

考虑驾驶员预估效应的交通流格子模型与数值仿真*

孙棣华[†] 田川

(重庆大学自动化学院, 重庆 400030)

(2010年7月14日收到; 2010年8月27日收到修改稿)

考虑驾驶员的预估效应对车流的影响, 提出了一个改进的一维交通流格子模型. 基于线性稳定性理论得到了该模型的线性稳定性判据; 运用非线性分析方法导出了描述交通阻塞相变时的 mKdV 方程. 应用数值仿真验证了 mKdV 方程的解, 研究表明适当考虑车流中预估效应的作用能够增强交通流稳定性, 从而能有效抑制交通阻塞的形成.

关键词: 预估效应, 交通流, 格子模型, 数值仿真

PACS: 89.40.-a, 45.70.Vn, 05.70.Fh

1. 引言

随着汽车保有量持续增长, 道路交通拥堵问题日趋突出. 如何在现有交通资源下提高交通流的稳定性, 有效抑制交通拥堵, 已成为现代交通流理论研究的重要课题.

为了掌握交通拥堵的形成机理与演化规律, 许多交通流模型被相继提出^[1-11], 主要分为交通流微观模型和交通流宏观模型. 交通流宏观模型是从宏观的角度采用连续介质模型和时空变量来动态刻画车流的集体行为. 交通流宏观模型的研究始于 LWR 理论^[12,13]的提出. 应用 LWR 模型能够模拟交通阻塞的产生与疏导, 但由于假设交通流处于具有平均速度的平衡态, 所以不适用于描述本质上处于非平衡态的交通现象, 例如“幽灵”式阻塞和时停时走 (stop-and-go) 等非线性现象. 针对此问题, Payne^[14]和 Whitham^[15]借鉴跟驰模型的思想, 提出了高阶宏观模型 (PW 模型). 应用 PW 模型能够很好地描述交通的局部聚集、时停时走等复杂现象, 但却不易解析得到描述交通阻塞相变的演化方程. 为此, Nagatani^[16]借鉴 PW 模型的思想, 认为车流的流量可以通过最优速度进行优化, 提出了交通流格子模型, 通过解析的方式推导出了描述交通拥堵的演化方程. 此后, 基于 Nagatani 格子模型, 一系列扩

展格子模型^[17-21]被相继提出.

在实际交通中, 驾驶员的预估效应对车流具有不可忽视的影响. 事实上, 司机的驾驶行为中包含了一种预估计行为, 即司机的反应不仅仅依赖于即时的交通状况, 还依赖于对前方交通状况的估计. 司机的这种本能预测反应可以避免许多危险情况的出现. 另一方面, 已有学者^[22-25]从连续宏观模型和微观模型的角度对预估效应进行了研究, 研究结果也证实了预估效应对车流特性具有重要的影响. 然而, 现有的格子模型则较少考虑预估效应这一因素. 为此, 本文从经典的交通流格子模型出发, 考虑驾驶员的预估效应对车流的影响, 提出了一个扩展的一维交通流格子模型, 并利用非线性理论导出了描述交通阻塞相变的 mKdV 方程. 同时对该模型进行了数值模拟, 验证了模型的合理性.

2. 模型

1955年, Lighthill 和 Whitham^[12]以及 Richards^[13]最早提出了交通流宏观模型, 被称为 LWR 模型. 根据这一理论, 交通流满足守恒方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = s(x, t), \quad (1)$$

其中 ρ 为交通密度, Q 为交通流量, t, x 分别代表时间和空间, $s(x, t)$ 是流量产生率. 对于没有进出匝道的公路 $s(x, t) = 0$, 否则 $s(x, t) \neq 0$. 设 v 是车流的平

* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 511-0910-1031) 和高等学校博士学科点专项科研基金 (批准号: 2009019111022) 资助的课题.

[†] E-mail: dihuasun@yahoo.cn

均速度,则流量 Q 、速度 v 和密度 ρ 满足

$$Q = \rho v, \quad (2)$$

LWR 理论还假设均衡交通状态下的平均速度 v 和交通密度 ρ 满足

$$v = v_c(\rho). \quad (3)$$

(1)–(3) 方程联立起来,可以得到简单交通流问题的解析解.但由于 LWR 模型假定(3)式总是成立,所以不能反映本质上处于非均衡态的交通流特性.此后,Payne^[14]和 Whitham^[15]在引用连续性方程(1)式的同时,还借鉴跟驰模型的思想,提出了车辆运动方程为

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{V_c(\rho) - v}{\tau} - \frac{c_0^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (4)$$

其中 $V_c(\rho)$ 为车流的平衡速度, τ 表示延迟时间, c_0 为交通声速.方程(1)和(4)一起构成了高阶的宏观模型(PW 模型).PW 模型中允许速度偏离平衡速度-密度关系,与 LWR 模型相比较,能更准确地描述交通的非均衡态.但是,应用该模型不易解析得到车流临界相变的演化方程.

1998 年, Nagatani^[16] 借鉴 PW 模型的思想,认为交通流的流量可以通过最优速度进行优化得到,提出了交通流连续模型的离散形式——格子模型,其方程为

$$\partial_t \rho + \rho_0 \partial_x (\rho v) = 0, \quad (5)$$

$$\partial_t \rho v = a \rho_0 V(\rho(x + \delta)) - a \rho v, \quad (6)$$

其中 ρ_0 是平均密度, $\delta = 1/\rho_0$ 是平均车头间距, a 是司机的敏感度, $\rho(x + \delta)$ 表示 t 时刻 $x + \delta$ 处的局部密度,与车头间距 $h(x, t)$ 成倒数关系: $\rho(x + \delta) = 1/h(x, t)$, V 表示优化速度函数.应用该模型, Nagatani 解析得到了描述交通拥堵的 mKdV 方程.

在实际交通中,前方交通状况的变化对驾驶员的预测判断是至关重要的,当司机意识到前方格点能通过的流量比当前位置大时,通常司机会加速;反之亦然.这样当前格点的流量将自适应地得到调整.基于上述分析,在 Nagatani^[16] 模型基础上,考虑驾驶员预估效应对当前车的影响,我们提出一个扩展的格子模型

$$\partial_t \rho + \rho_0 \partial_x (\rho v) = 0, \quad (7)$$

$$\partial_t \rho v = a \rho_0 V(\rho(x + \delta)) - a \rho v + ka \frac{\partial Q(\rho(x + \delta))}{\partial x}, \quad (8)$$

其中 $Q(\rho(x + \delta))$ 表示 t 时刻 $x + \delta$ 处的局部流量, $\frac{\partial Q(\rho(x + \delta))}{\partial x}$ 为流量预估计项,表示驾驶员对前方

流量变化的预测反应, k 是反应系数.当 $k = 0$ 时,也就是没有考虑流量预估效应对车流的影响,即退化为 Nagatani^[16] 的模型,因此, Nagatani^[16] 模型是上述模型的特殊情况.

对(7)和(8)式中的空间变量 x 无量纲化,令 $\tilde{x} = x/\delta$, 我们仍将 \tilde{x} 记为 x , 所得模型方程为

$$\partial_t \rho + \rho_0 \partial_x (\rho v) = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \partial_t \rho v = & a \rho_0 V(\rho(x + \delta)) - a \rho v \\ & + ka \rho_0 [Q(\rho(x + \delta)) - Q(\rho(x))]. \end{aligned} \quad (10)$$

对模型的(9)和(10)式进行空间和时间的离散,得到其离散形式为

$$\rho_j(t + \tau) - \rho_j(t) + \rho_0(\rho_j v_j - \rho_{j-1} v_{j-1}) = 0, \quad (11)$$

$$\rho_j(t + \tau) v(t + \tau) = \rho_0 V(\rho_{j+1}) + k \tau \rho_0 (Q_{j+1} - Q_j), \quad (12)$$

其中 j 表示一维格点上第 j 个格子. $\rho_j(t)$, $v_j(t)$ 分别表示 t 时刻第 j 个格点的局部密度和局部平均速度, $\tau = 1/a$ 为车流量变化过程中达到优化流量所需要的延迟时间. Q_j 为第 j 个格点的流量.(10)和(11)式分别对应离散的守恒方程和运动方程.本文采用优化速度函数^[26]

$$V(\rho) = \frac{V_{\max}}{2} \tanh\left(\frac{1}{\rho} - h_c\right) + \tanh(h_c), \quad (13)$$

其中 $h_c = 1/\rho_c$ 是保证车辆不相撞的安全间距, V_{\max} 是车辆行驶的最大速度. ρ 为车辆的局部密度.

消去方程组(11)和(12)式中的速度 v , 结合(2)式,得到关于交通流密度的演化方程为

$$\begin{aligned} \rho_j(t + 2\tau) - \rho_j(t + \tau) + \tau \rho_0^2 [(V(\rho_{j+1}) - V(\rho_j))] \\ - k \rho_0 (\Delta \rho_j(t + \tau) - \Delta \rho_j(t)) = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

其中 $\Delta \rho_j = \rho_{j+1} - \rho_j$.

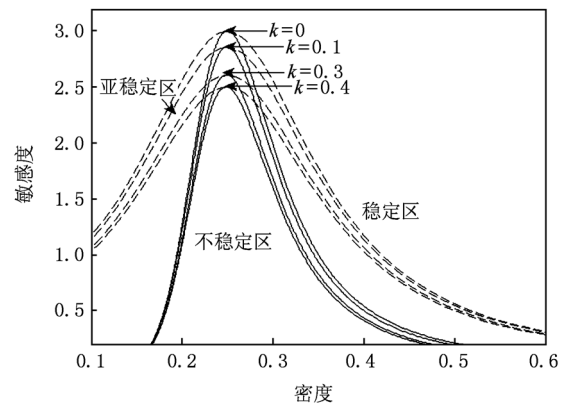


图1 不同 k 值下的车辆密度与敏感度相图

3. 线性稳定性分析

为了研究预估效应对交通流稳定性的影响,下面应用线性稳定性理论来分析该模型. 显然,初始均匀分布的交通流密度为 ρ_0 , 优化速度为 $V(\rho_0)$, 方程的定态解为

$$\begin{aligned} \rho_j(t) &= \rho_0, \\ v_j(t) &= V(\rho_0). \end{aligned} \quad (15)$$

假设 $y_j(t)$ 是偏离定态解的一个小扰动, 则有

$$\rho_j(t) = \rho_0 + y_j(t). \quad (16)$$

将(16)式代入方程(14), 线性化后得

$$\begin{aligned} y_j(t+2\tau) - y_j(t+\tau) + \tau\rho_0^2 V'(\rho_0) \Delta y_j(t) \\ - k\rho_0(\Delta y_j(t+\tau) - \Delta y_j(t)) = 0, \end{aligned} \quad (17)$$

其中 $\Delta y_j = y_{j+1}(t) - y_j(t)$, $V'(\rho_0) = [dV(\rho_j)/d\rho_j]|_{\rho_j=\rho_0}$, 将(17)式中的 $y_j(t)$ 展开成傅里叶级数形式 $y_j(t) = \exp(ikj + zt)$, 得到

$$\begin{aligned} e^{2z\tau} - e^{z\tau} + \tau\rho_0^2 V'(e^{ik} - 1) \\ - k\rho_0(e^{z\tau} - 1)(e^{ik} - 1) = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

为简化起见, 在上式及后面提到的 $V'(\rho_0)$ 简记作 V' . 将 $z = z_1 ik + z_2 (ik)^2 + \dots$ 代入(18)式, 分别得到关于 ik 的 1 阶和 2 阶项,

$$z_1 = -\rho_0^2 V', \quad (19)$$

$$z_2 = -\frac{3}{2}\tau(\rho_0^2 V')^2 - \frac{1}{2}\rho_0^2 V' - k\rho_0^3 V'. \quad (20)$$

如果 z_2 为负, 则初始均匀的稳定流将会变得不稳定; 反之, 将保持原有的稳态流状态不变. 因此, 可得到临界稳定条件

$$\tau = -\frac{1+2k\rho_0}{3\rho_0^2 V'}. \quad (21)$$

对于长波模式的小扰动, 使得交通流保持稳定的条件为

$$\tau < -\frac{1+2k\rho_0}{3\rho_0^2 V'}. \quad (22)$$

当 $k=0$ 时, 得到与 Nagatani^[16] 格子模型一致的稳定条件

$$\tau < -\frac{1}{3\rho_0^2 V'}. \quad (23)$$

当条件(22)满足时, 加入小干扰的交通流是稳定的, 反之, 交通流会演化成时停时走的交通拥堵状态. 通过与 Nagatani^[16] 格子模型的稳定条件(23)

式比较, 我们发现改进模型在区域 $-\frac{1}{3\rho_0^2 V'} < \tau <$

$-\frac{1+2k\rho_0}{3\rho_0^2 V'}$ 进一步稳定了交通流. 这说明改进模型对交通流有进一步的致稳作用, 也充分表明预估效应对交通流的稳定性具有重要影响.

图 1 给出了改进模型在 $k=0, 0.1, 0.3, 0.4$ 时的车辆密度-敏感度关系相图, 其中 $V_{\max}=2, h_c=4$. 在图 1 中, 实线代表临界稳定曲线, 虚线表示由 mKdV 方程的解描述的共存曲线(参见第 4 节). 从相图上可以发现相空间被分成了 3 个不同的区域: 位于共存线上方的稳定区域, 包围在临界稳定曲线和共存线之间的亚稳定区域, 以及临界稳定曲线下方的不稳定区域. 当 $k=0$ 时, 得到与 Nagatani 格子模型^[16] 一致的临界稳定曲线. 从图 1 中可以直观地看出, 临界稳定曲线的位置随着 k 值的增大而降低, 相应的稳定区域也随之增大. 这说明考虑实际交通中的预估效应能增强车流的稳定性.

4. 非线性分析和 mKdV 方程

采用非线性分析方法研究模型在临界点 (ρ_c, a_c) 附近的特性. 通过引入非线性分析可以得到描述交通在临界点阻塞相变的 mKdV 方程, 我们引入慢变量 X 和 T ,

$$\begin{aligned} X &= \varepsilon(j + bt), \\ T &= \varepsilon^3 t \quad (0 < \varepsilon \leq 1), \end{aligned} \quad (24)$$

其中 b 为待定参数. 令密度

$$\rho_j(t) = \rho_c + \varepsilon R(X, T), \quad (25)$$

将(24)和(25)式代入(14)式, 作泰勒展开至 ε^5 量级, 则得到

$$\begin{aligned} \varepsilon^2(b + \rho_c^2 V') \partial_X R + \varepsilon^3 \left(\frac{3}{2} b^2 \tau + \frac{\rho_c^2 V'}{2} - k\rho_0 b \right) \partial_X^2 R \\ + \varepsilon^4 \left\{ \partial_T R + \left[\frac{7b^3 \tau^2}{6} + \frac{\rho_c^2 V'}{6} - \frac{3k\rho_0 b(b\tau + 1)}{6} \right] \partial_X^3 R \right. \\ \left. + \frac{\rho_c^2 V'''}{6} \partial_X R^3 \right\} + \varepsilon^5 \left\{ (3b\tau - k\rho_0) \partial_X \partial_T R + \left(\frac{5b^4 \tau^3}{8} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\rho_c^2 V'}{24} - \frac{k\rho_0}{24} (4b^3 \tau^2 + 6b^2 \tau + 4b) \right) \right. \\ \left. \times \partial_X^4 R + \frac{\rho_c^2 V'''}{12} \partial_X^2 R^3 \right\} = 0, \end{aligned} \quad (26)$$

其中 $V' = [dV(\rho_j)/d\rho_j]|_{\rho_j=\rho_c}$ 和 $V''' = [d^3V(\rho_j)/d\rho_j^3]|_{\rho_j=\rho_c}$. 在临界点 (ρ_c, a_c) , $\tau = (1 + \varepsilon^2)\tau_c$ 附近, 令 $b = -\rho_c^2 V'$, 从(26)式中消去 ε 的 2 阶和 3 阶项, 得到简化方程为

$$\begin{aligned} \varepsilon^4 [\partial_T R - g_1 \partial_X^3 R + g_2 \partial_X R^3] \\ + \varepsilon^5 [g_3 \partial_X^2 R + g_4 \partial_X^4 R + g_5 \partial_X^2 R^3] = 0, \end{aligned} \quad (27)$$

其中,

$$g_1 = \left[\frac{7b^2 \tau_c^2 - 1 - 2k\rho_c (b\tau_c + 1)}{6} \right] \rho_c^2 V',$$

$$g_2 = \frac{\rho_c^2 V'''}{6},$$

$$g_3 = \frac{3}{2} b^2 \tau_c,$$

$$\begin{aligned} g_4 = & -\frac{1}{6} (3b\tau_c - k\rho_c) [(7b^3 \tau_c^2 + \rho_c^2 V') \\ & - 3bk\rho_c (b\tau_c + 1)] \\ & + \frac{5}{8} b^4 \tau_c^3 + \frac{\rho_c^2 V'}{24} - \frac{k\rho_c}{24} \\ & \times (4b^3 \tau_c^2 + 6b^2 \tau_c + 4b), \end{aligned}$$

$$g_5 = \frac{1 - 6b\tau_c + 2k\rho_c}{12} \rho_c^2 V''''.$$

对(27)式做如下的变换:

$$\begin{aligned} T' &= g_1 T, \\ R &= \sqrt{\frac{g_1}{g_2}} R', \end{aligned} \quad (28)$$

得到含有 $o(\varepsilon)$ 校正项的 mKdV 方程为

$$\partial_{T'} R' - \partial_X^3 R' + \partial_X R'^3 + \varepsilon M[R'] = 0, \quad (29)$$

其中

$$M[R'] = \frac{1}{g_1} \left[g_3 \partial_X^2 R' + g_4 \partial_X^4 R' + \frac{g_1 g_5}{g_2} \partial_X^2 R'^3 \right]. \quad (30)$$

忽略 $o(\varepsilon)$ 项,其扭结-反扭结波解为

$$R'_0(X, T') = \sqrt{c} \tanh \sqrt{\frac{c}{2}} (X - cT'). \quad (31)$$

为了得到方程(31)的密度波的传播速度 c , $R'_0(X, T')$ 必须满足可解性条件

$$\begin{aligned} (R'_0, M[R'_0]) &= \int_{-\infty}^{+\infty} dX R'_0(X, T') M[R'_0(X, T')] \\ &= 0. \end{aligned} \quad (32)$$

按照文献[27]的方法,通过积分,可以得到交通阻塞的密度波的传播速度

$$c = 5g_2 g_3 / (2g_2 g_4 - 3g_1 g_5). \quad (33)$$

因此,模型的扭结-反扭结密度波的解为

$$\begin{aligned} \rho_j(t) &= \rho_c + \sqrt{\frac{g_1 c}{g_2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)} \tanh \sqrt{\frac{c}{2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)} \\ &\times \left[j + \left(1 - c g_1 \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right) \right) t \right]. \end{aligned} \quad (34)$$

于是得到扭结-反扭结波解的振幅 A 为

$$A = \sqrt{\frac{g_1 c}{g_2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)}. \quad (35)$$

扭结-反扭结波解表示共存相,具体包括低车流密度下的自由流相和高密度下的阻塞相. 因此,模型对应于自由流相和阻塞相下的共存曲线可由 $\rho_j = \rho_c + A$ 和 $\rho_j = \rho_c - A$ 描绘(见图1中的虚线).

5. 数值仿真

为了验证模型的理论分析结果,我们对由(14)式描述的密度演化方程进行数值仿真. 采用周期边界条件,初始条件为

$$\begin{aligned} \rho_j(0) &= \rho_0 = 0.25, \\ \rho_j(1) &= \rho_j(0) = 0.25, \\ & j \neq 50, 51, \\ \rho_j(1) &= 0.25 - 0.05 \quad (j = 50), \\ \rho_j(1) &= 0.25 + 0.05 \quad (j = 51), \end{aligned}$$

格子总数 $N = 100$, 车辆安全间距 $h_c = 4$, $V_{\max} = 2$, 敏感系数 $a = 2.51$. 仿真结果如图2和图3所示.

图2(a)–(d)分别描述了 $k = 0, 0.1, 0.3, 0.4$ 时,在 $t = 10000$ 时间步后的密度时空演化斑图. 在图2(a)中,参数 $k = 0$,演化图与 Nagatani^[16] 格子模型得到的一致. 当 $k = 0.1, 0.3$ 时,对应于时空演化图2(b)和(c). 在图2(a)–(c)中,由于 $a = 2.51$ 不满足稳定性条件(22)式. 此时,交通流在小扰动干扰下失稳,车流出现以扭结与反扭结密度波形式描述的时停时走现象. 当 $k = 0.4$ 时,稳定性条件(22)式得到满足. 此时,交通流在小扰动下保持稳定(见图2(d)).

图3给出了 $t = 10300$ 时间步时的车流密度分布情况,图3(a)–(d)分别对应于 $k = 0, 0.1, 0.3, 0.4$. 从图3中可以发现:在相同的敏感度条件下,随着 k 值的增加,密度波的幅值逐渐减小. 特别地,当 $k = 0.4$ 时,图3(d)中的密度波的幅值迅速降低,交通流回归到均匀的稳态. 由上述可见:数值仿真结果与理论解析的结果相符,同时也表明考虑实际交通中的预估效应能增强交通流的稳定性.

为了研究预估效应在小扰动下对系统平均流量的影响,图4给出了本文模型 ($k = 0.3$) 与 Nagatani^[16] 模型在小扰动下的初始密度与系统平均流量关系图. 仿真采用的初始条件与图2相同. 从图4中可以看出:当密度 $\rho_0 \leq 0.24$ 或 $\rho_0 \geq 0.28$ 时,两个模型的曲线完全重合,而当密度在 $0.24 < \rho_0 < 0.28$ 时,本文模型的系统平均流量比 Nagatani^[16] 模

型略低,但相差很小,表征预估效应对系统的平均流量影响较小.

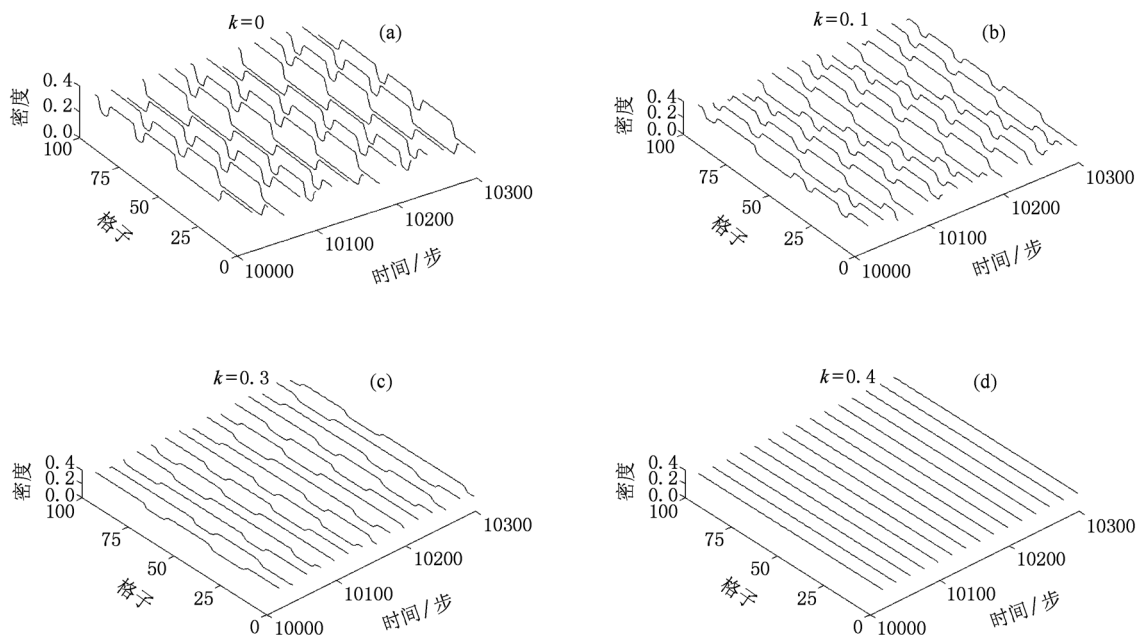


图2 $t = 10000$ 演化时步后的车流密度的时空演化斑图

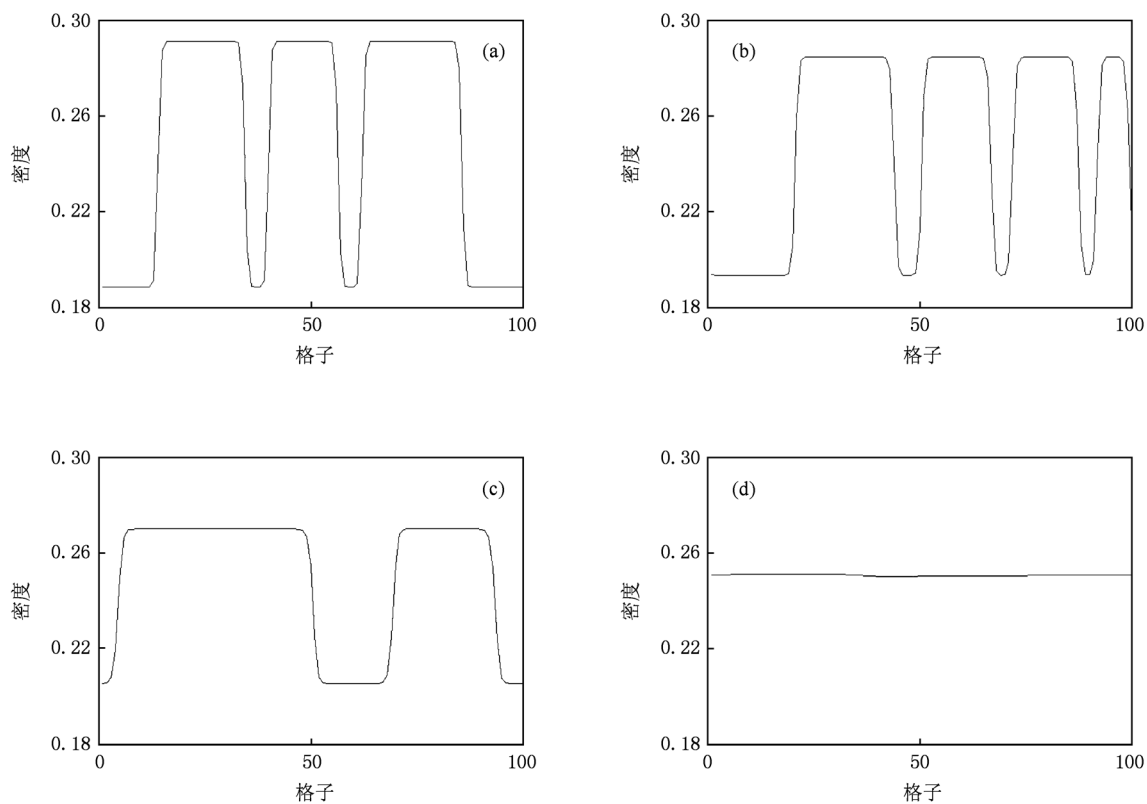


图3 $t = 10300$ 时间步时的车流密度分布图 (a) — (d) 分别对应 $k = 0, 0.1, 0.3, 0.4$

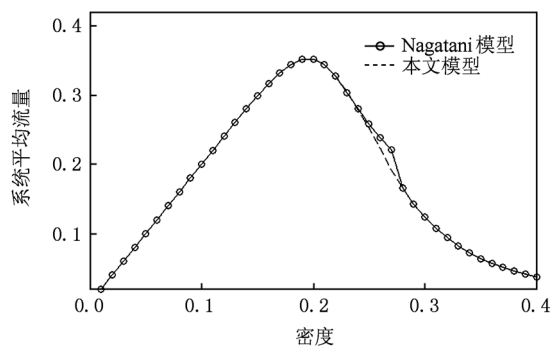


图4 小扰动下的初始密度与系统平均流量关系图

6. 结 论

考虑实际交通中驾驶员对前方车流的预估效应,提出了含有预估项的扩展格子模型. 运用线性

稳定性定理得到了该扩展模型的线性稳定性判据. 对临界点的交通阻塞演化特性进行研究,发现交通发生阻塞相变时,交通密度波以 mKdV 方程描述的结扭结-反扭结波形式演化. 模型的分析 and 仿真结果表明,改进模型进一步增强了交通流的稳定性,有效抑制了交通阻塞.

本文讨论的是预估效应的正向刺激作用对交通流稳定性的影响. 事实上,在实际交通中,不同类型的驾驶员对预估效应的刺激反应是不一致的. 例如,当驾驶员预测到前方格点可通过流量将增加时,激进型驾驶员往往会提高车速,预估效应产生的刺激是正向的;而对于保守型驾驶员,则可能顾忌到预期的追尾概率将增加从而降低车速,预估效应产生的刺激是负向的. 因此,在下一步的研究中可以结合不同类型的驾驶员特性,更完整地刻画预估效应对交通流的影响.

- [1] 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]
- [2] Mo Y L, He H D, Xue Y, Shi W, Lu W Z 2008 *Chin. Phys. B* **17** 4446
- [3] Tang T Q, Huang H J, Wong S C, Jiang R 2009 *Chin. Phys. B* **18** 975
- [4] 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]
- [5] Ding J X, Huang H J, Tang T Q 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7591 (in Chinese) [丁建勋、黄海军、唐铁桥 2009 物理学报 **58** 7591]
- [6] Ge H X, Dai S Q, Dong L Y 2008 *Chin. Phys. B* **17** 23
- [7] Sun D H, Peng G H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3724
- [8] Ge H X, Cheng R J 2008 *Physica A* **387** 6952
- [9] Jia B, Li X G, Jiang R, Gao Z Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6845 (in Chinese) [贾斌、李新刚、姜锐、高自友 2009 物理学报 **58** 6845]
- [10] Tang T Q, Huang H J, Gao Z Y, Wong S C 2007 *Physica A* **380** 481
- [11] Tang T Q, Huang H J, Xu G, Xue Y 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 56 [唐铁桥、黄海军、徐刚、薛郁 2008 物理学报 **57** 56]
- [12] Lighthill M J, Whitham G B 1955 *Proc. Roy. Soc. A* **229** 317
- [13] Richards P I 1956 *Oper. Res.* **4** 42
- [14] Payne H J 1971 *Simul. Coun. Proc. Ser. Math. Sys.* **1** 51
- [15] Whitham G B 1974 *Linear and Nonlinear Wave* (New York: John Wiley) p65
- [16] Nagayani T 1998 *Physica A* **261** 599
- [17] Xue Y 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 25 (in Chinese) [薛郁 2004 物理学报 **53** 25]
- [18] Li Z P, Li X L, Liu F Q 2008 *Int. J. Mod. Phys. C* **19** 1163
- [19] Peng G H 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 3824 (in Chinese) [彭光含 2010 物理学报 **59** 3824]
- [20] Tang T Q, Huang H J, Xue Y 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4026 (in Chinese) [唐铁桥、黄海军、薛郁 2006 物理学报 **55** 4026]
- [21] Ge H X, Dai S Q, Xue Y, Dong L Y 2005 *Phys. Rev. E* **71** 066119
- [22] Tang T Q, Huang H J, Shang H Y 2010 *Phys. Lett. A* **374** 1668
- [23] Chen X Q, Xie W J, Shi J, Shi Q X 2010 *Int. J. Mod. Phys. C* **21** 647
- [24] Chen S D, Zhu L H, Kong L J, Liu M R 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2517 (in Chinese) [陈时东、朱留华、孔令江、刘慕仁 2007 物理学报 **56** 2517]
- [25] Tang T Q, Huang H J, Wong S C, Jiang R 2008 *Acta Mech. Sin.* **24** 399
- [26] Bando M, Hasebe K, Nakayama A, Shibata A, Sugiyama Y 1995 *Phys. Rev. E* **51** 1035
- [27] Ge H X, Cheng R H, Dai S Q 2005 *Physica A* **357** 466

A traffic flow lattice model with the consideration of driver anticipation effect and its numerical simulation^{*}

Sun Di-Hua[†] Tian Chuan

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

(Received 14 July 2010; revised manuscript received 27 August 2010)

Abstract

With the consideration of the effect of driver anticipation behavior on traffic flow, a new one-dimensional lattice model is proposed. The linear stability condition of the presented model is obtained by employing the linear stability theory. The density wave near the critical stable point is investigated analytically with the nonlinear analysis method. The results show that the occurrence of traffic jamming transitions can be described by the kink-antikink solution of the modified Korteweg-de Vries (mKdV) equation. The good agreement between the simulation results and the analytical results shows that the stability of traffic flow can be enhanced when the effect of driver anticipation behavior is considered.

Keywords: anticipation effect, traffic flow, lattice model, numerical simulation

PACS: 89.40. - a, 45.70. Vn, 05.70. Fh

^{*} Project supported by the National High Technology Development Program of China (Grant No. 511-0910-1031) and the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20090191110022).

[†] E-mail: dihuasun@yahoo.cn