



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103700273 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 06

(21) 申请号 201410004750. 6

(22) 申请日 2014. 01. 06

(73) 专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

(72) 发明人 陈峻 顾姗姗 何鹏 刘志广

(74) 专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

32250

代理人 王斌

(51) Int. Cl.

G08G 1/09(2006. 01)

审查员 刘丽娟

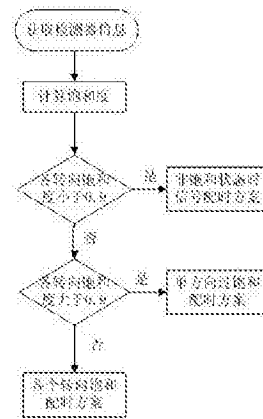
权利要求书4页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

基于可变导向车道的信号配时优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于可变导向车道的信号配时优化方法,在可变导向车道功能属性发生变化后,根据检测器获得的各转向交通量,得出各转向车流饱和度,根据饱和度确定不同的信号配时优化方案,具体包括:饱和度较低时,以延误最小作为控制目标,采用传统韦伯斯特法确定周期与信号配时;当饱和度大于 0.9 时,以提高路口通行能力与减小延误为目标,若某一转向过饱和时,利用爬山法调整周期和绿信比;若各转向均达饱和,在常规四相位基础上增加一个相位,重新划分相位组,寻找各组合相位组的关键相位链,按等饱和度原则分配绿灯时间;达到减小交叉口总延误、提高通行能力的目的。



1. 基于可变导向车道的信号配时优化方法,其特征在于,包含以下步骤:

1) 布设检测器,获取进口道各转向流量交通参数;

将线圈检测器布设在距离进口道上游展宽段尾部,数量为进口直行车道、左转车道、可变导向车道上的线圈检测器的总和,用于检测各车道通过车辆数数据,由此获得进口道各转向流量交通参数;

2) 计算各转向饱和度;

$x_i = \frac{q_i}{CAP_i}$, 其中 q_i —第 i 转向车流的单车道车流量,当量交通量/小时; CAP_i — i 转向

车流的通过能力,当量交通量/小时;

3) 根据步骤 2) 计算的饱和度,执行不同信号配时方案;

若流量较低,处于非饱和状态,改变可变导向车道转向功能后,各转向饱和度 $x_i \leq x_0$ 时,其中 x_0 为临界饱和度,则执行步骤 4);随着进口道流量的增加,当某一转向饱和度 $x_i > x_0$ 时,则执行步骤 5);当进口道趋于拥堵,目标进口道的各转向流量比均明显大于对向进口道各转向流量比时,以常规四相位配时方案为基础,则执行步骤 6);

4) 当各转向的饱和度 $x_i \leq x_0$, 其中 x_0 为临界饱和度,根据流量变化调整信号配时:

4.1) 确定相位流量比变化值;

假设原有左转车道数为 a 条,直行车道数为 b 条,当可变车道功能发生变化后,左转车道数变为 a' 条,直行车道数变为 b' ;则各相位流量比变为:

左转相位流量比变为:

$$y_L' = \frac{a}{a'} y_L \quad (1)$$

式中: y_L ——左转相位原来的流量比;

y_L' ——可变导向车道功能变换后左转相位的流量比;

直行相位相应流量比变为:

$$y_T' = \frac{b}{b'} y_T \quad (2)$$

式中: y_T ——直行相位原来的流量比;

y_T' ——可变导向车道功能变换后直行相位的流量比;

进口道总交通流量比变为:

$$Y' = Y + \frac{a' - a}{a'} y_L + \frac{b' - b}{b'} y_T \quad (3)$$

4.2) 确定信号周期和有效绿灯时间;

根据 Webster 最佳周期时长公式,信号周期应当变为:

$$C' = \frac{1.5L + 5}{1 - Y'} \quad (4)$$

可变导向车道功能变换后,左转相位有效绿灯时间变为:

$$g_L' = (C' - L) \frac{y_L'}{Y'} \quad (5)$$

可变导向车道功能变换后,直行相位有效绿灯时间变为:

$$g_{T'} = (C' - L) \frac{Y_T'}{Y'} \quad (6);$$

5) 当可变导向车道功能属性发生变化后,表现在某一转向相位过饱和,即 $x_i > x_0$ 时,其信号配时优化方法为:

5.1) 计算初始配时方案;

以满足车辆延误最小为目标,以经典 Webster 方法得到初始配时方案,信号周期和有效绿灯时间如式 (4)、(5)、(6) 所示;

5.2) 计算车道车均延误;

采用 Akcelik 延误计算公式:

$$d = \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-q/S)} + \frac{Q_0 x}{q} \quad (7)$$

式中: d ——车辆平均延误,单位为:秒/当量交通量; C ——信号周期,单位为:秒; g ——有效绿灯时间,单位为:秒; q ——车流量,单位为:当量交通量/小时; Q_0 ——平均饱和和排队车辆滞留数; x ——饱和度; S ——饱和流率,单位为:当量交通量/小时,其计算公式为:

$$Q_0 = \begin{cases} \frac{1.5(x-x_0)}{1-x} & x > x_0 \\ 0 & x \leq x_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: x_0 ——临界饱和度,对应车道的达到饱和流量时的饱和度;当饱和度大于 x_0 时,出现平均饱和和排队车辆数,根据 Akcelik 的延误公式, x_0 可表达为:

$$x_0 = 0.67 + \frac{Sg}{600} \quad (9)$$

5.3) 采用爬山法优化周期时长和相位绿信比;

5.4) 建立优化模型;

以交叉口目标进口道总延误作为目标函数,总延误为目标进口道每转向车流的车均延误与该转向车流到达交通量的乘积之和:

$$\min D' = \sum_i d_i q_i \quad (10)$$

$$s.t. \begin{cases} 20K \leq C \leq 60K \\ \sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C \end{cases}$$

式中: D' ——目标进口道总延误;

d_i ——第 i 转向车流的车均延误,秒;

q_i ——第 i 转向车流的车流量,当量交通量/小时;

K ——交叉口相位数;

g_{ek} ——相位 k 的有效绿灯时间,秒;

约束条件包括:①周期时长的约束,即大于各相位最小绿灯的时长之和,小于各

相位最大绿灯时长之和,取最小绿灯时长为 20s,最大绿灯时长为 60s,因此给出公式: $20K \leq C \leq 60K$; ②各相位有效绿灯时长之和与损失时间相加应等于周期时长,即:

$$\sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C;$$

6) 当改变可变导向车道功能属性后,若目标进口道的各转向流量比均明显大于对向进口道各转向流量比,则以常规四相位配时方案为基础,确定信号配时,步骤为:

6.1) 划分相位组;

常规四相位基础上增加一个相位:目标进口道的直行和左转,这里考虑目标进口道为由南向北方向,相位增加到 5 个,并重新划分为 3 个组合相位组:

组合相位组 1:东西向直行 ET、WT;

组合相位组 2:东西向左转 EL、WL;

组合相位组 3:南北向直行 NT、ST;南向北直行 ST 和左转 SL;南北向左转 NL、SL;

6.2) 寻找各组合相位组的关键相位链;

相位组 1 中相位链为 ET 或 WT,相位组 2 中为 EL 或 WL,相位组 3 中为 NT 和 SL,或 NL 和 ST,各相位组关键相位链的流量比:

$$y_1 = \max(y_{ET}, y_{WT}) \quad (11)$$

$$y_2 = \max(y_{EL}, y_{WL}) \quad (12)$$

$$y_3 = \max(y_{NT}+y_{SL}, y_{NL}+y_{ST}) \quad (13)$$

6.3) 根据韦伯斯特公式计算最佳周期时长;

$$\text{进口道总交通流量比: } Y = \sum_{m=1}^3 y_m \quad (14)$$

$$\text{信号周期: } C = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (15)$$

6.4) 按等饱和度原则分配绿灯时间;

设总有效绿灯时间为 G,各相位组有效绿灯时间为 g_m ,则:

$$g_m = G \frac{y_m}{Y} = (C - L) \frac{y_m}{Y}, m = 1, 2, 3 \quad (16)$$

其中相位组 3 中包含 3 个阶段,需要对各阶段的时间继续进行分配,假设 $y_{NT}+y_{SL} > y_{NL}+y_{ST}$,则 NT 和 SL 为关键组合相位链,其中 $y_{SL} > y_{NL}$,且 $y_{ST} > y_{NT}$,设相位组 3 中各转向车流有效绿灯时间为 g_{3j} ,其中 $j = 1, 2, 3, 4$,各转向的有效绿灯时间分别为:

$$\text{北向南直行: } g_{31} = \frac{y_{NT}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (17)$$

$$\text{南向北直行: } g_{32} = \frac{y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (18)$$

$$\text{南向北左转: } g_{33} = \frac{y_{SL}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (19)$$

$$\text{北向南左转: } g_{34} = \frac{y_{NT} + y_{SL} - y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (20)$$

2. 根据权利要求 1 所述的基于可变导向车道的信号配时优化方法,其特征在于,步骤 5.3) 所述的爬山法为:

2.1) 首先对周期进行调整,把周期向正方向以一定步长进行一次调整后,计算此时的延误 d ;

2.2) 不改变周期,定步长调整绿信比,分为正向与反向调整,当向正向调整计算得到每辆车的平均延误 d' 较延误 d 减少时,说明该方向调整绿信比有效,继续调整直至最小延误值;若绿信比调整中计算值较延误值 d 大,说明绿信比调整方向不正确,继续反向调整,直至获得最小延误,调整过程中要对每个方案的主要进口道饱和度进行检验,当饱和度 < 0.9 ,该方案有效;

2.3) 该周期获得的最小延误值与调整周期前的延误值进行对比,若延误值降低,说明周期调整方向正确,循环上述步骤 2.1)、2.2) 继续调整;若延误值未降低,则减小一定步长周期时间进行调整,绿信比的调整同步骤 2.2);

2.4) 当无论周期增加或减少、绿信比如何调整,延误值都不再变小时,优化完毕。

基于可变导向车道的信号配时优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于道路交通控制领域,具体涉及在可变导向车道功能属性发生变化后,依据不同的道路饱和度确定信号配时的方法。

背景技术

[0002] 随着社会经济的发展,汽车保有量的急剧增加,许多大中城市的交通拥堵现象也趋严重。城市交叉口是城市道路网中道路通行能力的“隘路”,是交通秩序混乱和交通事故的多发点。解决城市交通拥堵问题的关键之一是要提高城市交叉口的通行效率,其车道功能划分与信号配时设计是否合理直接影响到整个城市交通网络的运行状态。

[0003] 可变车道管理技术就是一种动态的交通管理与控制方法,根据交通需求的变化,对路段车道或交叉口车道功能进行动态调整,以适应交通流量的变化。目前可变导向车道的实施在部分城市已经获得了较好的效果。但在可变导向车道转向功能发生变化后,原有的信号配时会存在一定的缺陷,考虑如何设置合理的信号配时方案,才能更好地提高可变导向车道的效率。

[0004] 同时,针对不同的交通流状况,信号控制策略也会有所差异,特别是饱和交通与低饱和交通存在着显著的不同。现有研究虽然对低流量和高流量下的信号控制进行分别讨论,但均以韦伯斯特法进行信号调整,忽略了韦伯斯特法在应对饱和交通时的缺陷。

[0005] 因此本发明在可变导向车道功能属性发生变化的基础上,针对不同条件下的优化目标以及不同的饱和度提出信号配置优化方案。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提出一种基于可变导向车道的信号配时优化方法,在可变导向车道的基础上,协同信号配时的控制,使进口道饱和度控制在合理范围,减少交叉口延误,提高通行能力。

[0007] 本发明采用的技术方案为:基于可变导向车道的信号配时优化方法,具体包括:

[0008] 1) 布设检测器,获取进口道各转向流量交通参数;

[0009] 将线圈检测器布设在距离进口道上游展宽段尾部,数量为进口直行车道、左转车道、可变导向车道上的线圈检测器的总和,用于检测各车道通过车辆数数据,由此获得进口道各转向流量交通参数;

[0010] 2) 计算各转向饱和度;

[0011] $x_i = \frac{q_i}{CAP_i}$,其中 q_i — i 转向车流的单车道车流量,当量交通量 / 小时; CAP_i — i 转向车流的通过能力,当量交通量 / 小时;

[0012] 3) 根据步骤 2) 计算的饱和度,执行不同信号配时方案;

[0013] 若流量较低,处于非饱和状态,改变可变导向车道转向功能后,各转向饱和度

$x_i \leq x_0$ 时,其中 x_0 为临界饱和度,则执行步骤 4);随着进口道流量的增加,当某一转向相位

饱和度 $x_i > x_0$ 时, 则执行步骤 5); 当进口道趋于拥堵, 目标进口道的各转向流量比均明显大于对向进口道各转向流量比时, 以常规四相位配时方案为基础, 则执行步骤 6);

[0014] 4) 当直行或者左转等各转向的饱和度 $x_i \leq x_0$, 其中 x_0 为临界饱和度, 根据流量变化调整信号配时:

[0015] 4.1) 确定相位流量比变化值

[0016] 假设原有左转车道数为 a 条, 直行车道数为 b 条, 当可变车道功能发生变化后, 左转车道数变为 a' 条, 直行车道数变为 b' ; 则各相位流量比变为:

[0017] 左转相位流量比变为:

$$[0018] \quad y_L' = \frac{a}{a'} y_L \quad (1)$$

[0019] 式中: y_L ——左转相位原来的流量比;

[0020] y_L' ——可变导向车道功能变换后左转相位的流量比;

[0021] 直行相位相应流量比变为:

$$[0022] \quad y_T' = \frac{b}{b'} y_T \quad (2)$$

[0023] 式中: y_T ——直行相位原来的流量比;

[0024] y_T' ——可变导向车道功能变换后直行相位的流量比;

[0025] 进口道总交通流量比变为:

$$[0026] \quad Y' = Y + \frac{a'-a}{a'} y_L + \frac{b'-b}{b'} y_T \quad (3)$$

[0027] 4.2) 确定信号周期和有效绿灯时间

[0028] 根据 Webster 最佳周期时长公式, 信号周期应当变为:

$$[0029] \quad C' = \frac{1.5L+5}{1-Y'}, \text{ 其中 } L \text{ 为损失时间, (4)}$$

[0030] 可变导向车道功能变换后, 左转相位有效绿灯时间变为:

$$[0031] \quad g_L' = (C' - L) \frac{y_L'}{Y'} \quad (5)$$

[0032] 可变导向车道功能变换后, 直行相位有效绿灯时间变为:

$$[0033] \quad g_T' = (C' - L) \frac{y_T'}{Y'} \quad (6);$$

[0034] 5) 当可变导向车道功能属性发生变化后, 表现在某一转向相位过饱和, 即 $x_i > x_0$ 时, 其信号配时优化方法为:

[0035] 5.1) 计算初始配时方案

[0036] 以满足车辆延误最小为目标, 以经典 Webster 方法得到初始配时方案, 信号周期和有效绿灯时间如式 (4)、(5)、(6) 所示;

[0037] 5.2) 计算车道车均延误;

[0038] 采用 Akcelik 延误计算公式:

$$[0039] \quad d = \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-q/S)} + \frac{Q_0 x}{q} \quad (7)$$

[0040] 式中： d ——车辆平均延误，单位为：秒/当量交通量； C ——信号周期，单位为：秒； g ——有效绿灯时间，单位为：秒； q ——车流量，单位为：当量交通量/小时； Q_0 ——平均饱和和排队车辆滞留数； x ——饱和度； S ——饱和流率，单位为：当量交通量/小时，其计算公式为：

$$[0041] \quad Q_0 = \begin{cases} \frac{1.5(x-x_0)}{1-x} & x > x_0 \\ 0 & x \leq x_0 \end{cases} \quad (8)$$

[0042] 式中： x_0 ——临界饱和度，对应车道的达到饱和流量时的饱和度；当饱和度大于 x_0 时，出现平均饱和和排队车辆数， x_0 可表达为：

$$[0043] \quad x_0 = 0.67 + \frac{Sg}{600} \quad (9)$$

[0044] 5.3) 采用爬山法优化周期时长和相位绿信比；

[0045] a. 首先对周期进行调整，把周期向正方向以一定步长进行一次调整后，计算此时的延误 d ；

[0046] b. 不改变周期，定步长调整绿信比，分为正向与反向调整；当向正向调整计算得到每辆车的平均延误 d' 较延误 d 减少时，说明该方向调整绿信比有效，继续调整直至最小延误值；若绿信比调整中计算值较延误值 d 大，说明绿信比调整方向不正确，继续反向调整，直至获得最小延误；调整过程中要对每个方案的主要进口道饱和度进行检验，当饱和度 < 0.9 ，该方案有效；

[0047] c. 该周期获得的最小延误值与调整周期前的延误值进行对比；若延误值降低，说明周期调整方向正确，循环上述步骤 2.1)、2.2) 继续调整；若延误值未降低，则减小一定步长周期时间进行调整，绿信比的调整同步骤 2.2)；

[0048] d. 当无论周期增加或减少、绿信比如何调整，延误值都不再变小时，优化完毕；

[0049] 5.4) 建立优化模型；

[0050] 以交叉口目标进口道总延误作为目标函数，总延误为目标进口道每转向车流的车均延误与该转向车流到达交通量的乘积之和：

$$[0051] \quad \min D' = \sum_i d_i q_i \quad (10)$$

$$[0052] \quad s.t. \begin{cases} 20K \leq C \leq 60K \\ \sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C \end{cases}$$

[0053] 式中： D' ——目标进口道总延误；

[0054] d_i ——第 i 转向车流的车均延误，秒；

[0055] q_i ——第 i 转向车流的车流量，当量交通量/小时；

[0056] K ——交叉口相位数；

[0057] g_{ek} ——相位 k 的有效绿灯时间，秒；

[0058] 约束条件包括：①周期时长的约束，即大于各相位最小绿灯的时长之和，小于各相位最大绿灯时长之和，取最小绿灯时长为 20s，最大绿灯时长为 60s，因此给出公式： $20K \leq C \leq 60K$ ，其中 K 为该交叉口相位数；②各相位有效绿灯时长之和与损失时间相相应

等于周期时长,即: $\sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C$;

[0059] 6) 当改变可变导向车道功能属性后,若目标进口道的各转向流量比均明显大于对向进口道各转向流量比,则以常规四相位配时方案为基础,确定信号配时步骤为:

[0060] 6.1) 划分相位组;

[0061] 常规四相位基础上增加一个相位:目标进口道的直行和左转,这里考虑目标进口道为由南向北方向,相位增加到5个,并重新划分为3个组合相位组:

[0062] 组合相位组1:东西向直行 ET、WT;

[0063] 组合相位组2:东西向左转 EL、WL;

[0064] 组合相位组3:南北向直行 NT、ST;南向北直行 ST 和左转 SL;南北向左转 NL、SL;

[0065] 6.2) 寻找各组合相位组的关键相位链;

[0066] 相位组1中相位链为 ET 或 WT,相位组2中为 EL 或 WL,相位组3中为 NT 和 SL,或 NL 和 ST,各相位组关键相位链的流量比:

$$[0067] \quad y_1 = \max(y_{ET}, y_{WT}) \quad (11)$$

$$[0068] \quad y_2 = \max(y_{EL}, y_{WL}) \quad (12)$$

$$[0069] \quad y_3 = \max(y_{NT} + y_{SL}, y_{NL} + y_{ST}) \quad (13)$$

[0070] 6.3) 根据韦伯斯特公式计算最佳周期时长;

$$[0071] \quad \text{进口道总交通流量比: } Y = \sum_{m=1}^3 y_m \quad (14)$$

$$[0072] \quad \text{信号周期: } C = \frac{1.5L + 5}{1 - Y} \quad (15)$$

[0073] 6.4) 按等饱和度原则分配绿灯时间;

[0074] 设有效绿灯时间为 G,各相位组绿灯时间为 g_m ,则:

$$[0075] \quad g_m = G \frac{y_m}{Y} = (C - L) \frac{y_m}{Y}, m = 1, 2, 3 \quad (16)$$

[0076] 其中相位组3中包含3个阶段,需要对各阶段的时间继续进分配,假设 $y_{NT} + y_{SL} > y_{NL} + y_{ST}$,则 NT 和 SL 为关键组合相位链,其中 $y_{SL} > y_{NL}$,且 $y_{ST} > y_{NT}$,设相位组3中各转向车流有效绿灯时间为 g_{3j} ,其中 $j = 1, 2, 3, 4$,各转向的有效绿灯时间分别为:

$$[0077] \quad \text{北向南直行: } g_{31} = \frac{y_{NT}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (17)$$

$$[0078] \quad \text{南向北直行: } g_{32} = \frac{y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (18)$$

$$[0079] \quad \text{南向北左转: } g_{33} = \frac{y_{SL}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (19)$$

$$[0080] \quad \text{北向南左转: } g_{34} = \frac{y_{NT} + y_{SL} - y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3 \quad (20)$$

[0081] 1、本发明提出了基于可变导向车道的信号配时优化方法,针对不同交通状态下,提出了不同的控制目标和策略,分别在非饱和状态和饱和状态时,确定了可变导向车道功

能变换后相应的信号配时方案。

[0082] 2、针对进口道时段性、方向性转向不均衡交通的特征,通过车道功能与信号配时的协同控制,使进口道饱和度控制在合理范围,进而达到减小交叉口总延误、提高通行能力的效果。

附图说明

- [0083] 图 1 为不同交通状态下信号配时逻辑流程图；
 [0084] 图 2 为常规四相位信号控制交叉口示意图；
 [0085] 图 3 为常规四相位信号配时示意图；
 [0086] 图 4 为爬山法目标相位信号配时优化流程图；
 [0087] 图 5 为重组合的相位组合方案以及信号配时方案示意图。

具体实施方式

[0088] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0089] 针对存在可变导向车道的交叉口,当可变导向车道满足转换条件,考虑车道由直行功能转变成左转,根据目标车道流量的变化,计算饱和度,判断不同车道转向饱和度是否达到饱和度阈值,确定不同状态下的信号配时优化方案,如图 1 所示。

[0090] 以常规四相位十字路口为例,其信号配时如图 2 所示：

[0091] 步骤一：将检测器布设在距离进口道上游展宽段尾部,如图 3 所示；

[0092] 步骤二：计算各转向饱和度： $x_i = \frac{q_i}{CAP_i}$,其中 q_i — i 转向车流的单车道车流量,当量交通量 / 小时； CAP_i — i 转向车流的通过能力,当量交通量 / 小时；

[0093] 步骤三：假设原有左转车道数为 a 条,直行车道数为 b 条,当可变车道功能发生变化后,左转车道数变为 a' 条,直行车道数变为 b' ；当车流量较低时,各转向饱和度 $x_i \leq x_0$,其中 x_0 为临界饱和度,根据流量变化调整相位配时：

[0094] 左转相位流量比变为： $y_L' = \frac{a}{a'} y_L$,其中 y_L ——左转相位原来的流量比, y_L' ——可变导向车道功能变换后左转相位的流量比；

[0095] 直行相位流量比变为： $y_T' = \frac{b}{b'} y_T$,其中 y_T ——直行相位原来的流量比, y_T' ——可变导向车道功能变换后直行相位的流量比；

[0096] 进口道总交通流量比变为： $Y' = Y + \frac{a'-a}{a'} y_L + \frac{b'-b}{b'} y_T$

[0097] 信号周期应当变为： $C' = \frac{1.5L+5}{1-Y'}$,其中 L 为损失时间

[0098] 可变导向车道功能变换后,左转相位有效绿灯时间变为： $g_L' = (C' - L) \frac{y_L'}{Y'}$

[0099] 可变导向车道功能变换后,直行相位有效绿灯时间变为： $g_T' = (C' - L) \frac{y_T'}{Y'}$ ；

[0100] 步骤四：随着车流量的增加，转变可变导向车道功能属性后，当某一转向相位饱和度 $x_i > x_0$ 时，其信号配时优化方法为：

[0101] 1) 计算初始配时方案；

[0102] 以满足车辆延误最小为目标，以经典 Webster 方法得到最优配时方案，信号周期和有效绿灯时间式，如步骤二所示；

[0103] 2) 计算车道车均延误；

[0104] 采用 Akcelik 延误计算公式： $d = \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-q/S)} + \frac{Q_0 x}{q}$ ，其中 d ——车辆平均延误，

单位为：秒 / 当量交通量； C ——信号周期，单位为：秒； g ——有效绿灯时间，单位为：秒； q ——车流量，单位为：当量交通量 / 小时； Q_0 ——平均饱和排队车辆滞留数； x ——饱和度；

S ——饱和流率，单位为：当量交通量 / 小时。其计算公式为： $Q_0 = \begin{cases} \frac{1.5(x-x_0)}{1-x} & x > x_0 \\ 0 & x \leq x_0 \end{cases}$ ，

x_0 ——临界饱和度，对应车道的达到饱和流量时的饱和度；当饱和度大于 x_0 时，出现平均饱

和排队车辆数， x_0 可表达为： $x_0 = 0.67 + \frac{Sg}{600}$ ；

[0105] 3) 针对目标进口道的左转和直行相位，采用爬山法优化周期时长和相位绿信比，如图 4 所示，其中相位 A 为左转相位，相位 B 为直行相位；

[0106] 4) 建立优化模型

[0107] 以交叉口目标进口道总延误作为目标函数，总延误为目标进口道每车道的车均延误与该车道到达交通量的乘积之和：

$$[0108] \quad \min D' = \sum_i d_i q_i$$

$$[0109] \quad s.t. \begin{cases} 20K \leq C \leq 60K \\ \sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C \end{cases}$$

[0110] 其中， D' ——目标进口道总延误， d_i ——第 i 转向车流的车均延误，单位为：秒， q_i ——第 i 转向车流的车流量，单位为：当量交通量 / 小时， K ——交叉口相位数， g_{ek} ——相位 k 的有效绿灯时间，单位为：秒；

[0111] 约束条件包括：①周期时长的约束，即大于各相位最小绿灯的时长之和，小于各相位最大绿灯时长之和，取最小绿灯时长为 20s，最大绿灯时长为 60s，因此给出公式： $20K \leq C \leq 60K$ ，其中 K 为该交叉口相位数；②各相位有效绿灯时长之和与损失时间相加应

等于周期时长，即： $\sum_{k=1}^K g_{ek} + L = C$ ；

[0112] 步骤五：随着车流量的继续增加，变换可变导向车道后，若目标进口道的各转向流量比均明显大于对向进口道各转向流量比，则信号配时方案：

[0113] 1) 由于在常规四相位基础上增加一个相位 4，相位增加到 5 个，将相位 3、4 和 5 合

并为相位组 3, 划分 3 个组合相位组 ; 其相位组合与信号配时方案如图 5 所示 ;

[0114] 2) 寻找各组合相位组的关键相位链 ;

[0115] 相位组 1 中相位链为 ET 或 WT, 相位组 2 中为 EL 或 WL, 相位组 3 中为 NT 和 SL, 或 NL 和 ST, 各相位组关键相位链的流量比 :

$$[0116] \quad y_1 = \max(y_{ET}, y_{WT})$$

$$[0117] \quad y_2 = \max(y_{EL}, y_{WL})$$

$$[0118] \quad y_3 = \max(y_{NT}+y_{SL}, y_{NL}+y_{ST})$$

[0119] 3) 根据韦伯斯特公式计算最佳周期时长 ;

$$[0120] \quad \text{进口道总交通流量比 : } Y = \sum_{m=1}^3 y_m$$

$$[0121] \quad \text{信号周期 : } C = \frac{1.5L+5}{1-Y}$$

[0122] 4) 按等饱和度原则分配绿灯时间 ;

[0123] 设有效绿灯时间为 G, 各相位组绿灯时间为 g_m , 则 :

$$[0124] \quad g_m = G \frac{y_m}{Y} = (C-L) \frac{y_m}{Y}, m=1,2,3$$

[0125] 其中相位组 3 中包含 3 个阶段, 需要对各阶段的时间继续进分配, 假设 $y_{NT}+y_{SL} > y_{NL}+y_{ST}$, 则 NT 和 SL 为关键组合相位链, 其中 $y_{SL} > y_{NL}$, 且 $y_{ST} > y_{NT}$, 设相位组 3 中各转向车流有效绿灯时间为 g_{3j} , 其中 $j = 1, 2, 3, 4$, 各转向的有效绿灯时间分别为 :

$$[0126] \quad \text{北向南直行 : } g_{31} = \frac{y_{NT}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3$$

$$[0127] \quad \text{南向北直行 : } g_{32} = \frac{y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3$$

$$[0128] \quad \text{南向北左转 : } g_{33} = \frac{y_{SL}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3$$

$$[0129] \quad \text{北向南左转 : } g_{34} = \frac{y_{NT} + y_{SL} - y_{ST}}{y_{NT} + y_{SL}} g_3$$

[0130] 下面结合具体仿真实例做具体说明 :

[0131] 以典型十字路口为仿真背景, 如图 2 所示。

[0132] 该交叉口东西向进口道均为 3 车道, 均有一条左转、直行、右转车道 ; 南北向进口道为有展宽式进口道, 进口道为 5 车道。北进口道有 2 条单独的左转车道、2 条直行车道以及 1 条右转车道, 南进口道为设有可变导向车道的目标进口道, 其中第二条车道设为直行 / 左转可变导向车道, 其余为 1 条左转车道、2 条直行车道和 1 条右转车道。

[0133] 目标进口道 (南进口道) 展宽段长度为 60m, 渐变段约 35m。

[0134] 1、初始配时方案

[0135] 交叉口各进口道的交通流量初始数据如表 1 所示 :

[0136] 表 1 交叉口初始流量

[0137]

进口道		流量 (pcu/h)	进口道		流量 (pcu/h)
东	左转	232	南	左转	250
	直行	350		直行	830
	右转	118		右转	120
西	左转	232	北	左转	480
	直行	350		直行	600
	右转	118		右转	120

[0138] 该进口道原信号配时方案为：周期为 90s，东西向直行相位 20s，东西向左转相位 15s，南北向直行相位 22s，南北向左转相位 21s。保持东西向各转向车流量不变，目标进口道各转向车流量随时间变换。

[0139] 初始可变导向车道转向功能为直行，南进口道（不考虑右转车道）为 1 条左转、3 条直行车道。南进口道左转和直行方向在不同时段流量如表 2 所示

[0140] 表 2 目标进口道不同时段各转向流量

[0141]

时段 (s)	0-1200	1200-2400	2400-3600	3600-4800	4800-6000

[0142]

左转流量 (pcu/h)	250	300	350	450	500
直行流量 (pcu/h)	830	880	880	880	880

[0143] 2、饱和度

[0144] 利用仿真得到的各转向排队长度与连续 3 周期通过车辆数计算饱和度，如表 3 所示：

[0145] 表 3 各周期各转向最大排队长度仿真统计表

[0146]

周期	时间/s	左转最大排队 长度/m	直行最大排队 长度/m	左转饱和度	直行饱和度
...
44	3960	118	51	0.99	0.88
45	4050	111	32	1.03	0.73
46	4140	105	33	1.19	0.58
47	4230	125	24	1.12	0.53
...

[0147] 3、不饱和状态下信号配时方案

[0148] 可变导向车道由直行车道变为左转车道,在不改变周期情况下,对交叉口进行信号配时优化,给出的最优配时方案为:周期为 90s,东西向直行相位 20s,东西向左转相位 15s,南北向直行相位 26s,南北向左转相位 17s。

[0149] 利用仿真,计算车辆平均延误、停车次数,对该方案与初始信号配时方案进行对比,如表 4 所示:

[0150] 表 4 各项指标对比表

[0151]

评价指标	方案	目标进口道	左转车流	直行车流	交叉口
车均延误 (s)	初始方案	47.61	61.31	36.89	39.80
	方案 3	33.93	34.53	39.33	34.14
车均停车次数	初始方案	1.04	1.20	0.91	0.89
	方案 3	0.84	0.84	0.95	0.84

[0152] 4、单方向过饱和状态下信号配时方案

[0153] 以时段 4800s ~ 6000s 为例,即左转流量为 500pcu/h,直行流量为 880pcu/h 时,此时,若不改变信号配时,则计算得到左转车流饱和度为 0.62,直行车流饱和度为 0.96 > 0.9,直行方向过饱和,采用单方向过饱和优化方法对交叉口进行信号配时优化。

[0154] 给出信号配时优化方案为:周期为 85s,东西向直行相位 19s,东西向左转相位 14s,南北向直行相位 25s,南北向左转相位 15s。

[0155] 利用仿真,计算车辆平均延误、停车次数,对该方案与初始信号配时方案进行对比,如表 5 所示:

[0156] 表 5 各项指标对比表

[0157]

评价指标	方案	目标进口道	左转车流	直行车流	交叉口
车均延误 (s)	初始方案	47.61	61.31	36.89	39.80
	方案 4	31.2	35.3	32.4	33.2
车均停车次数	初始方案	1.04	1.20	0.91	0.89
	方案 4	0.84	0.90	0.88	0.86

[0158] 5、进口道各转向均饱和状态下的信号配时优化方案

[0159] 若左转方向和直行方向车流进一步增加,左转流量达到 650pcu/h,直行流量达到 1030pcu/h 时,计算得到南进口道的各转向的流量比均明显大于北进口道对应转向流量比。

[0160] 根据提出的信号配时方法,对相位进行调整,在传统四相位基础上增加南进口道左转直行相位。提出配时方案为:周期 111s,东西向直行相位 24s,东西向左转相位 18s,北向南直行相位 29s,南向北直行相位 38s,南向北左转相位 28s,北向南左转相位 19s。

[0161] 通过仿真,从车均延误、最大排队长度对该方案与传统 Webster 法给出配时方案

进行对比,如表 6 所示:

[0162] 表 6 各项指标对比表

[0163]

评价指标	方案	目标进口道	左转车流	直行车流	交叉口
车均延误 (s)	传统 Webster 法配时方案	57.4	57.3	57.4	54.2
	方案 5	39.6	41.1	38.7	41.9
车均停车次数	传统 Webster 法配时方案	1.02	0.96	1.05	0.92
	方案 5	0.92	0.95	0.90	0.88

[0164] 应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

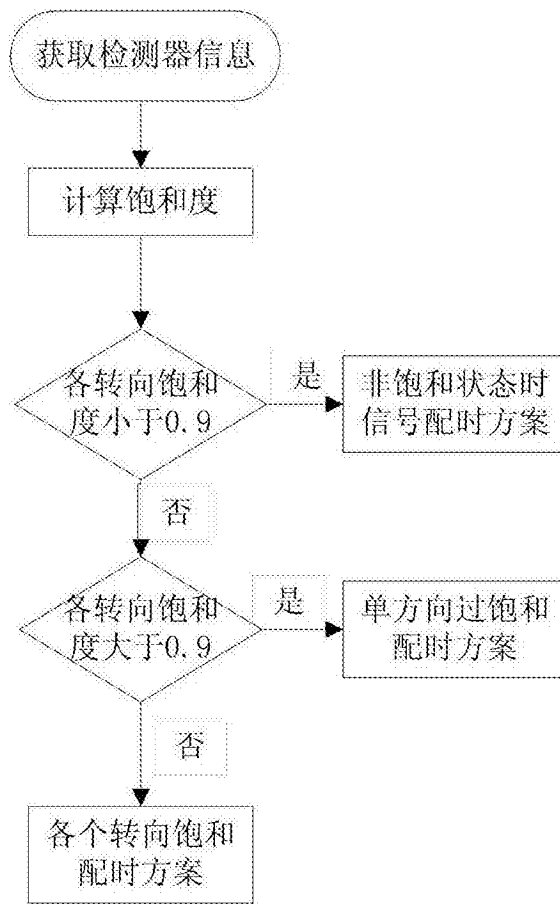


图 1

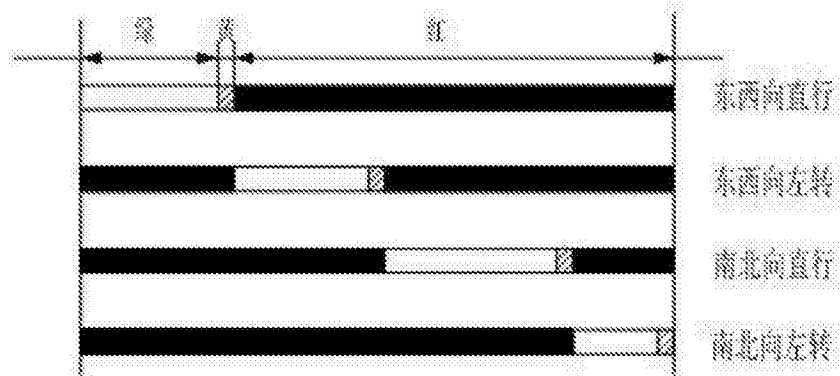
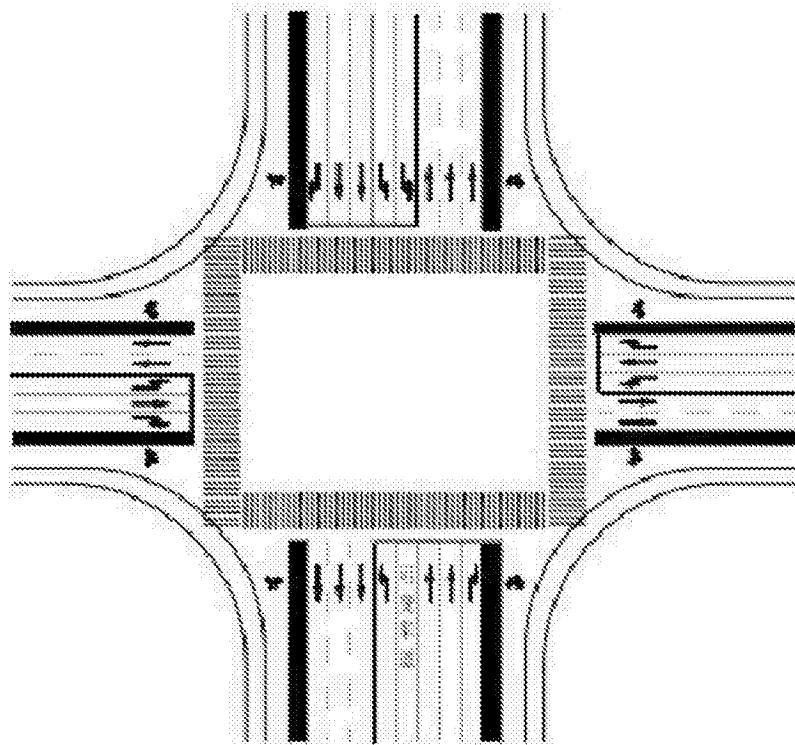


图 2

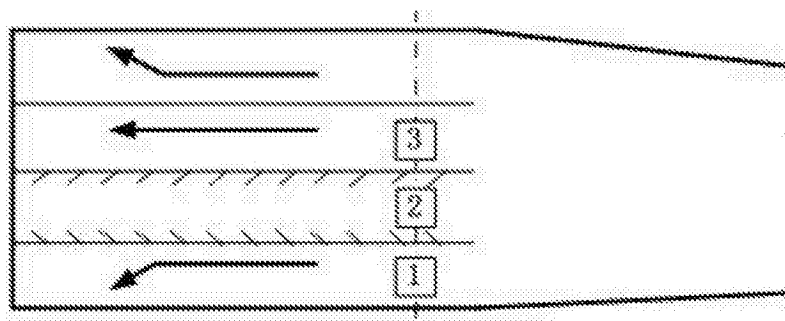


图 3

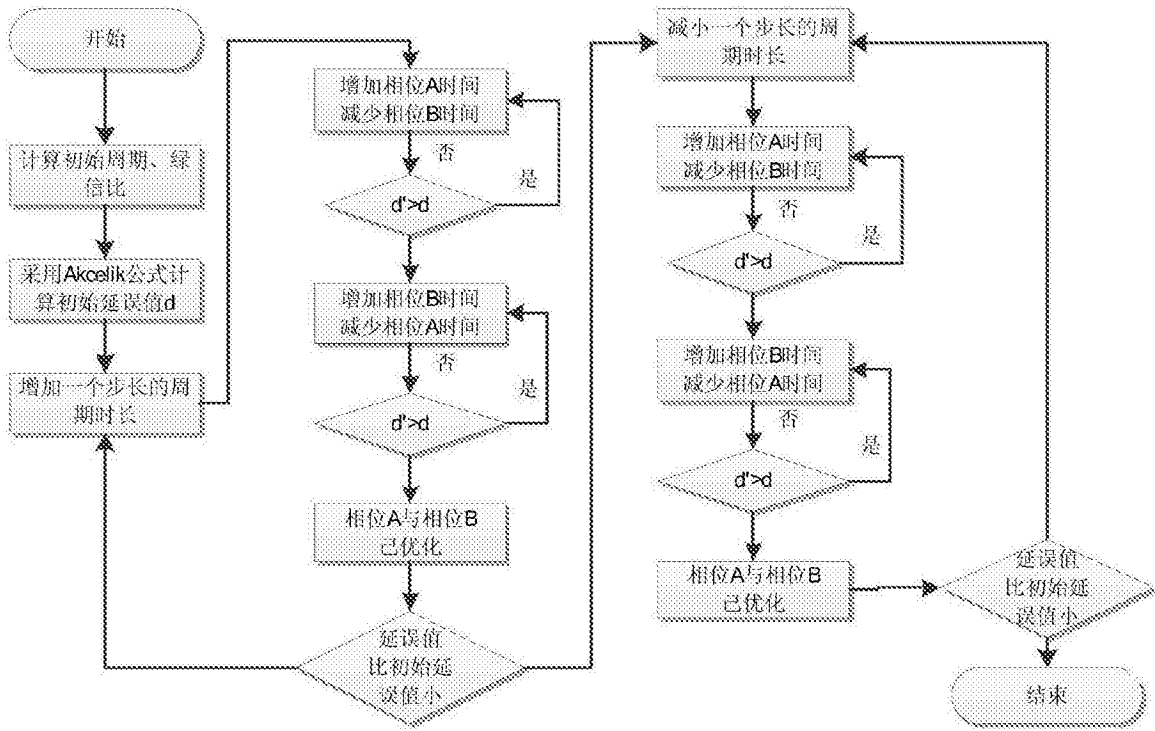


图 4

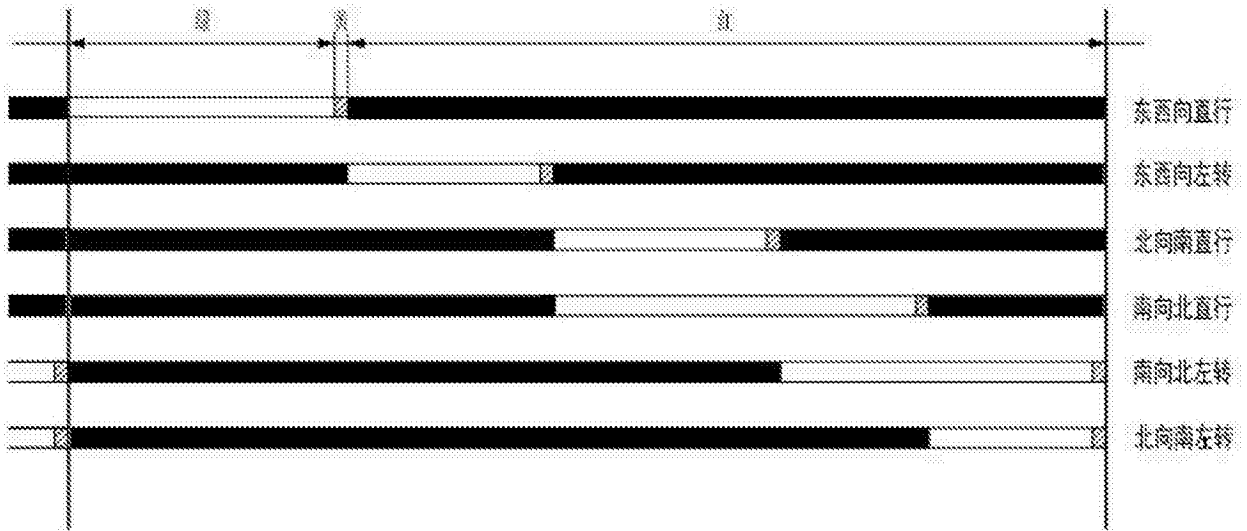
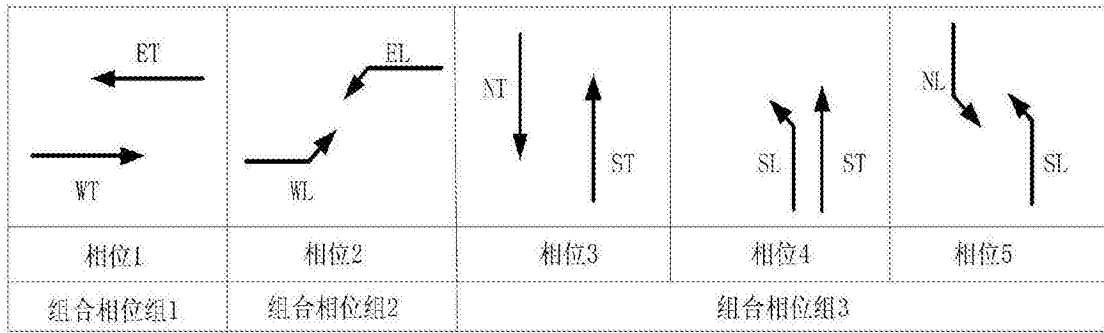


图 5