quad (30)$$

[0097] 为了进行多干线区域协调,需要添加 $p_x$ 和 $p_y$ 红灯起点差值等式约束;定义 $s_k$ 上的两股交通流为 $Z_x$ 和 $Z_y$ , $Z_{x,1}$  ( $Z_{y,1}$ ) 上的协调相位为 $p_x$  ( $p_y$ ),  $p_x$  ( $p_y$ ) 的红灯中点 时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X$  ( $Y$ ), 根据 $p_x, p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ ,  $\nabla_k$ 的计算包 含6种情况:

$$[0098] \quad \nabla_k = \begin{cases} Y - X + \theta_{sn} - \xi_k & p_x \text{为南北相位, } p_y \text{为东西相位} \\ Y - X - \theta_{sn} + \xi_k & p_y \text{为南北相位, } p_x \text{为东西相位} \\ Y - X & \text{其他} \end{cases} \quad (31)$$

[0099]  $X$ 和 $Y$ 是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数, $X$ 和 $Y$ 都是从本方向的左侧隔离开 始计算, $X$ 和 $Y$ 的公式统一表示为公式 (32):

$$[0100] \quad X = \begin{cases} g_7 * \delta_{i,1} + g_1 & p_x = p_1 \\ g_6 * (1 - \bar{\delta}_{i,1}) + g_2 & p_x = p_2 \\ g_2 + g_6 & p_x = p_3 \\ g_2 * \bar{\delta}_{i,1} + g_6 & p_x = p_6 \\ -g_1 * \delta_{i,1} + g_1 + g_7 & p_x = p_7 \\ g_1 + g_7 & p_x = p_8 \\ g_{12} * \delta_{i,2} + g_{16} & p_x = p_{11} \\ g_{11} * (1 - \bar{\delta}_{i,2}) + g_{17} & p_x = p_{12} \\ g_{17} + g_{11} & p_x = p_{13} \\ g_{17} * \bar{\delta}_{i,2} + g_{11} & p_x = p_{16} \\ -g_{16} * \delta_{i,1} + g_{16} + g_{12} & p_x = p_{17} \\ g_{16} + g_{12} & p_x = p_{18} \end{cases} \quad (32)$$

[0101] 由公式(6) - (32)作为约束条件,公式(5)作为目标函数,构成了混合 整数线性规划模型。

[0102] 步骤4:使用分支定界法求解TF-BAND模型,获得所有交叉口的配时方案、所有交通流上路段间的协调带宽和推荐速度和交叉口所属的交通流编号和子区 编号。

[0103] 关于本发明方法中的名词解释:

[0104] TF-BAND:面向交通流向的区域协调模型。

[0105] 交通流:交通流是指汽车在道路上连续行驶形成的车流。

[0106] 绿波协调:在指定的交通线路上,当规定好路段的车速后,把该 车流所经过的协调相位的相位差做相应的调整,且统一所有交叉口的 周期,这样一来,以确保该车流到达每个交叉口时,正好遇到“绿灯”。

[0107] 区域协调:保证区域内的所有交通流都能够进行协调。

[0108] 周期:所有交通信号相位显示一周所需的时间之和。

[0109] 绿信比:绿灯时间除以周期。

[0110] 相位:在一个信号周期内同时获取通行权的一组交通流。

[0111] 阶段:交叉口通行权在一个周期内的每一次更迭。

[0112] 相位差:这里指的是绝对相位差,在联动信号中选定一个标准交 叉口,规定该交叉口的相位差为零,其他交叉口相对于此交叉口的相 位差。

[0113] 协调相位:相位差应用到的相位。

[0114] 双环结构:源于NEMA所制定的交通控制指标,通过将每股车流 分别单独设置一个相位,然后根据车流的冲突、非冲突情况进行相位 间的相互组合。

[0115] 相序:相位间的放行顺序。

[0116] 相序优化:可以在双环结构的4种相序中选择最优的放行相序。

[0117] 分支定界法:是一种求解整数规划问题的最常用算法。这种方法 不但可以求解纯整数规划,还可以求解混合整数规划问题。分支定界 法是一种搜索与迭代的方法,选择不同的分支变量和子问题进行分支。

[0118] 与现有技术相比:本发明方法具有以下有益效果:本发明方法易 实现,方便集成,计算效率高,能够解决现有技术不能解决的问题,即在协调相位可配置的条件下进行多交通流的区域绿波协调。可应用 到智能交通信号控制系统中,也可部署于云端提供区域协调服务。

## 附图说明

[0119] 图1为本发明的绿波协调时距图;

[0120] 图2为本发明的双环4种左转相序图。

## 具体实施方式

[0121] 下面结合附图对本发明的实施方式做详细说明:本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和过程,但本发明的保护范围不限于下属的实施例。

[0122] 实施例1,面向交通流向的区域协调控制方法:

[0123] 该方法在进行区域协调优化时,对于路网包含的所有交通流,在其上各交叉口协调相位按需进行绿波控制;通过构建TF-BAND(Traffic flow based Multiband)模型,实现城市交通信号控制优化过程中的交通流绿波协调;交通流中的协调相位包括直行相位、左转相位和右转相位,实现交通流上各交叉口的协调相位的配置;其步骤如下:

[0124] 首先:确定待优化路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的东西南北方向的路网信息和方案信息;

[0125] 其次:添加所有目标交通流,配置各交通流上的所有交叉口和协调相位;

[0126] 最后:配置优化模式和系统参数;

[0127] 构建TF-BAND模型是混合整数线性规划模型,用分支定界法作为TF-BAND模型的求解器,进行交通流的绿波控制。

[0128] 交通流上的协调都为双向协调,或者通过配置路段的控制方式为无协调来实现单向协调。

[0129] 该方法需要输入配置路段距离阈值和优化模式;在相序优化模式下,由TF-BAND模型智能选择交叉口的最优相序;在非相序优化模式下,相序依照基础方案的相序。

[0130] 在分支定界法对TF-BAND求解完毕后,根据模型输出,获取每个交叉口的周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号;根据每个交叉口的周期、相位差和新的配时方案,推导所有交通流的带宽、推荐运行速度;提供获取交叉口参数:包括周期、相位差、新的配时方案、所属交通流编号和子区编号,以及交通流参数:包括交叉口编号、交叉口名、路段距离、路段旅行时间、路段推荐速度和路段带宽的程序接口,以供其他程序调用。

[0131] 根据TF-BAND模型的计算结果,将交叉口自动划分到不同的子区中。当路段距离大于了设定的路段距离阈值时,该路段不参与协调计算控制。

[0132] 实施例2,面向交通流向的区域协调控制方法,其具体步骤如下:

[0133] 步骤1:输入路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的交叉口编号、交叉口名、周期上下限。

[0134] 步骤2:配置交叉口东西南北4个方向的相邻交叉口编号、东西南北4个方向的路段距离。

[0135] 步骤3:配置所有交叉口东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的控制方式,可选的控制方式为绿波协调和无协调。

[0136] 步骤4:配置所有交叉口东西南北方向的带宽上下限(秒)和东西南北方向路段的速度上下限(千米/小时)。

[0137] 步骤5:配置所有交叉口的配时方案,可以按照阶段表或者双环结构配置每个交叉口的配时方案,配时方案应包括东西南北方向左转、直行、右转共12个相位的绿灯时间(秒)、黄灯时间(秒)和全红时间(秒)。

[0138] 步骤6:配置所有交叉口东西南北方向的清空时间(秒)。

[0139] 步骤7:配置路段距离阈值和优化模式,优化模式包含相序优化和非相序优化。

[0140] 步骤8:配置所有交通流集合Z,交通流的定义如下。

[0141]  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_y\}$  (1)

[0142] 其中 $Z_i$ 表示第i股待优化交通流。 $Z_i$ 由交通流两股单向交通流构成:

[0143]  $Z_i = \{Z_{i,1}, Z_{i,2} | S_m\}$  (2)

[0144]  $Z_{i,j}$ 表示 $Z_i$ 的第j股单向交通流。

[0145]  $Z_{i,j} = P_m$  (3)

[0146]  $S_m$ 表示交通流 $Z_{i,1}$ 经过的交叉口的序列, $P_m$ 表示单向交通流上交叉口的协调 相位序列。

[0147]  $S_m = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}, P_m = \{p_i, p_{i+1}, \dots, p_{i+m-1}\}$  (4)

[0148]  $s_i$ 表示第i个交叉口, $p_i$ 表示交叉口的相位号。本文中的相位号定义如表1所示。

[0149] 表2相位号定义

[0150]	方向	左转	直行	右转
	向西	$p_{11}$	$p_{12}$	$p_{13}$
	向东	$p_{16}$	$p_{17}$	$p_{18}$
	向北	$p_6$	$p_7$	$p_8$
	向南	$p_1$	$p_2$	$p_3$

[0151] 步骤9:构建TF-BAND模型,假设协调控制区域构成一张连通图,设定右 转相位放行时间等于同方向左转相位放行时间加上对向直行相位放行时间。模型 中所有变量定义如下。

[0152]  $E$ :Z中的无向边的个数;

[0153]  $V$ :交叉口个数;

[0154]  $b_{i,j}(\bar{b}_{i,j})$ : $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j条路段的带宽;

[0155]  $\tau_{i,j}(\bar{\tau}_{i,j})$ : $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j个交叉口的清空时间;

[0156]  $\omega_{i,j}(\bar{\omega}_{i,j})$ :绿波协调时, $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j个交叉口相位干预变量;

[0157]  $C_i$ :交叉口i的周期;

[0158]  $z_i$ :交叉口i的频率;

[0159]  $ST_{i,j}$ : $Z_i$ 上的第j个交叉口在 $Z_{i,1}$ 方向上的协调相位红灯起点;

[0160]  $\phi_{i,j}(\bar{\phi}_{i,j})$ : $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j个交叉口和第j+1个交叉口间的相位差;

[0161]  $M_i$ :循环整数变量;

[0162]  $N_i$ :循环整数变量;

[0163]  $t_{i,j}(\bar{t}_{i,j})$ : $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j个路段的旅行时间;

[0164]  $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ :在南北/东西方向上,确定交叉口i左转相序的0/1变量;

[0165]  $\xi_i$ :确定交叉口i的南北相位与东西相位在双环模型中的前后顺序,为0/1变 量;

[0166]  $\Delta_{i,j}$ : $Z_{i,1}$ 和 $Z_{i,2}$ 上交叉口j协调相位红灯中点差值;

[0167]  $\nabla_k$ :交叉口k所处2股单向交通流 $Z_{i,1}$ 和 $Z_{j,1}$ 上协调相位的红灯起点差值;

[0168]  $g_i$ :相位 $p_i$ 的绿信比;

[0169]  $gs_p$ :相位p的绿灯起始时间/ $C_i$

[0170]  $r_p$ :相位p的红灯时间/ $C_i$ ;

[0171]  $C_{i,1}/C_{i,2}$ :交叉口i的周期上下限;

[0172]  $e_{i,j}/f_{i,j}(\bar{e}_{i,j}/\bar{f}_{i,j})$ :交叉口i在 $Z_{j,1}(Z_{j,2})$ 方向上的速度上下限;

[0173]  $lb_{i,j}/ub_{i,j}(\bar{lb}_{i,j}/\bar{ub}_{i,j})$ :交叉口i在 $Z_{j,1}(Z_{j,2})$ 方向上的协调相位带宽上下限;

[0174]  $d_{i,j}$ :第i股交通流上第j个路段的距离;

[0175]  $\alpha_{i,j}(\bar{\alpha}_{i,j})$ :  $b_{i,j}(\bar{b}_{i,j})$ 的带宽权重;

[0176]  $\beta_{i,j}(\bar{\beta}_{i,j})$ :确定 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的第j个路段为绿波协调或者无协调;

[0177]  $P_{p,L}/P_{p,S}/P_{p,R}(\bar{P}_{p,L}/\bar{P}_{p,S}/\bar{P}_{p,R})$ :与p相关的上行(下行)左转/直行/右转相位;

[0178] 模型以最大带宽为优化目标,最大带宽为所有带宽结合带宽权重计算:

$$[0179] \quad \text{Max } B = \sum_{k=1}^{2E} \alpha_{ij} * b_{ij} + \bar{\alpha}_{ij} * \bar{b}_{ij} \quad (5)$$

[0180] 绿波协调时的时距图如图1所示。绿波协调时,干预变量 $\omega_{i,j}(\bar{\omega}_{i,j})$ 为 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上第j个交叉口的红灯右侧到绿波带左侧的时间;相位差 $\phi_{i,j}(\bar{\phi}_{i,j})$ 为 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上第j+1(j)个交叉口的协调相位红灯中点时间与第j(j+1)个交叉口的协调相位红灯中点间的差值; $\Delta_{i,j}$ 为 $Z_{i,1}$ 上交叉口j协调相位红灯中点时刻与 $Z_{i,2}$ 上交叉口j协调相位红灯中点时刻的差值。由图1可总结出公式(6)-(24)。

$$[0181] \quad \omega_{i,j} + b_{i,j} \leq 1 - r_{p_k} \quad (6)$$

$$[0182] \quad \bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{b}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_{k+1}} \quad (7)$$

$$[0183] \quad \omega_{i,j+1} + b_{i,j} + \tau_{i,j+1} \leq 1 - r_{p_{k+1}} \quad (8)$$

$$[0184] \quad \bar{\omega}_{i,j} + \bar{b}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} \leq 1 - \bar{r}_{p_k} \quad (9)$$

$$[0185] \quad \phi_{i,j} + \omega_{i,j+1} - \omega_{i,j} - t_{i,j} + \tau_{i,j+1} = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (10)$$

$$[0186] \quad \bar{\phi}_{i,j} - \bar{\omega}_{i,j+1} + \bar{\omega}_{i,j} - \bar{t}_{i,j} + \bar{\tau}_{i,j} = (\bar{r}_{p_{k+1}} - \bar{r}_{p_k})/2 \quad (11)$$

$$[0187] \quad 0 \leq \omega_{i,j} \leq 1 \quad (12)$$

$$[0188] \quad 0 \leq \bar{\omega}_{i,j} \leq 1 \quad (13)$$

$$[0189] \quad \phi_{i,j} + \bar{\phi}_{i,j} - M_k = \Delta_{i,j+1} - \Delta_{i,j} \quad (14)$$

$$[0190] \quad ST_{1,1} = 0 \quad (15)$$

$$[0191] \quad ST_{i,j+1} - ST_{i,j} - \phi_{i,j} - N_k = (r_{p_k} - r_{p_{k+1}})/2 \quad (16)$$

$$[0192] \quad -10 \leq M_k \leq 10, M_k \in \mathbb{Z} \quad (17)$$

$$[0193] \quad -10 \leq N_k \leq 10, N_k \in \mathbb{Z} \quad (18)$$

$$[0194] \quad 1/C_{i,1} \leq z \leq 1/C_{i,2} \quad (19)$$

$$[0195] \quad lb_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \leq b_{i,j} \leq ub_{i,j} * (1 - r_{p_{k+1}}) \quad (20)$$

$$[0196] \quad \bar{lb}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \leq \bar{b}_{i,j} \leq \bar{ub}_{i,j} * (1 - \bar{r}_{p_k}) \quad (21)$$

$$[0197] \quad d_{i,j}/f_{i,j} * z_k \leq t_{i,j} \leq d_{i,j}/e_{i,j} * z_k \quad (22)$$

$$[0198] \quad d_{i,j}/\bar{f}_{i,j} * z_k \leq \bar{t}_{i,j} \leq d_{i,j}/\bar{e}_{i,j} * z_k \quad (23)$$



[0199] 本文的左转相位模式基于双环结构,选择最优左转相位模式需要添加 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束;由于TF-BAND的协调相位可变,交叉口交通流 $Z_{i,1}$ 和 $Z_{i,2}$ 上的协调相位并不一定位于双环隔离的同一边,需要同时引入 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 才能构造 $\Delta_{i,j}$ 的等式约束,用 $p_x(p_y)$ 表示 $s_k$ 在 $Z_{i,1}(Z_{i,2})$ 上的协调相位。

[0200] 定义 $p_x(p_y)$ 的红灯中点时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X(Y)$ ,定义南北方向放行时长为 $\theta_{sn}$ ,东西方向放行时长为 $\theta_{ew}$ ,显然 $\theta_{sn} + \theta_{ew} = 1$ 。根据 $p_x, p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ ,  $\Delta_{i,j}$ 的计算包含6种情况,总结这6种情况可得公式(24)。

$$[0201] \quad \Delta_{i,j} = \begin{cases} X - Y - \theta_{sn} + \xi_k & p_x \text{为南北相位, } p_y \text{为东西相位} \\ X - Y + \theta_{sn} - \xi_k & p_y \text{为南北相位, } p_x \text{为东西相位} \\ X - Y & \text{其他} \end{cases} \quad (24)$$

[0202] 本文的左转相位模式如图2所示。 $X$ 和 $Y$ 是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数,因为 $X$ 和 $Y$ 都是从本方向的左侧隔离开始计算,因此 $X$ 和 $Y$ 的公式可以统一表示,即公式(25):

$$[0203] \quad X = \begin{cases} \delta_{i,1} * g_7 + (1 + g_1)/2 & p_x = p_1 \\ (1 - \bar{\delta}_{i,1}) * g_6 + (1 + g_2)/2 & p_x = p_2 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_3 \\ \bar{\delta}_{i,1} * g_2 + (1 + g_6)/2 & p_x = p_6 \\ (1 - \delta_{i,1}) * g_1 + (1 + g_7)/2 & p_x = p_7 \\ (1 + g_6 + g_2)/2 & p_x = p_8 \\ \delta_{i,2} * g_{12} + (1 + g_{16})/2 & p_x = p_{11} \\ (1 - \bar{\delta}_{i,2}) * g_{11} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{12} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{13} \\ \bar{\delta}_{i,2} * g_{17} + (1 + g_{11})/2 & p_x = p_{16} \\ (1 - \delta_{i,2}) * g_{16} + (1 + g_{17})/2 & p_x = p_{17} \\ (1 + g_{11} + g_{17})/2 & p_x = p_{18} \end{cases} \quad (25)$$

[0204] 添加 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 和 $\xi_k$ 的0-1整数约束:

$$[0205] \quad \delta_{i,1} \in \{0, 1\} \quad (26)$$

$$[0206] \quad \bar{\delta}_{i,1} \in \{0, 1\} \quad (27)$$

$$[0207] \quad \delta_{i,2} \in \{0, 1\} \quad (28)$$

$$[0208] \quad \bar{\delta}_{i,2} \in \{0, 1\} \quad (29)$$

$$[0209] \quad \xi_k \in \{0, 1\} \quad (30)$$

[0210] 为了进行多干线区域协调,需要添加 $p_x$ 和 $p_y$ 红灯起点差值等式约束。定义 $s_k$ 上的两股交通流为 $Z_x$ 和 $Z_y$ ,  $Z_{x,1}(Z_{y,1})$ 上的协调相位为 $p_x(p_y)$ ,  $p_x(p_y)$ 的红灯中点时刻到该相位左侧隔离的差值为 $X(Y)$ ,根据 $p_x, p_y$ 的相位和变量 $\xi_k$ ,  $\nabla_k$ 的计算包含6种情况,总结这6种情况可得公式(31)。

$$[0211] \quad \nabla_k = \begin{cases} Y - X + \theta_{sn} - \xi_k & p_x \text{为南北相位, } p_y \text{为东西相位} \\ Y - X - \theta_{sn} + \xi_k & p_y \text{为南北相位, } p_x \text{为东西相位} \\ Y - X & \text{其他} \end{cases} \quad (31)$$

[0212] X和Y是和 $\delta_{i,1}(\bar{\delta}_{i,1})/\delta_{i,2}(\bar{\delta}_{i,2})$ 相关的函数,因为X和Y都是从本方向的左侧隔 离开 始计算,因此X和Y的公式可以统一表示,即公式(32):

$$[0213] \quad X = \begin{cases} g_7 * \delta_{i,1} + g_1 & p_x = p_1 \\ g_6 * (1 - \bar{\delta}_{i,1}) + g_2 & p_x = p_2 \\ g_2 + g_6 & p_x = p_3 \\ g_2 * \bar{\delta}_{i,1} + g_6 & p_x = p_6 \\ -g_1 * \delta_{i,1} + g_1 + g_7 & p_x = p_7 \\ g_1 + g_7 & p_x = p_8 \\ g_{12} * \delta_{i,2} + g_{16} & p_x = p_{11} \\ g_{11} * (1 - \bar{\delta}_{i,2}) + g_{17} & p_x = p_{12} \\ g_{17} + g_{11} & p_x = p_{13} \\ g_{17} * \bar{\delta}_{i,2} + g_{11} & p_x = p_{16} \\ -g_{16} * \delta_{i,1} + g_{16} + g_{12} & p_x = p_{17} \\ g_{16} + g_{12} & p_x = p_{18} \end{cases} \quad (32)$$

[0214] 由公式(6) - (32)作为约束条件,公式(5)作为目标函数,构成了混合 整数线性规划模型。

[0215] 步骤10:使用分支定界法求解TF-BAND模型,获得所有交叉口的配时方案,所有交通流上路段间的协调带宽和推荐速度,交叉口所属的交通流编号和子区编 号。

[0216] 步骤11:结束。

[0217] 实施例3,一种面向交通流向的区域协调控制方法,包括如下步 骤:

[0218] 步骤1:输入路网结构、所有交叉口的路段参数和所有交叉口的 基础配时方案:

[0219] 首先,输入路网中的所有交叉口,配置所有交叉口的交叉口编号、交叉口名;配置所有交叉口东西北4个方向的相邻交叉口编号、东西北4个方向的路段 距离。

[0220] 其次,配置所有交叉口东西北方向左转、直行、右转共12个相位的控制 方式,可选的控制方式为绿波协调和无协调;配置所有交叉口东西北方向的带 宽上下限和东西北方向路段的速度上下限;配置所有交叉口东西北方向的清 空时间。

[0221] 最后,配置所有交叉口的配时方案,可以按照阶段表或者双环结构配置每个 交叉口的配时方案,配时方案应包括东西北方向左转、直行、右转共12个相 位的绿灯时间、黄灯时间和全红时间。

[0222] 步骤2:配置路段距离阈值和优化模式:

[0223] 优化模式包含相序优化和非相序优化。在相序优化模式下,由TF-BAND模 型智能选择交叉口的最优相序;在非相序优化模式下,相序依照基础方案的相序。

[0224] 步骤3:按照本发明中对交通流的定义输入路网中的所有交通流:

[0225] 每条交通流由其包含的2条单向交通流上的协调相位集合和交通流上的所有 交叉口编号集合构成。

[0226] 步骤4:构建TF-BAND模型:按照分支定界法的数据结构实现TF-BAND 模型。构建TF-BAND模型可以按实施例2方法进行。

[0227] 步骤5:开始构建待优化路网结构:将一条新路段和其相关的交叉口加入待 优化路网结构,构建待优化路网结构中的所有交通流。

[0228] 步骤6:交通流的协调计算:根据待优化路网结构,将相关路段和交叉口的 所有参

数代入TF-BAND模型,利用分支定界法进行计算,对待优化路网结构中的所有交通流进行协调计算。如果分支定界法能够计算出结果,那么待优化路网保留新加入的路段和与其相关的交叉口,否则去除新加入的路段。

[0229] 步骤7:添加新路段至待优化路网:

[0230] 将一条新路段和其相关的交叉口加入待优化路网结构,构建待优化路网结构中的所有交通流。如果新路段存在,那么转到步骤6,否则转到步骤8。

[0231] 步骤8:构建路网协调计算结果的接口:

[0232] 首先,根据TF-BAND模型中定义的变量,获取每个交叉口的周期、相位差和新的配时方案。根据每个交叉口的周期、相位差和新的配时方案,推导所有交通流的带宽、推荐运行速度。

[0233] 其次,根据待优化路网中的交通流,推导每个交叉口所处的交通流编号和子区编号。

[0234] 最后,提供交叉口和交通流输出参数的接口,可以供其他程序调用。

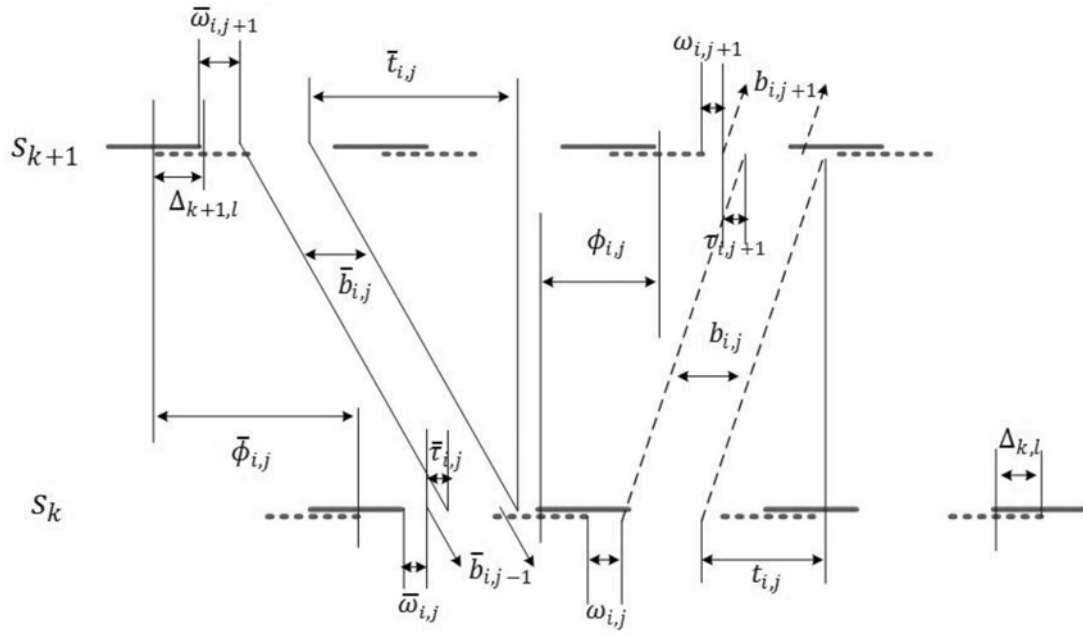


图1

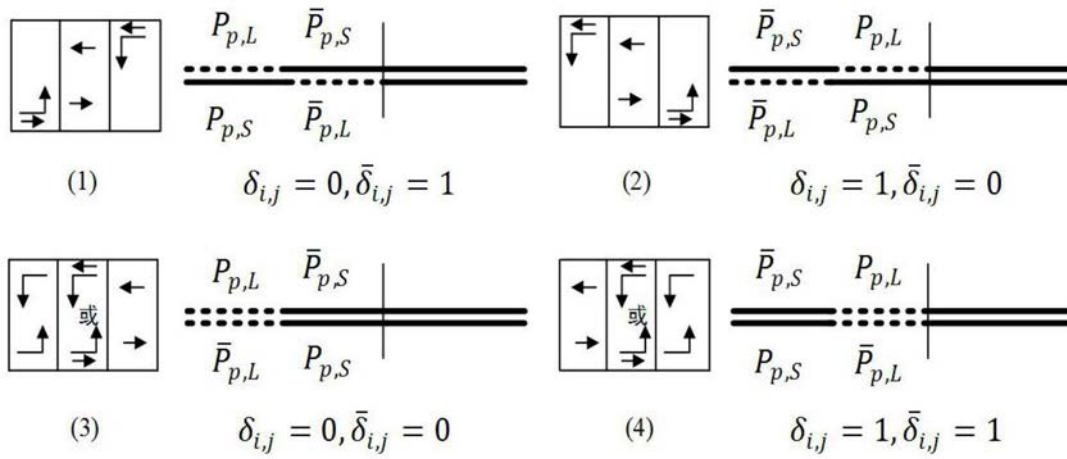


图2