

文章编号:1000-582X(2011)08-013-05

双前导车信息对交通流稳定性影响的分析

廖孝勇^{a,c}, 孙棣华^{a,c}, 彭光含^a, 刘卫宁^{b,c}, 古 曦^b

(重庆大学 a. 自动化学院; b. 计算机学院; c. 信息物理社会可信服务计算教育部重点实验室; 重庆 400044)

摘要:稳定性分析是交通流理论的重要问题之一,因为阻塞现象可视为动力系统的不稳定和相变。通过考虑双前导车信息的影响,获得了 1 个扩展的优化速度模型,借助稳定性理论得到了扩展模型的稳定性条件,同时运用非线性分析推导出 mKdV 方程来描述临界点附近的交通行为。数值仿真证实了分析结果,并表明考虑双前车更有效抑制交通阻塞。因此,次邻近前车对交通动力学有很强的影响,对稳定交通流起到重要作用。

关键词:交通流;跟驰模型;仿真

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

Analysis on the stability of traffic flow with the information of two preceding cars

LIAO Xiao-yong^{a,c}, SUN Di-hua^{a,c}, PENG Guang-han^a, Liu Wei-ning^{b,c}, GU Xi^b

(a. College of Automation; b. College of Computer Science;

c. Key Laboratory of Dependable Service Computing in Cyber Physical Society, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: The stability analysis is one of the important problems in the traffic flow theory, where the congestion phenomena can be regarded as the instability and the phase transition of a dynamical system. An extended optimal velocity model is deduced by considering the effect of the information of two leader cars. The stability condition of the extended model is obtained by using the linear stability theory. The modified Korteweg-de Vries (mKdV) equation is derived to describe the traffic behavior near the critical point by applying the nonlinear analysis. The numerical simulation results demonstrate the analytical results and show that the traffic congests are suppressed more efficiently by considering two vehicles ahead. Therefore, the next-nearest-neighbor car has strong effects on traffic dynamics and plays an important role on stabilizing the traffic flow.

Key words: traffic flow; car-following model; simulation

随着经济的快速发展,交通量剧增导致城市问题越来越严重。为了解释复杂的交通流特性,许多

交通流模型被相继提出^[1-4]。而跟驰模型是研究交通流的重要微观模型之一。1995, Bando 等^[5]提出

收稿日期:2011-02-12

基金项目:国家“十五”科技攻关资助项目(2002BA404A07);“211 工程”三期建设资助项目(S-09108);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(2009019111022)。

作者简介:廖孝勇(1980-),男,重庆大学博士生,主要从事智能交通,浮动车技术,以及交通流的研究,
(E-mail)liaoxiaoyong@cqu.edu.cn。

孙棣华(1962-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事智能交通,计算机控制,制造自动化的研究。

的优化速度(OV)微观跟驰模型,已成功地描述了交通阻塞形成机制。

1998年,Helbing等^[6]通过参数辨识发现OV模型存在过高加速度和不切实际减速度问题。针对此问题,他们通过考虑前车与本车负速度差的作用,提出了广义力(GF)模型^[6]。但是,GF模型仅仅考虑了前后车负速度差的影响,Jiang^[7]在GF模型基础上,考虑了实际交通中正向速度对当前车的影响,提出了全速度差(FVD)模型。由于FVD模型充分考虑了速度差和车头距对当前车加速度的影响,克服了OV模型的不合理情况,并提高了车流的稳定性。但在低反应系数时,FVD却出现了不合理的负速度现象。

遗憾的是,上述模型仅考虑了一辆前车的信息。事实上,随着智能交通系统(ITS)的发展,驾驶员可以获得前后多个车辆的位置信息和速度差信息。从应用ITS信息的角度,基于OV模型,一些学者提出了一系列扩展模型^[8-19]。其中,文献[8-12]的OV扩展模型利用其他车辆的速度差信息建立交通流模型,以提高车流的稳定性。但是上述模型均未涉及多个车辆的车头距信息。针对此问题,文献[13-18]则同时讨论了多前车速度差和车头距信息对车流带来的致稳作用。以上的研究均是基于前导车辆信息对OV模型的扩展。最近,文献[19]讨论了跟随车信息对车流稳定性的影响,提出了向后观测的OV扩展模型,结果表明考虑跟随车信息能明显增强车流的稳定性。上述跟驰理论的发展历程表明,考虑前车信息过少,不足以抑制交通阻塞。虽然基于ITS信息可以有效的抑制交通阻塞,但是考虑过多车辆的信息又将加重驾驶员的负担。

为了探索双前车信息能否有效的抑制交通阻塞,提出了1个新的扩展模型。利用线性稳定性理论获得了扩展模型的稳定性判据。在此基础上,运用非线性分析方法,深入研究了临界点附近交通阻塞的传播情况,推导出了描述交通阻塞传播的mKdV方程。最后,通过数值仿真验证了mKdV方程的解,数值结果表明该扩展模型能反映交通阻塞动态演变过程,增强了车流稳定性,更符合现代交通流的特点。

1 模型

1995年,Bando等^[5]提出了优化速度(optimal velocity, OV)模型

$$\frac{dv_n(t)}{dt} = \frac{1}{\tau} [V(\Delta x_n(t)) - v_n(t)], \quad (1)$$

式中: τ 为反应时间;车距 $\Delta x_n = x_{n+1} - x_n$; $x_n(t)$ 和 $x_{n+1}(t)$ 分别为跟驰车和头车的位置; $V(\Delta x_n)$ 为最佳速度^[5]

$$V(\Delta x_n) = 0.5V_{\max} [\tanh(\Delta x_n - h_c) + \tanh(h_c)], \quad (2)$$

其中 h_c 是常数,表示安全距离。

此后,Helbing等考虑了前车与本车负速度差作用,提出了广义力(general force, GF)模型,克服了OV模型加速度过大问题,模拟显示GF模型结果比OV模型结果更符合实测数据^[9]。然而,当前车比跟驰车快得多时,尽管车头距小于安全距离,但跟驰车也不会减速^[14],OV模型和GF模型均无法解释这种现象。于是,考虑相对速度,文献[10]和文献[11]分别提出如下相同形式的跟驰模型

$$\frac{dv_n(t)}{dt} = a[V(\Delta x_n) - v_n(t)] + \lambda \Delta v_n, \quad (3)$$

其中 λ 表示对相对速度的敏感系数。

现代交通中,车流密度较大,次近邻车辆对驾驶员行驶往往存在不可忽视的影响,而且智能交通系统技术的发展,驾驶员可以预先获得前面双车信息的变化,因此,提出如下扩展的跟驰模型

$$\begin{aligned} \frac{dv_n(t)}{dt} = & a[V(\Delta x_n, \Delta x_{n+1}) - v_n(t)] + \\ & \lambda G(\Delta v_n, \Delta v_{n+1}), \end{aligned} \quad (4)$$

式中

$$V(\Delta x_n, \Delta x_{n+1}) = V[(1-p)\Delta x_n + p\Delta x_{n+1}], \quad (5)$$

$$G(\Delta v_n, \Delta v_{n+1}) = (1-p)\Delta v_n + p\Delta v_{n+1}, \quad (6)$$

其中: $0 \leq p < 0.5$,表示驾驶员对次邻近前车关注的程度。当 $p=0$ 时,也就是只考虑最邻近前车信息对跟驰车的影响,即退化为文献[10-11]的模型。

2 线性稳定性条件

采用下列差分进行稳定性分析

$$\begin{aligned} \Delta x_j(t+2\tau) - \Delta x_j(t+\tau) = & \{V((1-p)\Delta x_{j+1} + \\ & p\Delta x_{j+2}) - V((1-p)\Delta x_j - p\Delta x_{j+1})\} \tau + \\ & \lambda \tau \{ (1-p)[\Delta x_{j+1}(t+\tau) - \Delta x_{j+1}(t)] - \\ & p[\Delta x_{j+2}(t+\tau) - \Delta x_{j+2}(t)] \}, \end{aligned} \quad (7)$$

假设给定初始状态为稳定态,车辆的车头间距均为 $b=L/N$,对应的优化速度为 $V(b,b)$ 。此时,稳态交通流的车辆位置解为

$$x_n^0(t) = bn + V(b,b)t. \quad (8)$$

对于均匀流解式(8),加一扰动 $y_n(t) = e^{(ikn+zt)}$,可得

$$x_n(t) = x_n^0(t) + y_n(t). \quad (9)$$

将方程(7)线性化,可以得到

$$\begin{aligned} \Delta y_n(t+2\tau) - \Delta y_n(t+\tau) = & \tau V'(b)[(1-p)(\Delta y_{n+1} - \Delta y_n) + \\ & p(\Delta y_{n+2} - \Delta y_{n+1}) + \\ & \lambda\tau(1-p)[\Delta y_n(t+\tau) - \Delta y_n(t)] + \\ & \lambda p[\Delta y_{n+1}(t+\tau) - \Delta y_{n+1}(t)], \end{aligned} \quad (10)$$

式中 $V'(b) = dV(\Delta x_n)/d\Delta x_n|_{\Delta x_n=b}$. 将方程(9)的 y_n 按傅里叶级数展开,将参数 z 展开为 $z = z_1(ik) + z_2(ik)^2 + \dots$,代入式(10),得到

$$\begin{aligned} z_1 &= V'(b), \\ z_2 &= \frac{(1+2p)}{2}V'(b) - \frac{3(V'(b))^2\tau}{2} + \lambda\tau V'(b), \end{aligned} \quad (11)$$

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

$$V'(b) = \frac{(1+2p)}{3\tau} + \frac{2}{3}\lambda. \quad (12)$$

当车头间距满足如下关系时,系统将处于稳定状态

$$V'(b) < \frac{(1+2p)}{3\tau} + \frac{2}{3}\lambda. \quad (13)$$

当 $p=0$ 时,得到文献[10-11]一致的稳定条件。

$$V'(b) < \frac{1}{3\tau} + \frac{2}{3}\lambda. \quad (14)$$

采用 MATLAB 7. 0. 1 对式(12)进行了编程实现,获得了改进模型(4)的中性稳定曲线,结果如图 1 所示。图中 1,选取模型参数 $\lambda=0.2$,实线表示当 $p=0,0.1,0.2,0.3$ 时扩展模型的相变图和模型的临界稳定曲线。临界曲线以上是稳定区域,临界

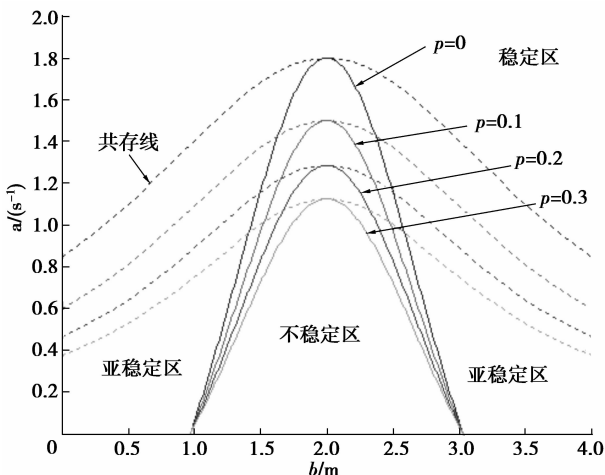


图 1 车头间距与敏感系数的临界曲线

曲线以下是不稳定区域。可以看出,图 1 中每条曲线都存在 1 个临界点,临界点和临界稳定曲线的位置随着 p 值的增大而降低,相应的稳定区域也逐渐增大,这与模型线性稳定性分析的结论一致。因此,考虑次近邻车辆的信息,增强了车流的稳定性。

3 非线性分析

考虑在临界点 (a_c, h_c) 附近慢变量的变化行为,在临界点附近 $a = a_c, \epsilon = \sqrt{(a_c/a-1)}, 0 < \epsilon \leq 1$, 定义慢变量 X, T

$$X = \epsilon(n + bt), \quad (15)$$

$$T = \epsilon^3 t, \quad (16)$$

其中 b 为待定参数,设车间距为

$$\Delta x_n(t) = h_c + \epsilon R(X, T). \quad (17)$$

将式(7)展开至 ϵ^5 量级,则得到如下非线性偏微分方程

$$\begin{aligned} \epsilon^2 [b - V'(h_c)] \partial_X R + \epsilon^3 \left[\frac{3b^2\tau}{2} \partial_X^2 R - \frac{V(h_c)}{2} \times \right. \\ \left. (1+2p) \partial_X^2 R^2 - \frac{V''(h_c)}{2} \partial_X R^2 - \lambda b \partial_X^2 R \right] + \\ \epsilon^4 \left[\partial_T^2 R + \frac{7b^3\tau^2}{6} \partial_X^3 R - \right. \\ \left. \frac{V'(h_c)}{6} (1+6p) \partial_X^3 R - 3\lambda \frac{(3+2p+b\tau)b}{6} \partial_X^3 R - \right. \\ \left. \frac{V''(h_c)}{4} \partial_X^2 R^2 - \frac{V'''(h_c)}{6} \partial_X R^3 \right] + \\ \epsilon^5 \left[3b\tau \partial_T \partial_X R + \frac{5b^4\tau^3}{8} \partial_X^4 R - \right. \\ \left. \frac{V'(h_c)}{24} (1+14p) \partial_X^4 R - \frac{V''(h_c)}{24} \partial_X^3 R^2 - \right. \\ \left. \frac{V'''(h_c)}{12} (1+2p) \partial_X^2 R^3 - \right. \\ \left. \frac{\lambda [4b^3\tau^2 + 6b^2\tau(3+2p) + 4b(7+12p)]}{24} \partial_X^4 R \right] \\ = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

其中

$$V' = dV(\Delta x)/d\Delta x|_{\Delta x=h_c};$$

$$V''' = d^3V(\Delta x)/d\Delta x^3|_{\Delta x=h_c}.$$

取 $b = V', a_c/a = 1 + \epsilon^2, a_c = 2(V'(h_c) - \lambda)/(1+2p)$ 。

在临界点附近方程(18)简化为如下关系

$$\begin{aligned} \epsilon^4 [\partial_T R - g_1 V \partial_X^3 R + g_2 \partial_X R^3] + \\ \epsilon^5 [g_3 \partial_X^2 R + g_4 \partial_X^4 R + g_5 \partial_X^3 R^3] = 0, \end{aligned} \quad (19)$$

其中

$$g_1 = \frac{2+40p-2\lambda+9\lambda(10+8p+\lambda)}{54}; \quad (20)$$

$$g_2 = -\frac{V'''}{6}; g_3 = \frac{[(1+2p)+2\lambda]V'}{2}; \quad (21)$$

$$g_4 = \frac{9(1+14p) - 5[(1+2p) + 2\lambda]^3}{216} + \frac{\lambda}{108} [2(1+2\lambda)^2 - 9(3+2p)(1+2\lambda) + 18(7+12p)]; \quad (22)$$

$$g_5 = \frac{V'''}{12}. \quad (23)$$

对式(19)做变换

$$T' = g_1 V' T, R = \sqrt{\frac{g_1}{g_2}} R'. \quad (24)$$

得到含有 $O(\epsilon)$ 校正项的 mKdV 方程

$$\partial_{T'} R' - \partial_X^3 R' + \partial_X R'^3 + \epsilon M[R'] = 0 \quad (25)$$

$$M[R'] = \sqrt{\frac{1}{g_1}} [g_3 \partial_X^2 R' + \frac{g_1 g_5}{g_2} \partial_X^2 R'^3 + g_4 \partial_X^4 R']. \quad (26)$$

忽略 $O(\epsilon)$ 项, 其扭结-反扭结波解为

$$R'_0(X, T') = \sqrt{c} \tanh \sqrt{c/2} (X - cT'). \quad (27)$$

为了得到方程(25)的传播速度 c , $R'_0(X, T')$ 必须满足可解性条件

$$(R'_0, M[R'_0]) = \int_{-\infty}^{+\infty} dX R'_0(X, T') M[R'_0(X, T')] = 0. \quad (28)$$

通过积分, 可以得到扭结-反扭结波的传播速度

$$c = 5g_2 g_3 / (2g_2 g_4 - 3g_1 g_5). \quad (29)$$

于是得车头间距的扭结-反扭结密度波的解为

$$\Delta x_j(t) = h_c + \sqrt{\frac{g_1 c}{g_2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)} \tanh \sqrt{\frac{c}{2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)} \times \left[j + \left(1 - g_1 c V' \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right) \right) t \right], \quad (30)$$

当 $p=0$ 时, 得到与薛郁模型一致的结果。

于是得到扭结-反扭结波解的振幅 A 为

$$A = \sqrt{\frac{g_1 c}{g_2} \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)}. \quad (31)$$

扭结波解代表共存相, 共存曲线可由下式绘出

$$\Delta x = h_c \pm A. \quad (32)$$

据此, 可以绘出共存线, 如图 1 虚线所示。

交通堵塞, 是车辆交通流复杂性的 1 个重要特征, 通常被认为是由于车辆之间相互作用引起的密度波传播的极限情形。在车头间距和敏感度的相图 1 中, 虚线代表共存曲线, 实线代表中性稳定曲线。根据稳定性理论, 交通流可分为 3 个不同的区域: 位于共存曲线以外的是稳定区域, 位于共存曲线和中性稳定曲线之间的是亚稳态区域, 在中性稳定曲线以内的是不稳定区域。

4 数值仿真

为了验证理论分析结果, 数值仿真采用周期边界条件, 初始条件选择如下

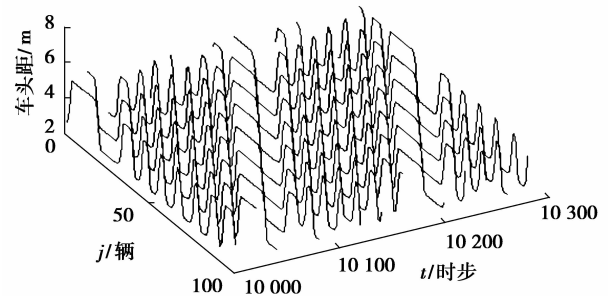
$$\Delta x_j(0) = \Delta x_0 = 4,$$

$$\Delta x_j(1) = \Delta x_0 = 4.0 \text{ for } j \neq 50, 51,$$

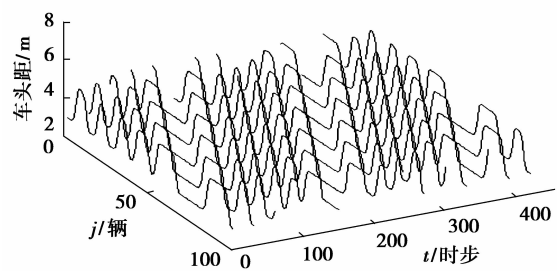
$$\Delta x_j(1) = 4.0 - 0.5 \text{ for } j = 50,$$

$$\Delta x_j(1) = 4.0 + 0.5 \text{ for } j = 51,$$

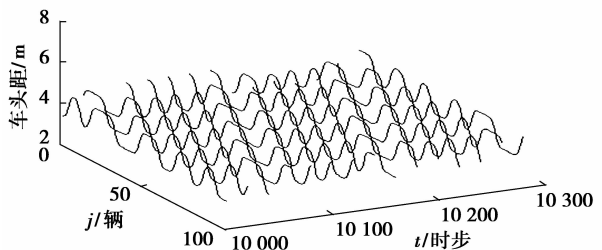
车辆总数 $N=100$, 安全车距 $h_c=4, a=1.5, \lambda=0.1, V_{\max}=2, p=0.1, 0.2, 0.3$ 和 0.4 。仿真结果如图 2 和图 3 所示。



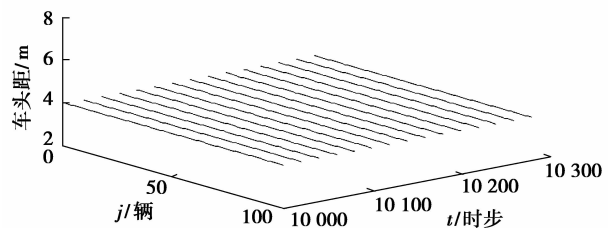
(a) $p=0.1$



(b) $p=0.2$



(c) $p=0.3$



(d) $p=0.4$

图 2 $t=10\ 000$ 演化步后的车头距的时空演化图。

图(a)-(b)分别对应 $p=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ 共存相

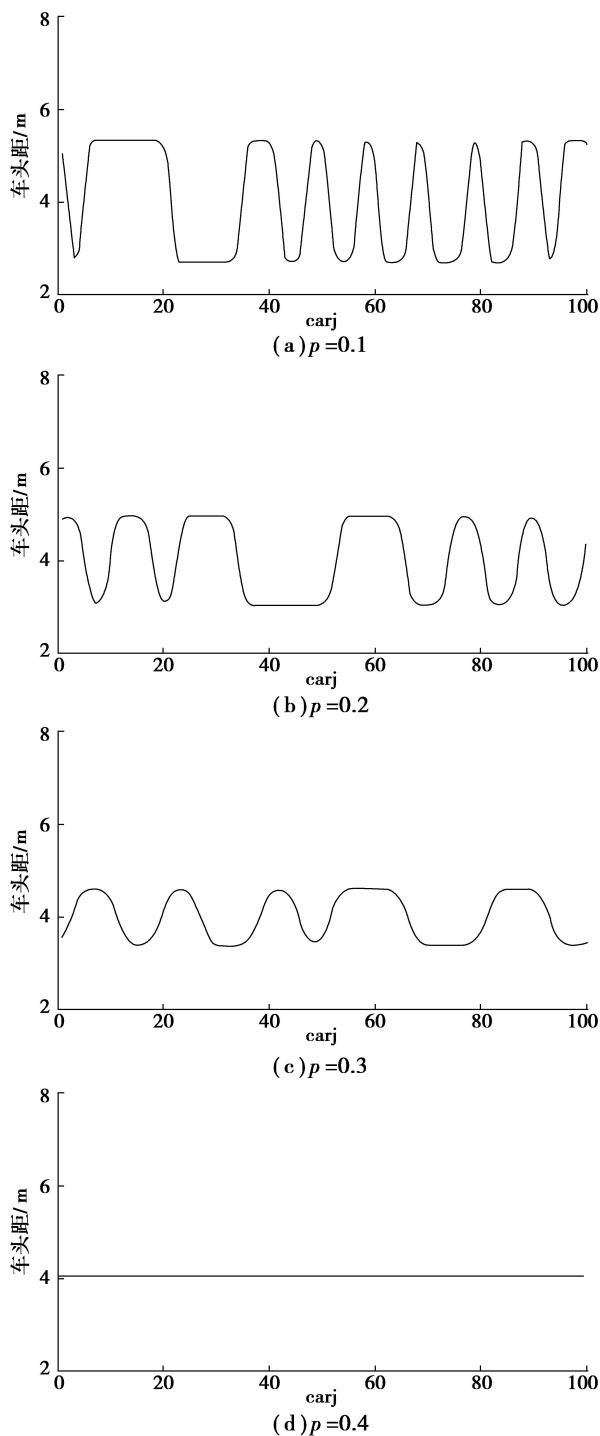


图 3 $t=10\ 300$ 时间步时的车头间距分布,图(a), (b), (c)和(d)分别对应于 $p=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$

从图 2 和图 3 中可以看出,在不稳定区域会有扭结-反扭结密度波出现,随着 p 值的增大,密度波的幅值明显减小,交通阻塞逐步消除。数值仿真结果与解析的结果是一致的。这说明考虑次近邻车辆的影响能够有效地减缓交通拥堵的形成。在图 2 (d)和图 3(d)中,密度波的幅值迅速下降,小扰动对交通流的影响变化不明显,交通流回归稳定状态,这与图 1 的线性稳定分析结果是一致的。

5 结 论

提出了一种扩展的交通流微观跟驰模型。通过稳定性分析,非线性分析和数值仿真,研究双车信息对跟驰车辆的影响,结果表明模型能描述以扭结-反扭结密度波形式传播的交通阻塞的形成和消散。同时,仿真结果也表明改进模型通过引入双前车的信息增强了车流的稳定性,从而能有效的抑制交通阻塞的形成。

参考文献:

- [1] 陈漩,高自友,赵小梅,等. 反馈控制双车道跟驰模型研究[J]. 物理学报,2007,56(4):2024-2029.
CHEN XUAN, GAO ZI-YOU, ZHAO XIAO-MEI, et al. Study on the two-lane feedback controlled car-following model[J]. Acta Physica Sinica,2007, 56(4): 2024-2029.
- [2] 王昊,王炜. 各异性 FVD 模型及数值模拟[J]. 哈尔滨工业大学学报,2010,42(1):138-142.
WANG HAO, WANG WEI. Heterogeneous FVD model and numerical simulation[J]. Journal of Harbin Institute of Technology,2010,42(1):138-142.
- [3] 王涛,张晶. 多速度差模型的交通流特性分析[J]. 系统工程理论与实践,2008,28(10):150-156.
WANG TAO, ZHANG JIN. Property analysis of the multiple velocity difference model[J]. Systems Engineering Theory and Practice,2008,28,(10):150-156.
- [4] 韩祥临,姜长元,葛红霞,等. 基于智能交通系统的耦合映射跟驰模型和交通拥堵控制[J]. 物理学报,2007,56(8):4383-4392.
HAN XIANG-LIN, JIANG CHANG-YUAN, GE HONG-XIA, et al. A modified coupled map car-following model based on application of intelligent transportation system and control of traffic congestion[J]. Acta Physica Sinica,2007,56(8):4383-4392.
- [5] BANDO M, HASEBE K, NAKYAMA A, et al. Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation [J]. Physical Review E, 1995, 51 (2): 1035-1042.
- [6] HELBIG D, TILCH B. Generalized force model of traffic dynamics[J]. Physical Review E, 1998, 58(1): 133-140.
- [7] JIANG R, WU Q S, ZHU Z J. Full velocity difference model for a car-following theory[J]. Physical Review, 2001,64(1):171011-171014.
- [8] 王涛,高自友,赵小梅. 多速度差模型及稳定性分析[J]. 物理学报,2006,55(2):634-640.
WANG TAO, GAO ZI-YOU, ZHAO XIAO-MEI. Multiple velocity difference model and its stability analysis[J]. Acta Physical Sinica,2006,55(2):634-640.

6.2 mm, $R_2 = 11.643 \Omega$, $Q = 2.29$ 。

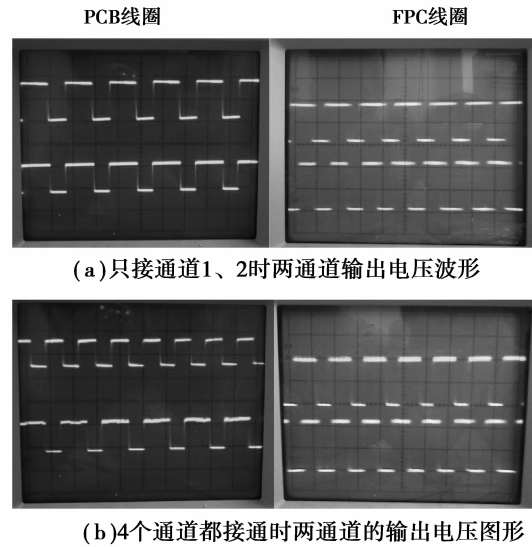
从图 6(a), (b), (c) 可以看出, 无论是 PCB 还是 FPC 做接收线圈, 输出电压 U 。都随着线圈间距 D 、线圈中心轴之间的距离 d 、两线圈夹角 θ 的增大而降低, 尤其当 D 增大时 U 。下降速度最大, 而 d, θ 增大最初对 U 。影响较小(当 $d < 2$ mm 或 $\theta < 30^\circ$, PCB 线圈的 U 。下降 $< 15\%$; 当 $d < 3$ mm 或 $\theta < 20^\circ$, FPC 线圈的 U 。下降 $< 15\%$), 此时系统可靠性较强, 但当角度失配和横向失配再继续增大时, 输出电压 U 。迅速下降。植入实验中能够控制两线圈角度失配在 30° 度, 横向失配在 3 mm 以内, 因此所设计的线圈能够满足植入系统的要求。

同时对比曲线发现 FPC 线圈做接收时比 PCB 线圈做接收时电路的输出电压大, 虽然 FPC 与 PCB 线圈尺寸相同, 但其线宽线距小, 所以其电感值大(见公式 1), 而接收信号的电压正比于 $(L_2/L_1)^{1/2}$ (L_1 是发射线圈电感, L_2 是接收线圈的电感), 在发射线圈相同的情况下, 电感值大的 FPC 线圈接收到的电压大, 从而负载上的输出电压大, 所以实验中如果需要幅值高的刺激信号时可以选择 FPC 加工线圈, 或者选择线宽线距更小的工艺制造线圈。

另外, 负载对输出电压的大小也有影响, 实验中对此也进行了测试, 结果如图 6(d) 所示: 无论是 PCB 线圈还是 FPC 线圈, 输出电压都随着负载的增大而增大, 近似线性关系。

因此, 为了获得足够大的输出电压, 增大电路的耦合效率, 首先要使得两线圈间距最小, 同时控制横向失配在 3 mm 内、角度失配在 30° 内, 并增大负载。

对于多通道电路, 实验中根据图 3 的系统原理设计了 2×2 通道的神经电刺激器, 并测得实际负载输出波形如图 7。左边是采用 PCB 线圈做接收时负载的输出波形, 右边是采用 FPC 线圈做接收时负载的输出波形。图 7(a)、(b) 是 1、2 通道分别在其他两通道关闭与开通时的输出波形图。刺激信号采用的是 NE555 组成占空比可调脉冲振荡电路^[1], 刺激脉冲频率为 300 Hz, D 为 4 mm, 负载 R 为 10 k Ω , 示波器时间档位为 2 ms, 电压档位 5 V。从图中可以看出四通道的输出电压比两通道噪声大, 说明各通道间是存在干扰的, 这可能是因为各线圈之间存在互感, 影响了各通道的选频网络, 使得各通道的接收线圈耦合的不仅是各自对应的载波频率的单一高频信号, 同时会接收一定程度的其他通道的发射信号, 结果就会出现上图所示的噪声现象。但在要求不是很高的情况下这些干扰相对于信号本身可以忽略, 另外可以通过合理分配各通道的载波频率, 并优化设置发射线圈和接收线圈, 来提高选频网络的选频特性, 抑制其他通道的干扰^[13]。



注: 示波器电压幅值档在 5 V, D 为 4 mm, 负载 R 为 10 k Ω

图 7 通道 1、2 实际输出波形

4 结束语

线圈与不同电容组合谐振可实现对不同频率波形的接收放大, 因此采用微线圈阵列来实现多通道的方法是可行的, 设计的装置各通道间信号并行传输、相互独立, 并可在体外设计各自的控制信号, 比体内使用微处理器方便可靠。信号间的传输是并行的, 可以同时对人体内多个部位进行刺激, 并任意设计各自的刺激信号, 适用不同的刺激要求。另一方面, 体内的接收电路简单, 无需体外供电, 减少了能耗以及器件发热对人体组织的损伤, 可以极大的改进植入系统。实验中采用 PCB 与 FPC 工艺加工的线圈不仅尺寸能达到植入水平而且加工周期短, 成本低, 并可以将接收电路集成到一块芯片上, 有着较大的发展空间。由于目前采用的是自己设计的甲丙类功率放大器, 其电路本身的功率放大倍数限制了信号的发射功率, 因此可以通过改善功率放大器来提高发射功率, 以得到更大的输出信号。

参考文献:

- [1] 郑小林, 牟宗霞, 侯文生, 等. 基于微线圈阵列的多道神经电刺激信号透皮传输的初步实验研究[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(5): 1110-1116.
ZHENG XIAO-LIN, MOU ZONG-XIA, HOU WEN-SHENG, et al. Pilot study on microcoil-array-based multichannel transcutaneous transmission of neural electrical stimulation[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(5): 1110-1116.
- [2] WANG G X, LIU W T, SIVAPRAKASAM M, et al. A dual band wireless power and data telemetry for retinal prosthesis [C] // The 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and