



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105931459 A

(43)申请公布日 2016.09.07

(21)申请号 201610316223.8

(22)申请日 2016.05.13

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 李志斌 刘攀 王炜 徐铖铖

(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 1/01(2006.01)

G08G 1/09(2006.01)

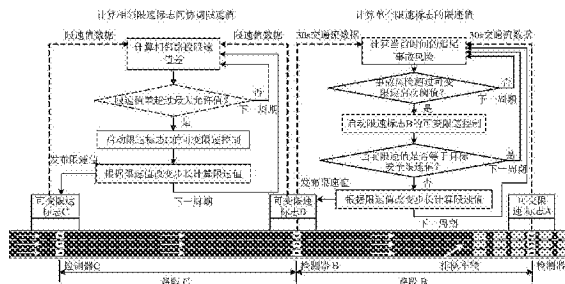
权利要求书4页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法

(57)摘要

一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法。在快速道路孤立瓶颈路段上下游设置检测器和可变限速指示牌,采集实时交通流数据和发布可变限速控制策略,基于遗传算法挖掘控制效果最优的可变限速控制参数值,依据事故预测模型计算各路段内实时追尾事故风险,当路段事故风险超过启动阈值时启动可变限速控制,逐步调整限速值至目标值,同时用相邻路段最大限速差值控制限速值的空间波动幅度;当事故风险小于阈值时,可变限速值逐步恢复到默认值。本发明弥补了可变限速控制中核心参数取值的随意性,使可变限速控制的限速值逐步连续变化,降低了限速值在时空上的大幅波动,缓和驾驶员的速度变化,有效降低限速值突变导致的交通流波动与紊乱。



1. 一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是包括以下步骤:

1) 确定孤立瓶颈路段范围及交通流检测器设置合理间距,在快速道路路段内合理位置配套设置交通流检测器和可变限速控制指示牌。通过交通流检测器周期性检测孤立瓶颈区域及其上下游交通流数据;

2) 基于事故预测模型及瓶颈处交通流检测器检测到的交通流数据,计算实时追尾事故风险,具体步骤包括:

201) 计算追尾事故风险指数RCRI,计算公式如下:

$$RCRI = \frac{[\bar{V}_U(t-\Delta T, t) - \bar{V}_D(t-\Delta T, t)] \cdot \bar{O}_U(t-\Delta T, t)}{1 - \bar{O}_U(t-\Delta T, t)}$$

其中,

$\bar{V}_U(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内上游检测器位置平均速度, $\bar{V}_U(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J V_U^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

$\bar{V}_D(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内下游检测器位置平均速度, $\bar{V}_D(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J V_D^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

$\bar{O}_U(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内上游检测器位置平均占有率, $\bar{O}_U(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J O_U^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

$V_U^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 、 $V_D^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 和 $O_U^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 分别为第 j 个时间 Δt 内上下游检测器位置车道 m 的平均速度和上游检测器位置车道 m 的平均占有率;

J 为一个时间段内集计交通流数据个数 ($J = \Delta T / \Delta t$, $\Delta t = 30s$);

M 为路段断面车道数;

202) 计算瓶颈所处路段 i 内当前时刻 t 的实时追尾事故风险 $R_i(t)$, 计算公式如下:

$$R_i(t) = P(Y=1) = \frac{\exp(-3.095 + 0.191 \cdot RCRI + 0.178 \cdot \sigma(O_U) + 0.172 \cdot \sigma(O_D))}{1 + \exp(-3.095 + 0.191 \cdot RCRI + 0.178 \cdot \sigma(O_U) + 0.172 \cdot \sigma(O_D))}$$

其中,

$P(Y=1)$ 为追尾事故发生概率;

$\sigma(O_U)$ 为上游检测器占有率标准差, $\sigma(O_U) = \sqrt{\frac{1}{M \cdot J} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J [O_U^m(t_j - \Delta t, t_j) - \bar{O}_U(t-\Delta T, t)]^2}$; σ

(O_D) 为下游检测器占有率标准差, $\sigma(O_D) = \sqrt{\frac{1}{M \cdot J} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J [O_D^m(t_j - \Delta t, t_j) - \bar{O}_D(t-\Delta T, t)]^2}$;

3) 判断是否启动可变限速控制策略并计算当前时刻各位置可变限速控制指示牌显示的限速值,具体步骤包括:

301) 比较步骤2)中计算得到的当前时刻 t 瓶颈所处路段 i 的事故风险值 $R_i(t)$ 和可变限速控制启动阈值 R_{TH} , 若该路段事故风险超过启动阈值则启动瓶颈处上游可变限速标志的可变限速控制,逐步将限速值调整至目标安全限速值;反之,若该路段事故风险小于启动阈值,则可变限速值逐步恢复到默认值。具体公式如下:

$$V_{SL}(x_i, t + \Delta t) = \begin{cases} V_{SL}(\text{default}) - \Delta V_{SL}(x_i, t), & \text{if } R_i(t) > R_{TH} \\ \min\{V_{SL}(\text{default}), V_{SL}(x_i, t) + \Delta V_{SL}(x_i, t)\}, & \text{all other cases} \end{cases}$$

302) 依据下式计算可变限速控制启动后位置 x_i 的可变限速标志在 t 时刻的变化步长值:

$$\Delta V_{SL}(x_i, t) = \begin{cases} -\Delta V, & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) < V_{SL}(x_i, t) - \Delta V \\ 0, & \text{if } V_{SL}(x_i, t) - \Delta V \leq T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) \leq V_{SL}(x_i, t) + \Delta V \\ \Delta V, & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) > V_{SL}(x_i, t) + \Delta V \end{cases}$$

其中,

ΔV 为路段限速值变化步长;

T_{VSL} 为目标安全限速值;

303) 将步骤302)中计算得到的位置 x_i 的可变限速标志在 t 时刻的变化步长值带入可变限速控制限速值的计算公式, 计算得到路段 i 内位置 x_i 的可变限速标志在 t 时刻的可变限速控制状态计算其在 $t + \Delta t$ 时刻的限速值, 计算公式如下:

$$V_{SL}(x_i, t + \Delta t) = \begin{cases} V_{SL}(\text{default}) + \Delta V_{SL}(x_i, t), & \text{if } R_i(t) > R_{TH} \\ \min\{V_{SL}(\text{default}), V_{SL}(x_i, t) + \Delta V_{SL}(x_i, t)\}, & \text{all other cases} \end{cases}$$

其中,

R_{TH} 为可变限速控制启动阈值;

$R_i(t)$ 为当前时刻 t 瓶颈所处路段 i 的事故风险值;

$V_{SL}(x_i, t + \Delta t)$ 为路段 i 内位置 x_i 的可变限速标志在 $t + \Delta t$ 时刻的限速值;

$V_{SL}(\text{default})$ 为路段默认限速值;

$\Delta V_{SL}(x_i, t)$ 为位置 x_i 的可变限速标志在 t 时刻的变化步长;

4) 在步骤3)中确定了各路段内限速值后, 计算位置 x_i 的可变限速标志与相邻上游可变限速标志的限速值差, 若差值大于预设的相邻路段最大允许限速值差, 则启动相邻上游可变限速标志的可变限速控制, 依据下式计算限速值改变步长并更新发布相邻上游可变限速标志的限速值:

$$\Delta V'_{SL}(x_i, t) = \begin{cases} -\Delta V', & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) \leq T_{VSL}(x_{i+1}, t + \Delta t) + \Delta V' \\ 0, & \text{all other cases} \end{cases}$$

其中,

$\Delta V'$ 为相邻路段最大限速值差;

5) 确定可变限速控制策略中的四个关键参数的取值范围及遗传算法中的优化目标函数, 具体步骤包括:

501) 可变限速控制策略包含的四个核心控制参数分别为启动可变限速的事故风险阈值 R_{TH} 、目标安全限速值 R_{TH} 、限速值改变步长 ΔV 和相邻路段最大限速值差 $\Delta V'$, 启动可变限速控制的事故风险阈值的取值范围为最大事故风险的10%-30%, 以5%的步长递进; 目标安全限速值的取值范围从拥堵中交通流速度25mph到50mph, 以5mph的步长递进; 限速值改变步长从每2分钟改变5mph到每30秒改变15mph; 相邻路段最大限速值差为从5mph到25mph;

502) 遗传算法中的优化目标函数的计算公式如下:

$$Fitness = - \left[\alpha \cdot \left(\frac{R_{VSL} - R_{No}}{R_{No}} \right) + (1 - \alpha) \cdot \left(\frac{T_{VSL} - T_{No}}{T_{No}} \right) \right]$$

其中,

Fitness为适应度;

a为权重系数,其目的为在事故风险下降和出行时间增加之间进行权衡,缺省取值为0.5;

R_{VSL} 和 R_{No} 分别为可变限速控制下和无控制下事故风险;

T_{VSL} 和 T_{No} 分别为可变限速控制下和无控制下总通行时间;

6)基于遗传算法和交通流仿真模型对步骤5)中的四个关键参数在其取值范围内对其取值进行优化;在单目标遗传算法中四个关键参数的取值如下:种群大小M为20,、最大代数T为100、交叉概率 P_c 为0.9、变异概率 P_m 为0.1;初始化设置进化代数计数器为 $t=0$,设置最大进化代数T,设置遗传算法中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m ;随机生成M个个体作为初始群体P(0),第m个个体中包含各可变限速控制参数取值信息编码 $m(x_1, x_2, x_3, x_4)$;将群体P(t)中的个体参数值输入交通流仿真模型,依据仿真输出结果计算每个个体的适应度;从群体中选择优胜的个体,个体被选择的概率为个体适应度在整个群体适应度综合中所占比例,被选择后的个体随机组成交配对;以一定概率在个体串中随机设定一个交叉点,实行交叉时该点前或后的两个个体部分结构进行互换,并生成两个新个体;按照变异概率选取群体中部分个体改动其部分参数值;群体P(t)经过选择、交叉、变异运算之后,得到下一代群体P(t+1);当迭代次数达到最大代数T时,遗传算法终止;否则,重复初始化以后的各步骤直至终止条件满足;将具有最大适应度的个体对应的最优解 (x_1, x_2, x_3, x_4) 翻译成可变限速控制的四个核心参数的取值;

7)将步骤6)中得到的事故风险阈值 R_{TH} 、目标安全限速值 R_{TH} 、限速值改变步长 ΔV 和相邻路段最大限速值差 $\Delta V'$ 的优化取值带入步骤3)和步骤4)中作为各关键参数的推荐取值,然后依据步骤1)到步骤4)的控制策略对快速道路鼓励瓶颈路段进行可变限速控制。

2.根据权利要求1所述的一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是所述步骤1)中交通流检测器设置的合理间距为0.5英里。

3.根据权利要求1所述的一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是所述步骤1)中交通流检测器的检测周期为30s,所检测的交通流数据包括各检测器位置各车道的平均速度和平均占有率。

4.根据权利要求1所述的一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是所述步骤502)中适应度函数的计算公式中,权重系数a的缺省取值为0.5。

5.根据权利要求1所述的一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是所述步骤502)中适应度函数的计算公式中,事故风险的计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{t=1}^K \sum_{i=1}^N P_i(t)}{N \times K}$$

其中,

$P_i(t)$ 为路段i在t时刻的追尾事故风险;

K为总仿真时间;

N为路段个数。

6.根据权利要求1所述的一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,其特征是所述步骤502)中适应度函数的计算公式中,总通行时间的计算公式如下:

$$T = \frac{\sum_{t=1}^K \sum_{i=1}^N d_i(t) \cdot \Delta t}{N \times K}$$

其中,

$d_i(t)$ 为路段*i*在*t*时刻的车辆数;

Δt 为仿真时间步长;

K为总仿真时间;

N为路段个数。

一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于交通控制技术领域,尤其涉及一种基于遗传算法的快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法。

背景技术

[0002] 可变限速控制作为一种越来越被广泛用于改善快速道路交通安全的交通控制策略,其控制效果与可变限速值确定过程所采用的算法密切相关。遗传算法作为一种闭环结构,可以通过不断挖掘具有更好控制效果的控制参数取值以及控制效果对控制策略的反馈调节过程,有效提升可变限速控制的效果和可变限速控制限速值的合理性。因此,基于遗传算法的快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,通过遗传算法不断挖掘可变限速控制核心参数的最优取值实现可变限速控制效果的最优化。

[0003] 目前的可变限速控制策略中涉及的关键参数取值主要依赖工程师经验主观确定,而且不同位置不同时刻的可变限速值存在跳跃性,可变限速值过于频繁的大幅波动易导致驾驶员出错,使得快速路段上可变限速控制区域存在安全隐患。本发明提出基于遗传算法的快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,相比于以往的可变限速控制策略,本发明提出的策略有效提升了可变限速控制效果,同时使得相邻时间段和空间上的可变限速值变化更连续。

发明内容

[0004] 本发明要解决的问题是:以往针对孤立瓶颈路段的可变限速控制策略缺乏对相邻路段限速值进行协调控制,对于可变限速控制策略中的核心参数的取值也具有一定主观随意性,因此导致相邻路段的可变限速值出现较大波动引发安全隐患。本发明提出一种基于遗传算法的快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,采用遗传算法对可变限速控制策略中最优核心控制参数的取值进行优化,在启用可变限速控制过程中逐步将限速值调整至目标值,同时设置限速值在空间上的连续变化。克服之前可变限速控制中核心控制参数取值的随意性和限速值在时间和空间上的大幅波动。

[0005] 本发明技术方案为:

[0006] 本发明提出一种快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略优化方法,针对可变限速控制策略中涉及的关键控制参数利用遗传算法原理获取其最优取值,基于各参数的最优取值和实时计算得到的追尾事故风险判断是否启动可变限速控制,在开启和结束可变限速控制的过程中均保证限速值逐步调整至目标值,同时设置限速值空间上的连续变化,本方法对实际中通过可变限速控制策略有效降低孤立瓶颈路段内追尾事故风险具有重要意义。实例显示,本发明提出的可变限速控制策略优化方法有很好的效果,优化后的策略能有效降低快速道路孤立瓶颈路段的安全隐患和可变限速控制下限速值的波动幅度。

附图说明

- [0007] 图1为快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略流程图。
 [0008] 图2为基于遗传算法的可变限速控制策略优化流程图。
 [0009] 图3为单目标遗传算法流程图。
 [0010] 图4为算例中孤立瓶颈路段示意图。

具体实施方式

[0011] 本发明是基于遗传算法的基本原理和可变限速控制策略的基本流程提出对可变限速控制策略中的核心参数和控制效果进行优化的方法,通过交通流检测器检测孤立瓶颈路段上下游交通流运行情况,基于遗传算法和交通流仿真给出可变限速控制策略中核心参数的优化取值,计算孤立瓶颈路段的实时追尾事故风险判断是否启动可变限速控制。当某路段事故风险超过阈值时启动可变限速控制,逐步将限速值调整至目标值,同时设置限速值空间上的连续变化;当路段内事故风险小于阈值时,可变限速值逐步恢复到默认值,基于遗传算法的快速道路孤立瓶颈路段的可变限速控制策略的流程图如图1所示。

[0012] 第一步是在快速道路上瓶颈路段及其上下游按照合理间距设置交通流检测器,同时在每一个交通流检测器位置设置一个可变限速指示牌。以30s为时间周期通过交通流检测器实时获取瓶颈区及其上下游交通流数据,包括各检测器位置各车道的平均速度和平均占有率。

[0013] 第二步是基于事故预测模型及瓶颈处交通流检测器检测到的交通流数据,计算追尾事故风险指数RCRI,计算公式如下:

$$[0014] \quad RCRI = \frac{[\bar{V}_U(t-\Delta T, t) - \bar{V}_D(t-\Delta T, t)] \cdot \bar{O}_U(t-\Delta T, t)}{1 - \bar{O}_U(t-\Delta T, t)} \quad (1)$$

[0015] 其中,

[0016] $\bar{V}_U(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内上游检测器位置平均速度, $\bar{V}_U(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J V_U^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

[0017] $\bar{V}_D(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内下游检测器位置平均速度, $\bar{V}_D(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J V_D^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

[0018] $\bar{O}_U(t-\Delta t, t)$ 为时间 Δt 内上游检测器位置平均占有率, $\bar{O}_U(t-\Delta T, t) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J O_U^m(t_j - \Delta t, t_j) / M \cdot J$;

[0019] $V_U^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 、 $V_D^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 和 $O_U^m(t_j - \Delta t, t_j)$ 分别为第j个时间 Δt 内上下游检测器位置车道m平均速度和上游检测器位置车道m的平均占有率;

[0020] J为一个时间段内集计交通流数据个数($J = \Delta T / \Delta t$, $\Delta t = 30s$);

[0021] M为路段断面车道数。

[0022] 基于RCRI的取值计算瓶颈所处路段i内当前时刻t的实时追尾事故风险 $R_i(t)$,计算公式如下:

$$[0023] \quad R_i(t) = P(Y=1) = \frac{\exp(-3.095 + 0.191 \cdot RCRI + 0.178 \cdot \sigma(O_U) + 0.172 \cdot \sigma(O_D))}{1 + \exp(-3.095 + 0.191 \cdot RCRI + 0.178 \cdot \sigma(O_U) + 0.172 \cdot \sigma(O_D))} \quad (2)$$

[0024] 其中,

[0025] $P(Y=1)$ 为追尾事故发生概率;

[0026] $\sigma(O_U)$ 为上游检测器占有率标准差, $\sigma(O_U) = \sqrt{\frac{1}{M \cdot J} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J [O_U^m(t_j - \Delta t, t_j) - \bar{O}_U(t - \Delta T, t)]^2}$;

[0027] $\sigma(O_D)$ 为下游检测器占有率标准差, $\sigma(O_D) = \sqrt{\frac{1}{M \cdot J} \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J [O_D^m(t_j - \Delta t, t_j) - \bar{O}_D(t - \Delta T, t)]^2}$ 。

[0028] 第三步是比较当前时刻t瓶颈所处路段i的事故风险值 $R_i(t)$ 和启动阈值 R_{TH} ,若该路段事故风险超过启动阈值则启动瓶颈处上游可变限速标志的可变限速控制,逐步将限速值调整至目标安全限速值;反之,若该路段事故风险小于启动阈值,则可变限速值逐步恢复到默认值,具体公式如下:

$$[0029] \quad V_{SL}(x_i, t + \Delta t) = \begin{cases} V_{SL}(\text{default}) - \Delta V_{SL}(x_i, t), & R_i(t) > R_{TH} \\ \min\{V_{SL}(\text{default}), V_{SL}(x_i, t) + \Delta V_{SL}(x_i, t)\}, & \text{all other cases} \end{cases} \quad (3)$$

[0030] 若路段i在t时刻可变限速处于启动状态,则路段限速值由变化步长 ΔV 和目标安全限速值 T_{VSL} 两个因子共同确定,首先计算位置 x_i 的可变限速标志在t时刻的变化步长值,计算公式如下:

$$[0031] \quad \Delta V_{SL}(x_i, t) = \begin{cases} -\Delta V, & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) < V_{SL}(x_i, t) - \Delta V \\ 0, & \text{if } V_{SL}(x_i, t) - \Delta V \leq T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) \leq V_{SL}(x_i, t) + \Delta V \\ \Delta V, & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) > V_{SL}(x_i, t) + \Delta V \end{cases} \quad (4)$$

[0032] 其中,

[0033] ΔV 为路段限速值变化步长;

[0034] T_{VSL} 为目标安全限速值。

[0035] 将公式(4)中计算得到的 $\Delta V_{SL}(x_i, t)$ 值带入下述公式(5),依据当前路段i内位置 x_i 的可变限速标志在t时刻的可变限速控制状态计算其在 $t + \Delta t$ 时刻的限速值:

$$[0036] \quad V_{SL}(x_i, t + \Delta t) = \begin{cases} V_{SL}(\text{default}) + \Delta V_{SL}(x_i, t), & \text{if } R_i(t) > R_{TH} \\ \min\{V_{SL}(\text{default}), V_{SL}(x_i, t) + \Delta V_{SL}(x_i, t)\}, & \text{all other cases} \end{cases} \quad (5)$$

[0037] 其中,

[0038] R_{TH} 为可变限速控制启动阈值;

[0039] $R_i(t)$ 为当前时刻t瓶颈所处路段i的事故风险值;

[0040] $V_{SL}(x_i, t + \Delta t)$ 为路段i内位置 x_i 的可变限速标志在 $t + \Delta t$ 时刻的限速值;

[0041] $V_{SL}(\text{default})$ 为路段默认限速值;

[0042] $\Delta V_{SL}(x_i, t)$ 为位置 x_i 的可变限速标志在t时刻的变化步长。

[0043] 第四步是为保证限速值空间上的连续变化需对相邻路段限速值进行协调控制,在确定了各路段内限速值之后计算位置 x_i 的可变限速标志与相邻上游可变限速标志的限速值差,若限速值差超过相邻路段最大允许限速值差则启动相邻上游可变限速标志的可变限速控制,依据限速值改变步长更新相邻上游可变限速标志的限速值并发布。可变限速标志的变化步长的计算公式如下:

$$[0044] \quad \Delta V'_{SL}(x_i, t) = \begin{cases} -\Delta V', & \text{if } T_{VSL}(x_i, t + \Delta t) \leq T_{VSL}(x_{i+1}, t + \Delta t) + \Delta V' \\ 0, & \text{all other cases} \end{cases} \quad (6)$$

[0045] 其中,

[0046] $\Delta V'$ 为相邻路段最大限速值差。

[0047] 第五步是确定第三步和第四步中的可变限速控制策略中的四个关键参数的取值范围和变化步长,同时确定用于遗传算法的优化目标函数。

[0048] 可变限速控制策略包含的四个核心控制参数分别为启动可变限速的事故风险阈值 R_{TH} 、目标安全限速值 R_{TH} 、限速值改变步长 ΔV 和相邻路段最大限速值差 $\Delta V'$ 。大量测试表明,当启动阈值低于最大事故风险的10%或者高于最大事故风险的30%时,可变限速控制效果变化不明显。因此,该参数取值范围设为最大事故风险的10%-30%,以5%的步长递进。目标安全限速值的取值范围从拥堵中交通流速度25mph到50mph,以5mph的步长递进。限速值改变步长从每2分钟改变5mph到每30秒改变15mph。相邻路段最大限速值差为从5mph到25mph。上述核心参数取值范围如表1所示。

[0049] 表1可变限速控制策略核心参数取值范围列表。

[0050]

核心控制参数	参数取值描述
启动可变限速的事故风险阈值	
取值 1	阈值为 0.071 (最大事故风险的 10%)
取值 2	阈值为 0.107 (最大事故风险的 15%)
取值 3	阈值为 0.143 (最大事故风险的 20%)
取值 4	阈值为 0.178 (最大事故风险的 25%)
取值 5	阈值为 0.214 (最大事故风险的 30%)
目标安全限速值	
取值 1	限速值为 30mph (降低自由流速度 35mph)
取值 2	限速值为 35mph (降低自由流速度 30mph)
取值 3	限速值为 40mph (降低自由流速度 25mph)
取值 4	限速值为 45mph (降低自由流速度 20mph)
取值 5	限速值为 50mph (降低自由流速度 15mph)
限速值改变步长	
取值 1	限速值每 2min 改变 5mph

[0051]

取值 2	限速值每 1min 改变 5mph
取值 3	限速值每 30s 改变 5mph
取值 4	限速值每 30s 改变 10mph
取值 5	限速值每 30s 改变 15mph
相邻路段最大限速值差	
取值 1	相邻路段最大限速值差为 25 mph
取值 2	相邻路段最大限速值差为 20 mph
取值 3	相邻路段最大限速值差为 15 mph
取值 4	相邻路段最大限速值差为 10 mph
取值 5	相邻路段最大限速值差为 5 mph

[0052] 由于能够有效降低瓶颈路段内追尾事故风险但没有显著增加出行时间的可变限

速控制策略为最优策略,因此用于可变限速控制策略优化方法的目标函数如下式所示:

$$[0053] \quad Fitness = - \left[\alpha \cdot \left(\frac{R_{VSL} - R_{No}}{R_{No}} \right) + (1 - \alpha) \cdot \left(\frac{T_{VSL} - T_{No}}{T_{No}} \right) \right] \quad (7)$$

[0054] 其中,

[0055] Fitness为适应度;

[0056] α 为权重系数,其目的为在事故风险下降和出行时间增加之间进行权衡,缺省取值为0.5;

[0057] R_{VSL} 和 R_{No} 分别为可变限速控制下和无控制下事故风险, $R = \frac{\sum_{t=1}^K \sum_{i=1}^N P_i(t)}{N \times K}$, 其中, $P_i(t)$

为路段*i*在*t*时刻的追尾事故风险, K 为总仿真时间, N 为路段个数。

[0058] T_{VSL} 和 T_{No} 分别为可变限速控制下和无控制下总通行时间, $T = \frac{\sum_{t=1}^K \sum_{i=1}^N d_i(t) \cdot \Delta t}{N \times K}$, 其

中, $d_i(t)$ 为路段*i*在*t*时刻的车辆数, Δt 为仿真时间步长, K 为总仿真时间, N 为路段个数。

[0059] 第六步是基于遗传算法和交通流仿真模型对第五步中的四个关键参数的取值进行优化,基于遗传算法的可变限速控制策略优化流程如图2所示。在单目标遗传算法部分需确定遗传算法中涉及的四个关键参数的取值:种群大小 M 为20、最大代数 T 为100、交叉概率 P_c 为0.9、变异概率 P_m 为0.1。基于遗传算法基本流程对可变限速控制策略关键参数取值进行优化,具体流程如图3所示。

[0060] 1、初始化:设置进化代数计数器为 $t=0$,设置最大进化代数 T ,设置遗传算法中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 。

[0061] 2、初始群体:随机生成 M 个个体作为初始群体 $P(0)$,第 m 个个体中包含各可变限速控制参数取值信息编码 $m(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 。

[0062] 3、个体评价:将群体 $P(t)$ 中个体参数值输入到交通流仿真模型中,对可变限速控制下交通流进行仿真,并对控制效果进行评估,根据适应度函数Fitness计算每个个体的适应度。

[0063] 4、选择运算:从群体中选择优胜的个体,个体被选择的概率为个体适应度在整个群体适应度综合中所占比例。个体被选择之后随机组成交配对。

[0064] 5、交叉运算:以一定概率在个体串中随机设定一个交叉点,实行交叉时该点前或后的两个个体部分结构进行互换,并生成两个新个体。

[0065] 6、变异运算:对群体中的个体码串随机挑选一个或多个基因座,并以一定概率对这些基因座的基因值做变动。

[0066] 7、产生群体:群体 $P(t)$ 经过选择、交叉、变异运算之后,得到下一代群体 $P(t+1)$,用于新一轮的迭代计算。

[0067] 8、终止条件:当迭代次数达到最大代数 T 时,遗传算法终止;否则,重复3至7步骤直至终止条件满足。

[0068] 9、参数解码:将具有最大适应度的个体作为最优解输出,并将最优解 (x_1, x_2, x_3, x_4) 解码成对应的可变限速控制策略的四个关键参数的取值。

[0069] 不断采用上述遗传算法产生具有更好控制效果的新一代核心控制参数取值,将更新后的核心控制参数取值带入第三步和第四步中,通过合适的仿真模型输出相关交通流参数计算适应度函数,遗传算法和仿真模型间不断进行数据交换和迭代最终得到可变限速控制策略核心参数的最优解。

[0070] 第七步是将第六步中得到的事故风险阈值 R_{TH} 、目标安全限速值 V_{VSL} 、限速值改变步长 ΔV 和相邻路段最大限速值差 $\Delta V'$ 的优化取值带入第三步和第四步中作为各关键参数的推荐取值,然后依据第一步到第四步策略对快速道路鼓励瓶颈路段进行可变限速控制。

[0071] 下面结合附图对发明的控制策略优化方法进行了实例演示:

[0072] 假设某一快速道路路段如图4所示,图中检测器2处为一处孤立瓶颈,瓶颈路段下游、上游和上上游分别设置了检测器1、3和4,与检测器配套设置了可变限速标志1、2、3、4。交通需求状况为主线 and 匝道交通需求之和约为瓶颈通行能力的120%,瓶颈位置生成的交通拥堵以9mph的速度向上游路段传播。可变限速控制状况为路段默认限速值 $V_{SL}(\text{default})$ 为70mph。

[0073] 在仿真软件中构建图4所示的快速道路路段的仿真模型,采用遗传算法对可变限速控制策略优化可得四个核心参数的取值分别为:事故风险阈值 $R_{TH}=0.178$ 、目标安全限速值 $V_{VSL}=35\text{mph}$ 、限速值改变步长 ΔV 为每30s改变10mph、相邻路段最大限速值差 $\Delta V'=10\text{mph}$ 。

[0074] 交通流检测器的检测周期为30s,由交通流检测器检测到的上下游平均速度和占有率数据计算检测器1和3处的占有率标准差,由公式(2)计算可得路段3内当前时刻 t 的实时追尾事故风险 $R_3(t)=0.208$,由于 $R_3(t)=0.208>0.178=R_{TH}$,故启动可变限速控制。当前可变限速控制的限速值 $V_{SL}(x_3, t)$ 为70mph,由公式(4)可知,当前时刻 $V_{VSL}(x_3, t+\Delta t)=35<(70-10)=V_{SL}(x_3, t)-\Delta V$,故检测器3处可变限速标志当前时刻变化步长 $\Delta V_{SL}(x_3, t)$ 为-10mph,带入公式(5)计算可知检测器3处可变限速标志在 $t+\Delta t$ 时刻的限速值 $V_{SL}(x_3, t+\Delta t)=70-10=60\text{mph}$ 。计算位置 x_3 的可变限速标志与相邻上游位置 x_2 的可变限速标志的限速值差为 $70-60=10\text{mph}=\Delta V'$,故位置 x_2 的可变限速标志的限速值不需要改变。

[0075] 由上述可知,当前时刻可变限速标志3和4显示的限速值分别为60mph和70mph,位置 x_2 和 x_1 处不启动可变限速控制。

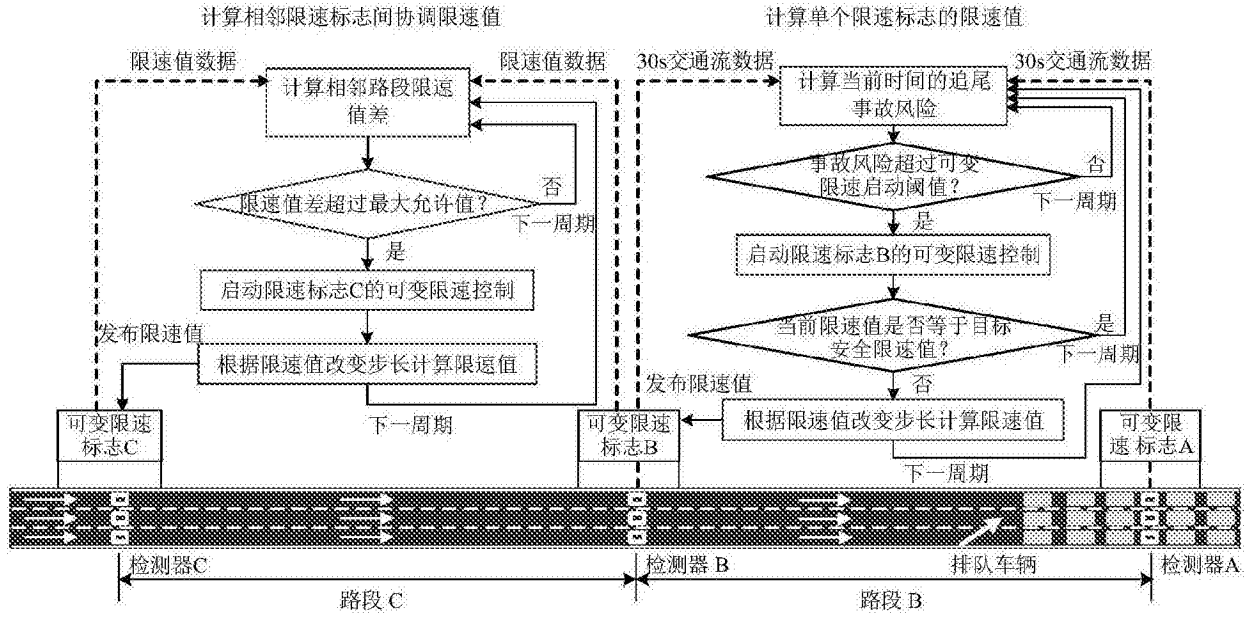


图1

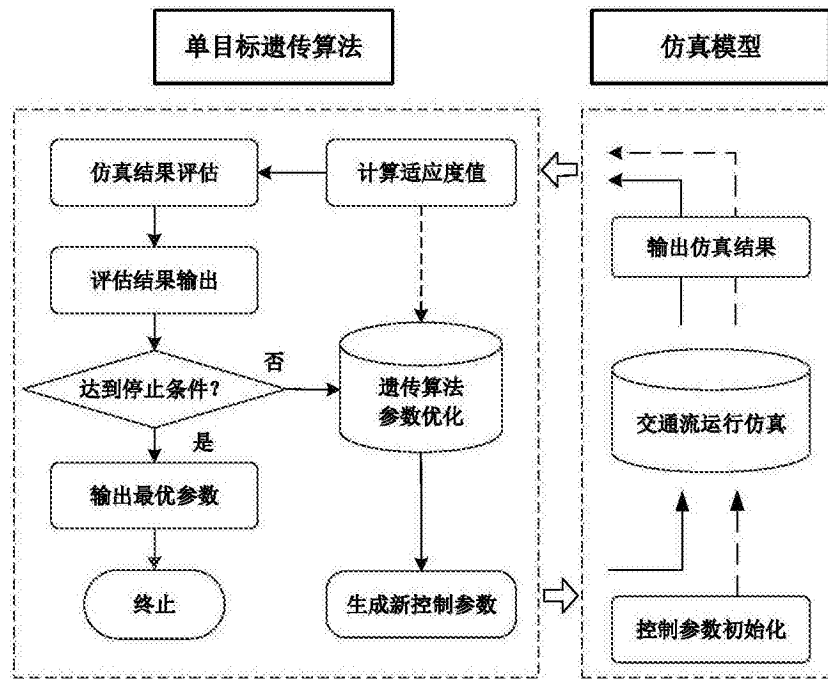


图2

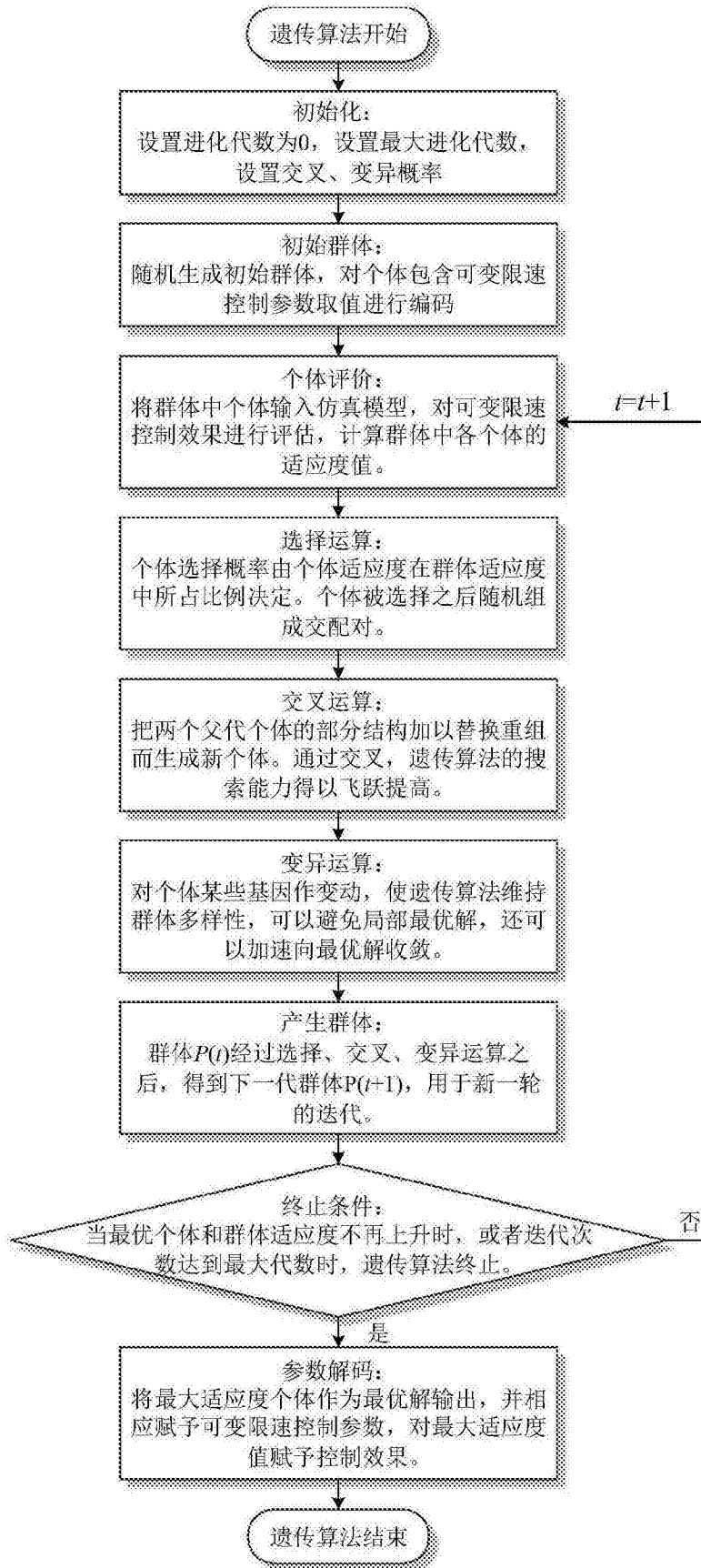


图3

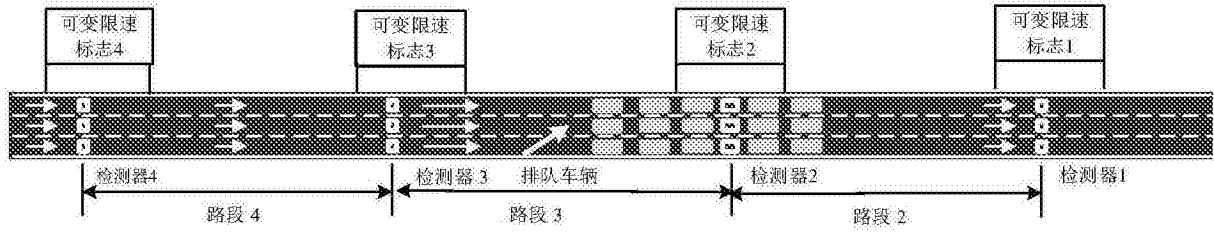


图4