

考虑最邻近前车综合信息的反馈控制跟驰模型*

孙棣华¹⁾²⁾ 周桐^{1)2)†} 刘卫宁²⁾ 郑林江²⁾

1) (重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

2) (重庆大学信息物理社会可信服务计算教育部重点实验室, 重庆 400044)

(2013年4月17日收到; 2013年5月15日收到修改稿)

拥堵控制中, 通过车辆运行状态感知与控制的交互融合, 实现对车辆有效控制的过程, 具有信息物理融合系统的典型特征. 本文基于 Konishi 等的研究工作, 从交通信息系统与交通物理系统融合的角度, 进一步考虑优化速度差和安全间距对车流的影响, 在耦合映射跟驰模型中, 提出了一种考虑最邻近前车综合信息的交通拥堵反馈控制方案. 运用反馈控制理论, 给出了头车速度发生变化时交通流保持稳定的条件, 并与前人工作进行了比较. 理论分析与数值模拟结果一致表明, 耦合映射跟驰模型在本文提出的控制方案下能更有效地抑制交通拥堵.

关键词: 交通流, 交通拥堵控制, 耦合映射跟驰模型, 信息物理融合系统

PACS: 05.45.-a

DOI: 10.7498/aps.62.170503

1 引言

在拥堵控制中, 通常以车辆运行状态感知为基础, 基于相应的车辆运动学模型和拥堵机理, 作出适当的控制决策去操控车辆并改变其运行状态. 在此过程中, 对在物理系统中车辆运行状态的感知与操控, 以及在信息系统中对车辆运行状态的分析处理及作出控制决策, 是交互融合的过程. 因此, 拥堵控制具有信息物理融合系统 (cyber physical systems, CPS)^[1] 的典型特征.

为了探索交通拥堵内在机理, 国内外学者提出了很多交通流模型^[2], 如跟驰模型、元胞自动机模型和流体力学模型等. 其中, 典型的跟驰模型是 Bando 于 1995 年提出的优化速度 (OV) 模型^[3], 该模型可以描述诸如时走时停、阻塞相变等实际交通现象. 此后, 众多学者基于 OV 模型做了大量研究工作以抑制交通拥堵^[4-16], 如考虑驾驶员预测效应的跟驰模型, 以及多车作用跟驰模型和双车道跟驰模型等, 这些模型均能增强交通流的稳定性, 抑制交通拥堵. 其中, 值得注意的是, Konishi 等^[17] 提

出的耦合映射 (CM) 跟驰模型 (离散的 OV 模型) 能够描述开放边界条件下单车道上无倒车现象的车流运行规律. 随后, 他们在模型中引入延时反馈控制方案来实现对车辆运行的控制, 模拟结果证明了其有效性. Zhao 等^[18] 基于 Konishi 等的思想, 设计了更简单的反馈控制方案, 选取当前车与紧邻前车速度差为反馈控制信号项, 利用稳定性理论求取反馈增益. 通过与文献 [17] 对比, 结果表明该控制方案取得的控制效果更优. 此后, 学者们取得了众多与拥堵反馈控制方案相关的研究成果^[19-24].

上述拥堵反馈控制方案仅考虑前方任意数量连续车辆的速度差信息作为反馈控制信号来实现对车速的控制, 使得车辆运行平稳, 消除交通拥堵. 然而, 在实际交通中, 在感知物理系统中前后车的优化速度差信息和安全间距信息的基础上, 信息系统可以做出更精准和有效的控制决策, 通过控制车速, 使车流平稳且有序运行, 从而抑制交通拥堵的形成^[25]. 目前, 考虑前后车的优化速度差信息和安全间距信息的拥堵控制方案鲜见报道. 因此, 本文在 CM 跟驰模型的基础上, 考虑优化速度差和安全

* 中国工程院重点咨询项目 (批准号: 2012-ZX-22)、重庆市自然科学基金重点项目 (批准号: cstc2012jjB40002)、教育部博士点基金项目 (批准号: 20120191110047)、重庆市科委工程中心研究计划项目 (批准号: 2011pt-gc30005) 和重庆市科技攻关重点项目 (批准号: 2011AB2052, 2012gg-yyjsB30001) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhoutong851217@163.com

间距对交通流的影响, 提出一种考虑最邻近前车综合信息的交通拥堵控制方案.

本文首先回顾了 CM 跟驰模型及其稳定性分析. 然后, 基于 CM 跟驰模型, 提出了一种考虑最邻近前车综合信息的交通拥堵控制方案, 通过理论分析来确定反馈控制模型稳定时反馈增益的取值范围. 最后, 对该控制方案进行了数值模拟, 验证其对拥堵的抑制效果.

2 CM 跟驰模型及其稳定性分析

2.1 CM 跟驰模型

本文首先给出 CM 跟驰模型^[17]. 头车的运动方程为

$$x_0(n+1) = v_0 T + x_0(n), \quad (1)$$

这里 $x_0(n)$ 是头车在 $t = nT$ 时刻的位置; v_0 是头车的速度; T 是采样间隔; $x_0(0)$ 是头车的初始位置.

跟车 i 的运动方程为

$$x_i(n+1) = v_i(n)T + x_i(n), \quad (i = 1, 2, \dots, N). \quad (2)$$

这里 $x_i(n)$ 和 $v_i(n)$ 分别表示第 i 辆车在 $t = nT$ 时刻的位置和速度, N 是车辆的总数. 跟车的速度方程为

$$v_i(n+1) = \alpha_i [V_i^{\text{OP}}(y_i(n) - v_i(n))T + v_i(n)], \quad (3)$$

其中 α_i 是第 i 辆车驾驶员的敏感系数, $V_i^{\text{OP}}(y_i(n))$ 是 OV 函数, 它仅依赖于车头间距 $y_i(n)$, 即

$$y_i(n) = x_{i-1}(n) - x_i(n). \quad (4)$$

与文献 [17] 一致, 选取有上界且单调递增的分段线性 OV 函数为

$$V_i^{\text{OP}}(y_i(n)) = \frac{v_i^{\text{max}}}{2} \left[1 + \bar{H}_{\text{sat}} \left(2 \frac{y_i(n) - \eta}{\zeta} \right) \right]. \quad (5)$$

这里 v_i^{max} 是最大速度; η 是安全间距; ζ 是距离参数. 在实际交通流中, 后车驾驶员在尽力减小前后车相对速度的同时, 更倾向于以安全间距跟随前车. 驾驶员通过调整车头间距以减小与安全间距的差值, 使其在安全间距周围波动. 一旦两者之间相差很大, 则假定驾驶员以最大速度或最小速度恒定运行. 因此, $\bar{H}_{\text{sat}}(\cdot)$ 是有上界且单调递增的分段线性饱和函数, 其形式如下^[17]:

$$\bar{H}_{\text{sat}}(\rho) = \begin{cases} 1, & (\rho > 1), \\ \rho, & (-1 \leq \rho \leq 1), \\ -1, & (\rho < -1). \end{cases} \quad (6)$$

这里 $\rho = 2 \frac{y_i(n) - \eta}{\zeta}$.

为了保证一个车队的存在性, 则需 $v_0 < v_i^{\text{max}}$ ($i = 1, 2, \dots, N - 1$). 同时, 为了避免碰撞和倒退, 所有车都遵循瞬间刹车规则. 如果

$$y_i(n) < y_i^{\text{min}}, \quad (7)$$

则

$$x_i(n+1) = x_i(n), \quad v_i(n+1) = 0. \quad (8)$$

其中 y_i^{min} 是第 i 辆车与其最邻近前车之间的最小车头距. 瞬间刹车是指当 y_i^{min} 满足 (7) 式时, 第 i 辆车则立即刹车, 停止运行.

2.2 稳定性分析

跟随车 i 的动力学方程如下:

$$\begin{aligned} v_i(n+1) &= \alpha_i [V_i^{\text{OP}}(y_i(n)) - v_i(n)]T + v_i(n), \\ y_i(n+1) &= v_{i-1}T - v_i(n)T + y_i(n). \end{aligned} \quad (9)$$

系统 (9) 的稳态是

$$[v_i^*, y_i^*]^T = \left[v_0, \frac{v_0}{r_i} - \frac{\zeta_i}{2} + \eta_i \right]^T, \quad (10)$$

其中 $r_i = v_i^{\text{max}} / \zeta_i$. 根据控制理论, Konishi 等^[17] 得到系统 (9) 保持稳定的条件:

$$\frac{8 + \alpha_i T (\alpha_i T - 8)}{\alpha_i T^2 (\alpha_i T - 6)} < r_i < \frac{\alpha_i}{2 + \alpha_i T}. \quad (11)$$

3 反馈控制方案

在实际交通环境下, 当车头距小于安全间距时, 依据前后车的速度差、优化速度差和安全间距信息 (安全间距是驾驶员首要考虑因素), 驾驶员持续地调节车速来避免前后车碰撞, 抑制交通拥堵, 反之则驾驶员根据前后车的速度差和优化速度差信息来控制车速, 保持前后车的速度一致, 无需考虑安全间距对车辆运行状态的影响. 因此, 本文设计反馈控制信号项为

$$\begin{aligned} u_i(n) &= 0.85 \Delta v_i(n) + k [(V_{i-1}^{\text{OP}}(y_{i-1}(n)) - V_i^{\text{OP}}(y_i(n))) \\ &\quad - H(y_i(n) - \eta)(\eta - y_i(n))], \end{aligned} \quad (12)$$

其中 $\Delta v_i(n)$ 为前后车的速度差项, $(V_{i-1}^{\text{OP}}(y_{i-1}(n)) - V_i^{\text{OP}}(y_i(n)))$ 为前后车的优化速度差项, $(\eta - y_i(n))$ 为安全间距与当前车车头间距差值项, k 是反馈增益. $H(\cdot)$ 为 Heaviside 函数, 该函数可表示为

$$H(y_i(n) - \eta) = \begin{cases} 0, & y_i(n) - \eta > 0, \\ 1, & y_i(n) - \eta \leq 0. \end{cases} \quad (13)$$

当 $y_i(n) - \eta > 0$ 且 $k = 0$, 本文反馈控制项可以简化为^[18]

$$u_i(n) = 0.85\Delta v_i(n). \quad (14)$$

当 $y_i(n) - \eta \leq 0$, 本文反馈控制项可以简化为

$$\begin{aligned} \tilde{u}_i(n) = & 0.85\Delta v_i(n) + k(V_{i-1}^{\text{OP}}(y_{i-1}(n)) \\ & - V_i^{\text{OP}}(y_i(n))) - k(\eta - y_i(n)). \end{aligned} \quad (15)$$

将 $\tilde{u}_i(n)$ 控制信号项加入到系统 (9) 中, 得到

$$\begin{aligned} v_i(n+1) = & \alpha_i[V_i^{\text{OP}}(y_i(n)) - v_i(n)]T \\ & + v_i(n) + \tilde{u}_i(n), \\ y_i(n+1) = & v_{i-1}T - v_i(n)T + y_i(n). \end{aligned} \quad (16)$$

当交通系统不稳定时, 控制信号项 $\tilde{u}_i(n)$ 将发挥作用, 否则将不起作用. 在稳态附近, 控制系统 (16) 的扰动模型描述如下:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \delta v_i(n+1) \\ \delta y_i(n+1) \end{pmatrix} = & \begin{pmatrix} 1 - \alpha_i T - 0.85 & \alpha_i r_i T - kr_i + k \\ -T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta v_i(n) \\ \delta y_i(n) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0.85 & kr_i \\ T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta v_{i-1}(n) \\ \delta y_{i-1}(n) \end{pmatrix}, \\ \delta v_i(n) = & (1 \ 0) \begin{pmatrix} \delta v_i(n) \\ \delta y_i(n) \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (17)$$

从 $\delta v_{i-1}(n)$ 到 $\delta v_i(n)$ 的传递函数 $G_i(z)$ 为

$$\begin{aligned} G_i(z) = & (1 \ 0) \begin{pmatrix} z - 1 + \alpha_i T + 0.85 & kr_i - k - \alpha_i r_i T \\ T & z - 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} k & kr_i \\ T & 0 \end{pmatrix} \\ = & \frac{(k(z-1) + \alpha_i r_i T^2 + kT - kr_i T kr_i (z-1))}{P_i(z)}, \end{aligned} \quad (18)$$

其中

$$\begin{aligned} P_i(z) = & z^2 + a_i z + b_i, \quad a_i = \alpha_i T - 1.15, \\ b_i = & 0.15 - \alpha_i T - kr_i T + kT + \alpha_i r_i T^2. \end{aligned}$$

为了抑制 CM 跟驰模型中的交通拥堵, 控制系统 (16) 中反馈增益 k 需满足两个条件: (i) $P_i(z)$ 是稳定的; (ii) $\max_{|z|=1} |G_i(z)| < 1 (i = 1, 2, \dots, N)$.

定理1 当系统 (16) 中反馈增益 k 满足以下五种条件时, 交通系统不会出现交通拥堵现象.

条件I 如果

$$0 < \alpha_i r_i T^2 < 2, \quad (19)$$

$$-1.3 + 2.3\alpha_i T - \alpha_i^2 T^2 - 1.15\alpha_i r_i T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3 \geq 0,$$

$$\Delta_1 > 0, \quad (20)$$

则反馈增益 k 取值范围为

$$\begin{aligned} \max \left\{ \frac{0.15 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{11} \right\} < k \\ < \min \left\{ \frac{2.3 - 2\alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{12} \right\}, \end{aligned} \quad (21)$$

其中

$$R_{11} = \frac{2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 - 1.15r_i T + 1.15T - \sqrt{\Delta_1}}{2(r_i^2 + 1 + r_i T - T)},$$

$$\begin{aligned} R_{12} = & \frac{2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 - 1.15r_i T + 1.15T + \sqrt{\Delta_1}}{2(r_i^2 + 1 + r_i T - T)}, \\ \Delta_1 = & (2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 - 1.15r_i T + 1.15T)^2 \\ & - 4(r_i^2 + 1 + r_i T - T)(-1.3 + 2.3\alpha_i T \\ & - \alpha_i^2 T^2 - 1.15\alpha_i r_i T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3). \end{aligned} \quad (22)$$

条件II 如果

$$0 < \alpha_i r_i T^2 < 2, \quad (23)$$

$$-1.3 + 2.3\alpha_i T - \alpha_i^2 T^2 - 1.15\alpha_i r_i T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3 < 0,$$

$$\Delta_1 > 0, \quad (24)$$

则反馈增益 k 取值范围为

$$\begin{aligned} \frac{0.15 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)} < k \\ < \min \left\{ \frac{2.3 - 2\alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{12} \right\}. \end{aligned} \quad (25)$$

条件III 如果

$$0 < \alpha_i r_i T^2 < 4, \quad (26)$$

$$-0.7 - 1.7\alpha_i T - \alpha_i^2 T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3 + 2.85\alpha_i r_i T^2 \geq 0,$$

$$\Delta_2 > 0, \quad (27)$$

则反馈增益 k 取值范围为

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \frac{-0.85 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{21} \right\} < k \\ & < \min \left\{ \frac{0.15 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, \right. \\ & \left. \frac{2.3 - 2\alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{22} \right\}, \end{aligned} \quad (28)$$

$$R_{11} = \frac{2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 + 2.85r_i T - 2.85T - \sqrt{\Delta_2}}{2(r_i^2 + 1 + r_i T - T)},$$

$$R_{12} = \frac{2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 + 2.85r_i T - 2.85T + \sqrt{\Delta_2}}{2(r_i^2 + 1 + r_i T - T)},$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 = & (2\alpha_i r_i T^2 - \alpha_i T^2 + 2.85r_i T - 2.85T)^2 \\ & - 4(r_i^2 + 1 + r_i T - T)(-0.7 - 1.7\alpha_i T \\ & - \alpha_i^2 T^2 + 2.85\alpha_i r_i T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3). \end{aligned} \quad (29)$$

条件IV 如果

$$0 < \alpha_i r_i T^2 < 4, \quad (30)$$

$$-0.7 - 1.7\alpha_i T - \alpha_i^2 T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3 + 2.85\alpha_i r_i T^2 < 0,$$

$$\Delta_2 > 0, \quad (31)$$

则反馈增益 k 取值范围为

$$\begin{aligned} & \frac{-0.85 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)} < k \\ & < \min \left\{ \frac{0.15 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, \right. \\ & \left. \frac{2.3 - 2\alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, R_{22} \right\}; \end{aligned} \quad (32)$$

条件V 如果

$$0 < \alpha_i r_i T^2 < 2, k = \frac{0.15 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}, \quad (33)$$

$$-1 + 0.3\alpha_i T - \alpha_i^2 T^2 + \alpha_i^2 r_i T^3 + 0.85\alpha_i r_i T^2 \geq 0,$$

$$\Delta_3 > 0, \quad (34)$$

则反馈增益 k 取值范围为

$$\begin{aligned} & \frac{-0.85 - \alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)} < k \\ & < \frac{2.3 - 2\alpha_i T + \alpha_i r_i T^2}{T(r_i - 1)}. \end{aligned} \quad (35)$$

依据上述条件, 通过设置反馈增益 k 来实现对系统 (16) 中拥堵的抑制. 该控制方案较文献 [17] 提出的控制方案更简洁, 只需设置反馈增益 k 一个参数即可, 且 k 值确定是在一定范围内, 这使得制定抑制拥堵控制策略更加灵活.

4 数值模拟

在开放的边界条件下, 对 CM 跟驰模型进行数值模拟. 模拟中模型参数与文献 [17] 一致, 即

$$\eta = 25.0 \text{ m}, \quad \zeta = 23.3 \text{ m}, \quad v^{\max} = 33.6 \text{ m/s},$$

$$\alpha_i = 2.0 \text{ s}^{-1}, \quad v_0 = 20 \text{ m/s}, \quad T = 0.1 \text{ s},$$

$$y^{\min} = 7.02 \text{ m}, \quad r_i = v^{\max} / \zeta \approx 1.44 \text{ s}^{-1}.$$

假设所有车辆的参数相同, 初始条件为 CM 跟驰模型的稳态, 初始位置和速度设置为

$$\begin{aligned} x_i(0) &= \sum_{j=i+1}^N y_j^* \\ y_j(0) &= y_j^*, \\ v_i(0) &= v_i^*, \quad i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (36)$$

在模拟过程中, 首先使头车在 100 s, 120 s, 140 s 和 160 s 处分别停止 3 s^[16] 来观察车流演化情况.

为了验证 CM 跟驰模型在本文控制方案下的拥堵抑制效果, 首先需求出模型中反馈增益 k 的取值范围, 通过计算得出模型的参数值满足条件 I、条件 VI 和条件 V, 将这些参数值代入 (21), (31) 和 (35) 式, 综合计算得到反馈增益 k 的取值范围为 $0 < k < 0.1682$. 下面通过仿真给出反馈增益 k 的临界值.

图 1(a)—(d) 分别显示了不同 k 值 (即 $k = 0, 0.14, 0.15$ 和 0.16) 下 CM 跟驰模型中第 1 辆车、第 25 辆车和第 50 辆车的速度变化曲线. 图 1(a) 对应于文献 [18] 中车辆速度变化曲线. 从图 1(b)—(d) 可以看出: 当 k 大于 0.16 时, 三辆车在初始时刻的速度不一致, 与文中初始设置条件不一致; 当 k 小于 0.16 时, 图 1(c) 较图 1(b) 车速波动幅度更小, 车辆运行稳定性更高. 因此, 反馈增益 $k = 0.15$ 为临界值, 即为本文所选的反馈增益 k 值.

接下来验证本文控制方案对交通拥堵的抑制效果. 图 2 至图 5 分别给出了 CM 跟驰模型在没有控制项, 以及在 Konishi 等的控制项、Zhao 等的控制项和本文的控制项作用下车辆时空分布图以及对应的第 1 辆车、第 25 辆车和第 50 辆车速度演化情况.

从图 2 至图 5 可以看出: 在 CM 跟驰模型中引入反馈控制信号, 交通拥堵现象能够得到有效地抑制. 图 3(a) 与 5(a) 对比得出: 图 5(a) 中的交通拥挤程度得到进一步改善, 由扰动引起的交通阻塞向上

游区域传播,且交通系统较快地恢复到无拥堵状态.比较图 3(b) 与 5(b) 可知: 在三种反馈控制跟驰模型中第 25 辆车和第 50 辆车的车速均在 20 m/s 两侧波动,图 3(b) 中车速上下波动幅度较大,并出现突然加速和减速现象,图 4(b) 与 5(b) 车辆速度波动幅度明显减小,车辆运行稳定性能明显增强,但图

5(b) 较图 4(b) 车速波动幅度更小,车辆运行的平稳度更好.仿真结果表明,本文的控制方案较前人的方案更能有效地抑制交通拥堵的发生.

通过图 2 至图 5 中对拥堵的控制效果图对比分析可知,CM 跟驰模型在引入本文提出的控制方案后,对交通拥堵抑制效果更加显著.

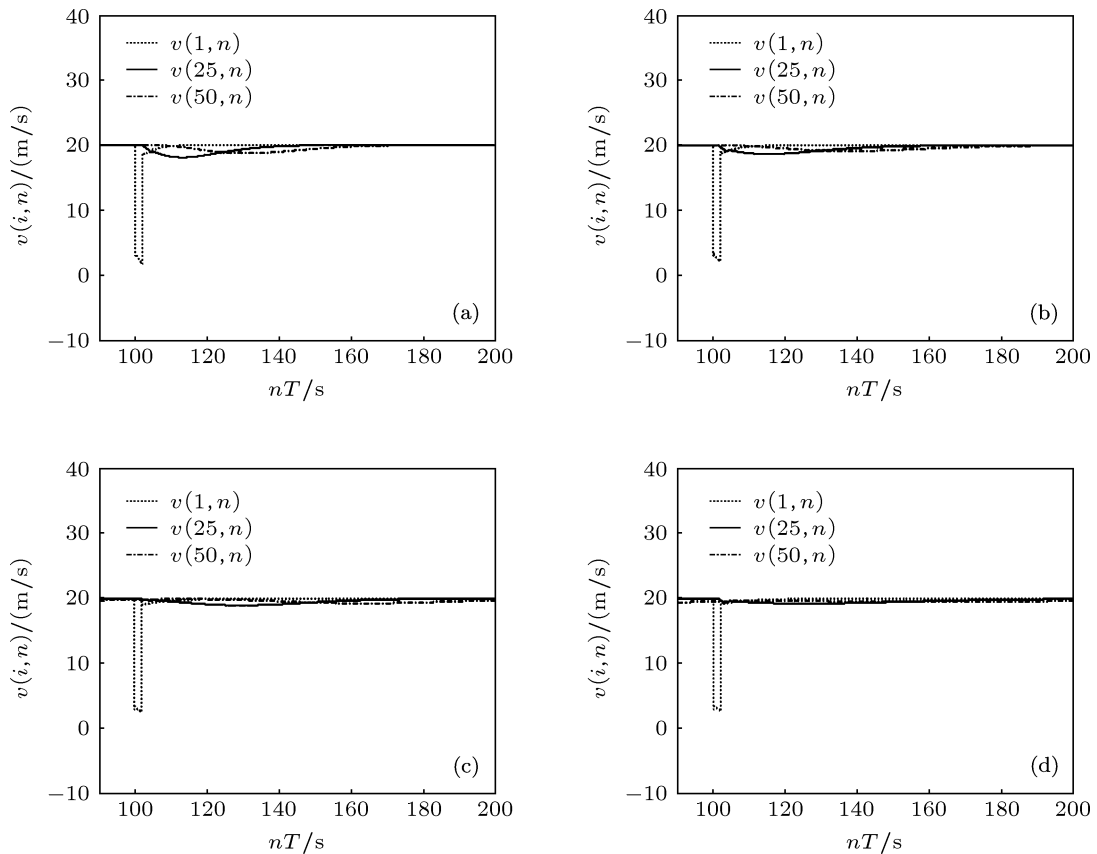


图 1 第 1 辆车、第 25 辆车和第 50 辆车在不同 k 值下的速度变化曲线 (a) $k=0$; (b) $k=0.14$; (c) $k=0.15$; (d) $k=0.16$

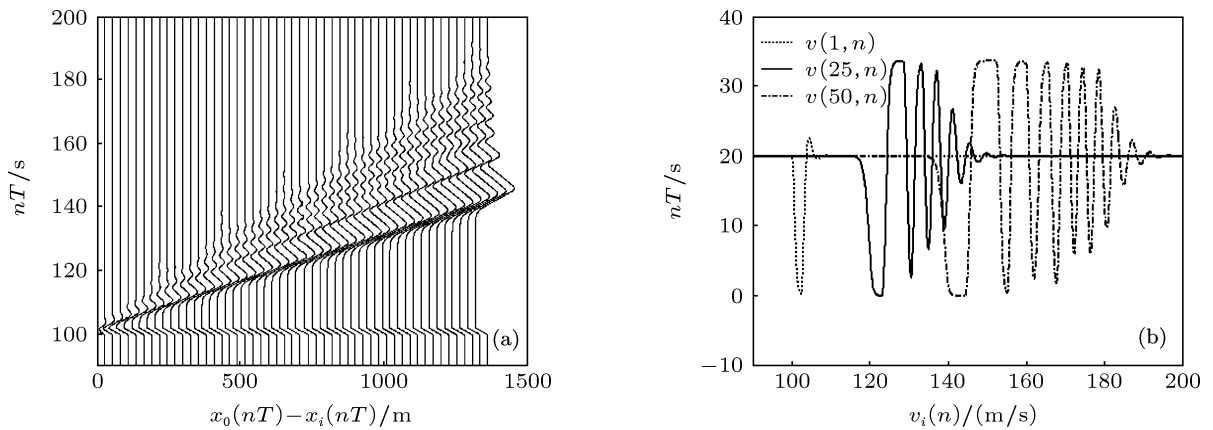


图 2 CM 跟驰模型无控制项作用下的数值仿真图 (a) 时空分布图; (b) 第 1 辆车、第 25 辆车和第 50 辆车的速度分布情况

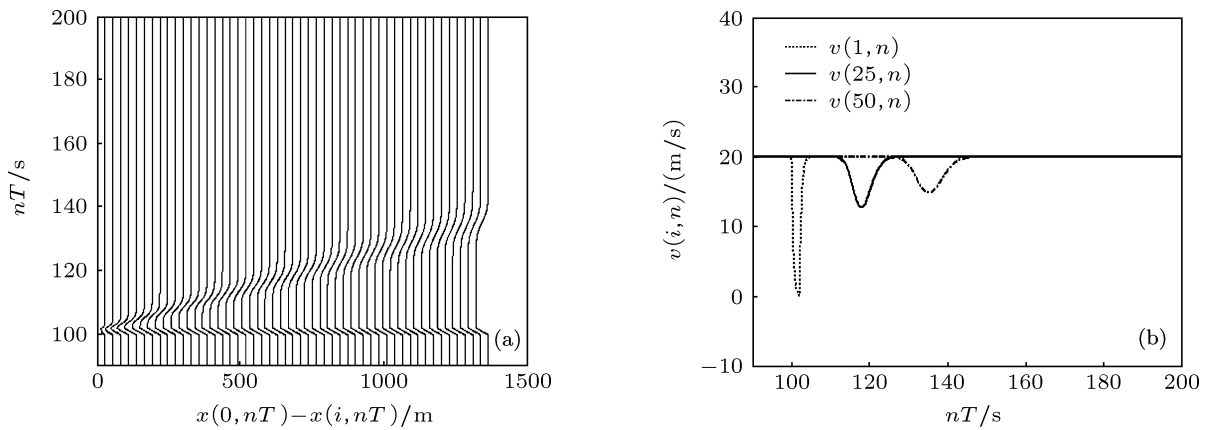


图3 CM跟驰模型在Konishi等的控制项作用下的数值仿真图 (a)时空分布图;(b)第1辆车、第25辆车和第50辆车的速度分布情况

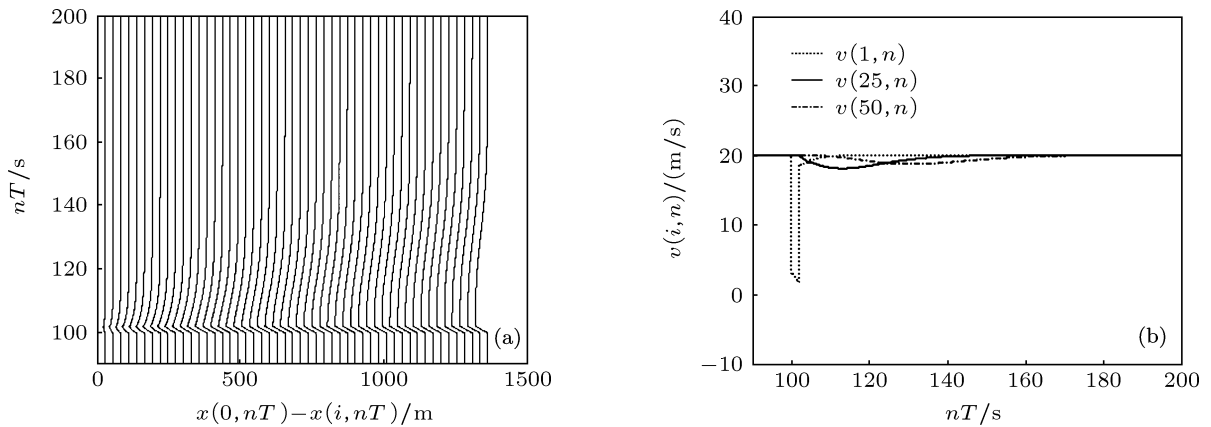


图4 CM跟驰模型在Zhao等的控制项作用下的数值仿真图 (a)时空分布图;(b)第1辆车、第25辆车和第50辆车的速度分布情况

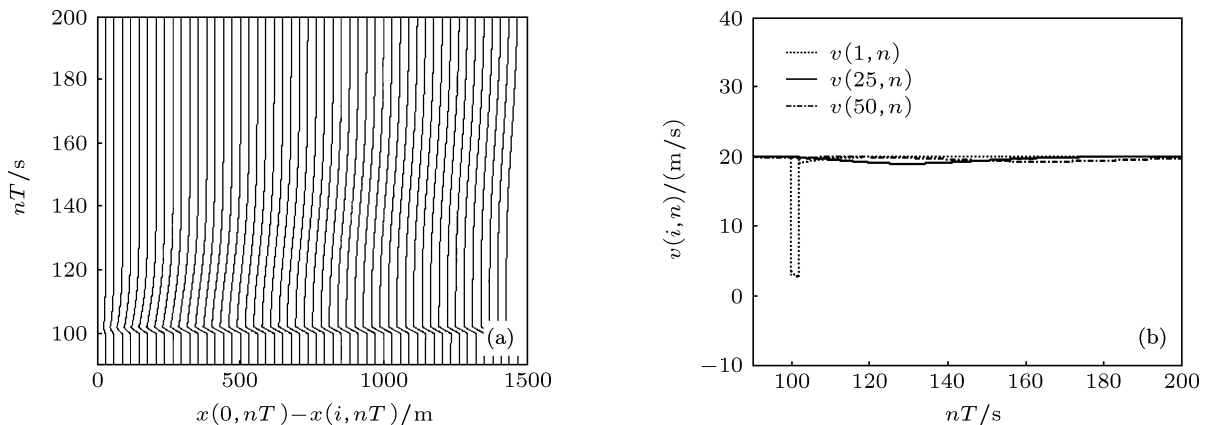


图5 CM跟驰模型在本文的控制项作用下的数值仿真图 (a)时空分布图;(b)第1辆车、第25辆车和第50辆车的速度分布情况

5 结论

本文考虑最邻近前车综合信息对交通流的影响,建立基于CM跟驰模型的交通拥堵控制方案,可以更本质地反应拥堵控制的信息物理融合特征.

通过运用反馈控制理论,基于头车速度发生变化时交通流保持稳定的条件,建立的拥堵控制策略能够进一步提高交通流稳定性,因此,取得了更好的交通拥堵抑制效果.

- [1] Sun D H, Li Y F, Liu W N, Zhao M, Liao X Y 2013 *China Journal of Highway and Transport* **26** 144 (in Chinese) [孙隼华, 李永福, 刘卫宁, 赵敏, 廖孝勇 2013 中国公路学报 **26** 144]
- [2] Chowdhury D, Santen L, Schreckenberg A 2000 *Phys. Rep.* **329** 199
- [3] Bando M, Hasebe K, Nakayama A, Shibata A, Sugiyama Y 1995 *Phys. Rev. E* **51** 1035
- [4] Tang T Q, Huang H J, Shang H Y 2010 *Chin. Phys. B* **19** 050517
- [5] Tang T Q, Huang H J, Shang H Y 2010 *Phys. Lett. A* **374** 1668
- [6] Jiang R, Wu Q S, Zhu Z J 2001 *Phys. Rev. E* **64** 017101
- [7] Tang T Q, Huang H J, Gao Z Y 2005 *Phys. Rev. E* **72** 066124
- [8] Tang T Q, Huang H J, Xu G, Xue Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 56 (in Chinese) [唐铁桥, 黄海军, 徐刚, 薛郁 2008 物理学报 **57** 56]
- [9] Wang T, Gao Z Y, Zhao X M 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 634 (in Chinese) [王涛, 高自友, 赵小梅 2006 物理学报 **55** 634]
- [10] Tang T Q, Huang H J, Xu X Y, Xue Y 2007 *Chin. Phys. Lett.* **24** 1410
- [11] Peng G H, Sun D H, He H P 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 7541 (in Chinese) [彭光含, 孙隼华, 何恒攀 2008 物理学报 **57** 7541]
- [12] Tang T Q, Li C Y, Huang H J 2010 *Phys. Lett. A* **374** 3951
- [13] Jin S, Wang D H, Huang Z Y, Tao P F 2011 *Physica A* **390** 1931
- [14] Tang T Q, Huang H J, Wong S C, Jiang R 2007 *Acta Mech. Sin.* **23** 49
- [15] Xue Y 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2750 (in Chinese) [薛郁 2003 物理学报 **52** 2750]
- [16] Tang T Q, Huang H J, Wong S C, Jiang R 2008 *Acta Mech. Sin.* **24** 399
- [17] Konishi K, Kokame H, Hirata K 1999 *Phys. Rev. E* **60** 4000
- [18] Zhao X M, Gao Z Y 2006 *Physica A* **366** 513
- [19] Chen X, Gao Z Y, Zhao X M, Jia B 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2024 (in Chinese) [陈漩, 高自友, 赵小梅, 贾斌 2007 物理学报 **56** 2024]
- [20] Han X L, Jiang C Y, Ge H X, Dai S Q 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4383 (in Chinese) [韩祥临, 姜长元, 葛红霞, 戴世强 2007 物理学报 **56** 4383]
- [21] Shen F Y, Ge H X, Zhang H, Yu H M, Lei L 2009 *Chin. Phys. B* **18** 4208
- [22] Ge H X, Chen R J, Li Z P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 080508 (in Chinese) [葛红霞, 程荣军, 李志鹏 2011 物理学报 **60** 080508]
- [23] Ge H X 2011 *Chin. Phys. B* **20** 090502
- [24] Ge H X, Liu Y X, Cheng R J, Lo S M 2012 *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* **17** 4439
- [25] Peng G H, Cai X H, Liu C Q, Cao B F, Tuo M X 2011 *Phys. Lett. A* **375** 3973

A modified feedback controlled car-following model considering the comprehensive information of the nearest-neighbor leading car*

Sun Di-Hua¹⁾²⁾ Zhou Tong^{1)2)†} Liu Wei-Ning²⁾ Zheng Lin-Jiang²⁾

1) (College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

2) (Key Laboratory of Dependable Service Computing in Cyber Physical Society of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

(Received 17 April 2013; revised manuscript received 15 May 2013)

Abstract

Congestion control is a process to achieve optimal decision-making and effective control of vehicles through the interaction of vehicular perception and control, it shows the typical characteristic of cyber physical systems. Based on the pioneer work of Konishi et al., we present a new feedback control scheme to suppress traffic jam in the coupled map car-following model under open boundary condition, which considers the effect of safe headway and optimal velocity difference on the traffic system from the perspective of tight conjoining between the transportation cyber system and the transportation physical system. According to the control theory, the condition under which traffic jam can be suppressed is analyzed. Both theoretical analyses and simulation results show that the suppression performance of our scheme is better than those of the previous schemes, although all the schemes can suppress traffic jam.

Keywords: traffic flow, control of traffic jam, coupled map car-following model, cyber physical systems

PACS: 05.45.—a

DOI: 10.7498/aps.62.170503

* Project supported by the Chinese Academy of Engineering Major Consulting Program (Grant No. 2012-ZX-22), the Natural Science Foundation of Chongqing, China (Grant No. 2012jjB40002), the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20120191110047), the Engineering Center Research Program of Chongqing, China (Grant No. 2011pt-gc30005), and the Key Science and Technology Program of Chongqing, China (Grant Nos. 2011AB2052, 2012gg-yyjsB30001).

† Corresponding author. E-mail: zhoutong851217@163.com