

实现人身和机器人交流的神经振荡子控制算法

吴德明^{1†}, 谢光辉^{1,2}, 王光建²

(1. 重庆电子工程职业学院, 重庆 401331; 2. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 为实现人身和机器人交流时的运动同步, 首先提出了一类非线性多关节神经振荡子运动控制算法, 其输入为机器人和人相互作用所产生的关节扭矩信号, 输出为机器人关节期望角度; 然后对具有代表性的二关节神经振荡子控制算法中各参数的耦合特性进行了分析; 最后, 基于7自由度机器人臂平台对该神经振荡子控制算法的有效性进行实验. 实验结果表明, 该控制算法能够实现人和机器人相互运动的同步, 通过调节神经振荡子的增益参数, 同步的程度能够被改变.

关键词: 神经振荡子; 人-机身体交流; 比例微分(PD)反馈控制; 运动同步; 算法

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A

Control algorithm of neural oscillator for physical human-robot interaction

WU De-ming^{1†}, XIE Guang-hui^{1,2}, WANG Guang-jian²

(1. Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China;

2. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To synchronize motions between the robot and human, we propose a control algorithm for physical human-robot interaction (pHRI), based on the multi-joint neural oscillator. The input of the algorithm is the joint-torque signal of pHRI, and its output is the expected-angle of the robot joint. Coupling characteristics are analyzed for representative two-joint neural oscillator. Based on the robot arm, experiment is implemented for human-robot handshaking by using this algorithm. The experiment results indicate the algorithm validity. The control algorithm can realize the synchronization of motions between robot and human. The strength of input-output synchronization can be varied by adjusting the gain parameters in the algorithm.

Key words: neural oscillator; pHRI; proportional differential (PD) feedback control; motion synchronization; algorithm

1 引言(Introduction)

针对机器人与人身体交流(physical human-robot interaction, pHRI)问题^[1], 一些研究者目前利用阻抗控制^[2-3]对其进行研究, 已取得一定成果, 但由于此方法在应用前需确定主控对象和被控对象, 而人与人之间自然交流不存在主控者和被控者, 比如握手. 所以, 该方法还难于实现机器人与人的身体自然交流.

另外, 生物学上的研究发现^[4-6], 人腿(人臂)的每个关节由中枢模式发生器控制, 其能通过中间神经元之间的相位互锁关系, 并通过自激振荡激发躯体相关部位的节律运动. 由于机器人的运动基本上与此类似, 故可根据中枢模式发生器的运行机理来建立适用于机器人运动的控制模型——人工神经元振荡器. 基于

此, 国外一些研究者对相互抑制神经元的特性进行分析并发现了其产生振动的条件^[7-8], 有的还将人工神经元应用于诸如机器人行走^[9]和其他有节奏的运动^[10]上, 以实现人与机器人的自然交流, 使各自的运动保持同步. 国内谢光辉等人^[11]亦对神经元振荡器进行了分析, 但涉及参数较少且只限于仿真阶段.

为进一步找到机器人与人实现身体自然交流的控制方法, 本文提出了一类非线性多关节神经振荡子算法, 并基于该算法构建了用于机器人和人实现自然身体交流的运动控制模型. 文中对该算法进行了参数耦合特性分析, 并通过实验对其有效性进行了验证.

2 控制模型(Control model)

为实现机器人与人的自然身体交流, 基于神经振

收稿日期: 2014-05-26; 录用日期: 2014-11-26.

[†]通信作者. E-mail: 1516712168@qq.com; Tel.: +86 23-65926118.

国家留学基金委项目(2007102654), 重庆市自然科学基金项目(2012jjA40028), 重庆市基础与前沿研究计划(2014jcyjA60002)资助.

Supported by China Scholarship Council (2007102654), Chongqing Science & Technology Commission (2012jjA40028) and Chongqing Basic and Frontier Research Project (2014jcyjA60002).

动子构建了如图1所示的人-机身体交流运动控制模型,其控制策略为:机器人与人相互交流所产生的扭矩 τ_m 由传感器检测,其经重力补偿^[12-13]后得到扭矩 τ_c 而被反馈到神经振荡子输入端.由于神经振荡子具有同步特性,其会输出与扭矩 τ_c 同步的关节期望位移 θ_d ,再通过PD反馈控制来驱动机器人关节转动,从而实现机器人和人之间运动的同步.同时,通过改变神经振荡子内部参数,可以调节运动同步的程度.

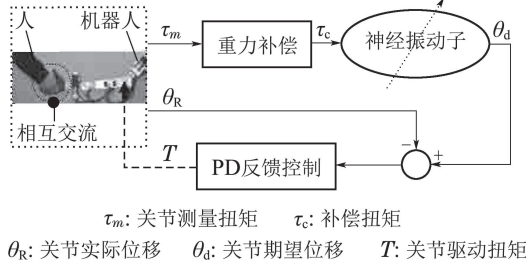


图1 人-机身体交流控制模型

Fig. 1 Control model for pMRI

2.1 神经振荡子(Neural oscillator)

Matsuoka^[8]根据中枢模式发生器的运行机理提出了如图2所示的神经元,其可产生周期性振动.

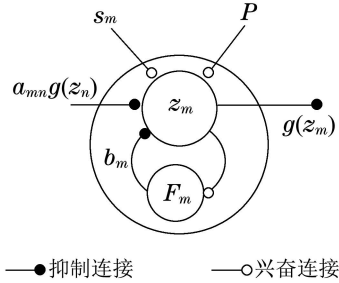


图2 神经元结构

Fig. 2 Structure of neuron

单个神经元的动力学微分方程如式(1)所示:

$$\begin{cases} T_u \frac{dz_m}{dt} + z_m = -\sum_{n \neq m} a_{mn} g(z_n) - b_m F_m + s_m + P, \\ T_f \frac{dF_m}{dt} + F_m = g(z_m), \\ g(z_m) = \max(0, z_m), \end{cases} \quad (1)$$

式中: $m = 1, 2, \dots$; $g(z_m)$ 为第 m 个神经元的输出; z_m 为第 m 个神经元的内部状态变量; F_m 和 b_m 分别为第 m 个神经元的疲劳强度变量和疲劳强度系数; s_m 为第 m 个神经元的稳态输入变量; a_{mn} 为第 n 个神经元对第 m 个神经元的连接权重系数; T_u 为信号上升时间常数; T_f 为疲劳或适应时间常数; P 为外部输入信号; 函数 $\max(0, z_m)$ 表示取0和 z_m 之间的最大值.

利用上述神经元,这里提出多关节神经振荡子算法,其由多个神经振荡子组成,每个神经振荡子由两个神经元相互连接组网而成并控制一个关节;同时,

每个神经振荡子有两个输入 P_1 和 P_2 (即第 m 关节的两个输入分别为 P_{1m} 和 P_{2m} ,它们来自于各关节的反馈扭矩 τ_{cm} , $m = 1, 2, \dots$). 式(2)示出了其微分方程:

$$\begin{cases} T_u \frac{dz_{mn}}{dt} + z_{mn} = \{ -\sum_{k \neq n} a_{mk} g(z_{mk}) - b_{mn} F_{mn} + s_{mn} + (-1)^{n-1} R_m [\sum_{l \neq m} (g(z_{l1}) - g(z_{l2}))] + (-1)^{n-1} P_1 + P_2 \}, \\ T_f \frac{dF_m}{dt} + F_{mn} = g(z_{mn}), \\ g(z_{mn}) = \max(0, z_{mn}). \end{cases} \quad (2)$$

对上面所设计的多关节神经振荡子算法,其具有无输入时的自振动特性,能产生机器人关节所需要的运动;同时,其又具备有输入时的输入输出同步特性,即:当机器人关节在某一时刻有扭矩信号 τ_{cm} ($m = 1, 2, \dots$)输入时,其会输出与输入信号在频率、振幅上保持同步的信号,该输出信号可作为机器人关节的期望位移 θ_d ;另外,该输入与输出信号的同步程度可由神经振荡子内部参数进行调节.利用这些特性,其可被用来控制机器人臂或腿各关节的运动,以实现与人的运动保持同步.

2.2 耦合特性(Coupling characteristics)

如式(1)-(2),多关节神经振荡子算法里有许多内、外部参数相互耦合,它们对神经振荡子的自振动特性和输入输出同步特性的影响各不相同,有必要进行详细分析.但由于分析相当繁锁且方法相同,故只对如图3所示的二关节神经振荡子进行讨论.

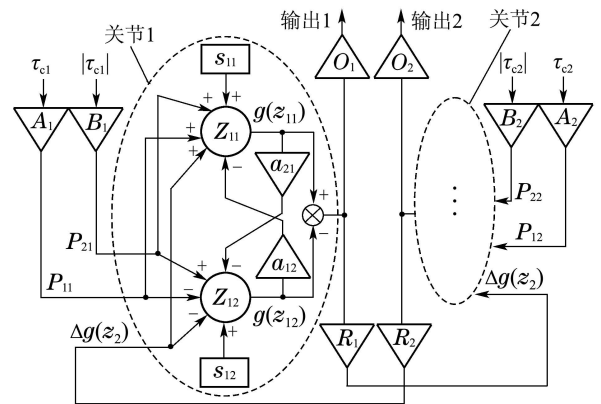


图3 二关节神经振荡子

Fig. 3 Two-joint neural oscillator

1) 自振动特性.

不失一般性,只对关节1进行自振动特性分析.分析时,取各内部参数基本值分别为: $a_{12} = a_{21} = 1.2$, $b_{11} = b_{12} = 2.5$, $s_{11} = s_{12} = 2.0$, $T_u = 0.2$, $T_f = 2$.同时,取各状态变量的初始值分别为: $z_{11}(0) = 3.0$, $F_{11}(0) = 1.0$; $z_{12}(0) = 2.0$, $F_{12}(0) = 2.0$.各参数对

振荡子自振动特性的影响如下(对某个参数进行影响分析时, 其他参数保持基本值不变):

① 参数 a_{mk} 对输出的影响. 图4示出了当参数 a_{mk} 变化时神经振荡子输出信号的影响情况: 当 a_{mk} 取值由小变大时, 振荡子输出的信号频率逐渐变低. 同时, 当参数 a_{mk} 取值小于1.0时, 振荡子不起振, 而取值大于等于1.0时, 振荡子逐渐起振. 图中 θ 为角度信号.

② 参数 b_{mn} 对输出的影响. 由图5可看到: 当参数 b_{mn} 的取值由小到大变化时, 其输出信号振幅逐渐变小, 而频率逐渐变高.

③ 参数 s_{mn} 对输出的影响. 图6示出了参数 s_{mn} 对振荡子输出影响, 即: 当参数 s_{mn} 的取值由小到大变化时, 其输出信号的振幅逐渐变大, 而频率保持不变.

④ 参数 T_u 、 T_f 对输出的影响. 图7示出了参数 T_u 和 T_f 变化时对神经振荡子输出信号的影响, 即: A) 当 T_f 固定, 而 T_u 取值由大到小变化时, 从图7(a)和7(b)的比较可知, 其输出信号频率逐渐变高; B) 当 T_u 固定, T_f 取值由大到小变化时, 从图7(a)、图7(c)和7(d)可知, 振荡子振动波形的频率逐渐变高, 且振幅逐渐变小. 同时, 当 T_u/T_f 的比值大于1/10时, 振动波形变得紊乱, 最终收敛于零; C) 当 T_u/T_f 一定(这里设定为1/10)时, 而 T_u 取值由大到小变化时, 从子图7(a)和7(e)可知, 振荡子输出的振幅恒定, 而频率增高且与 T_u 成正比例地变化, 此特性将在第3节机器人和人握手实验中被用到, 即通过对参数 T_u 的设定来实现对机器人各关节振荡子初始振动频率的设定.

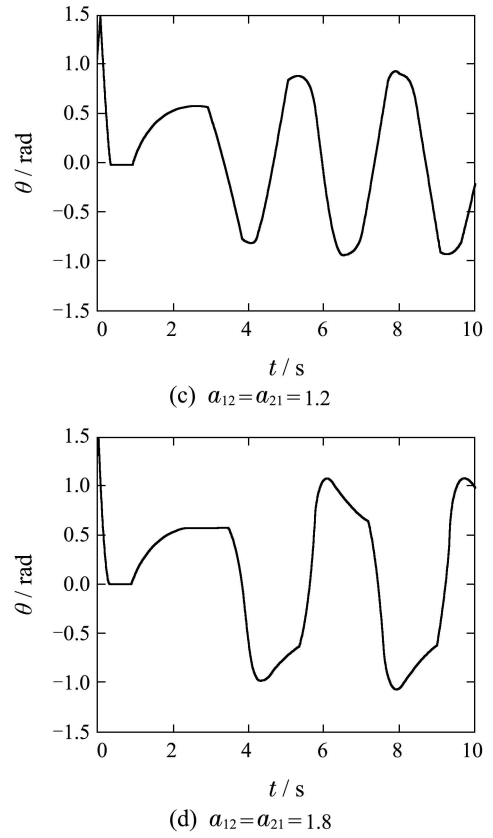
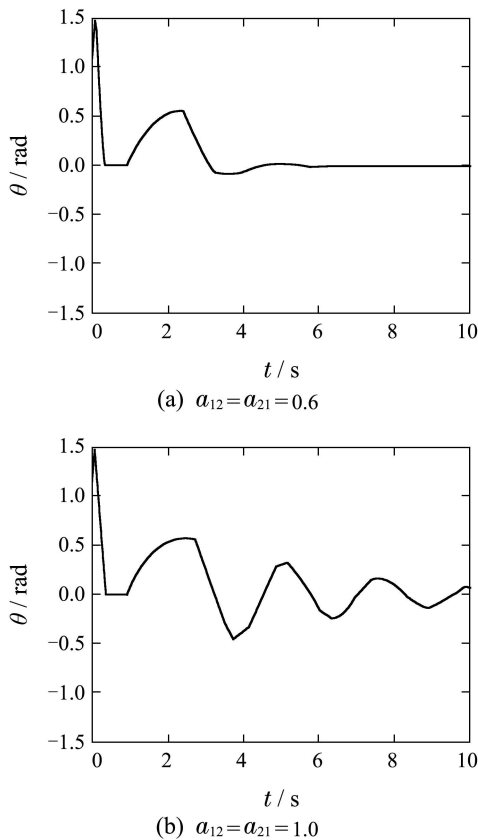


图4 a_{mk} 不同时神经振荡子输出

Fig. 4 Output of neural oscillator with different a_{mk}

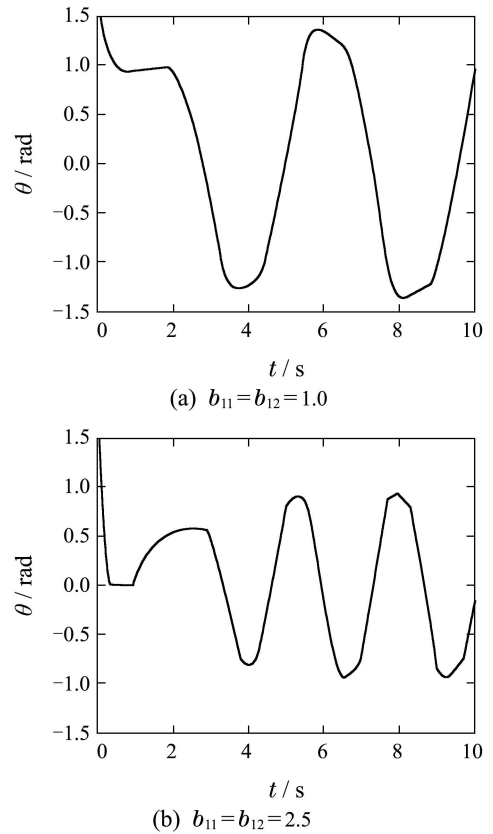
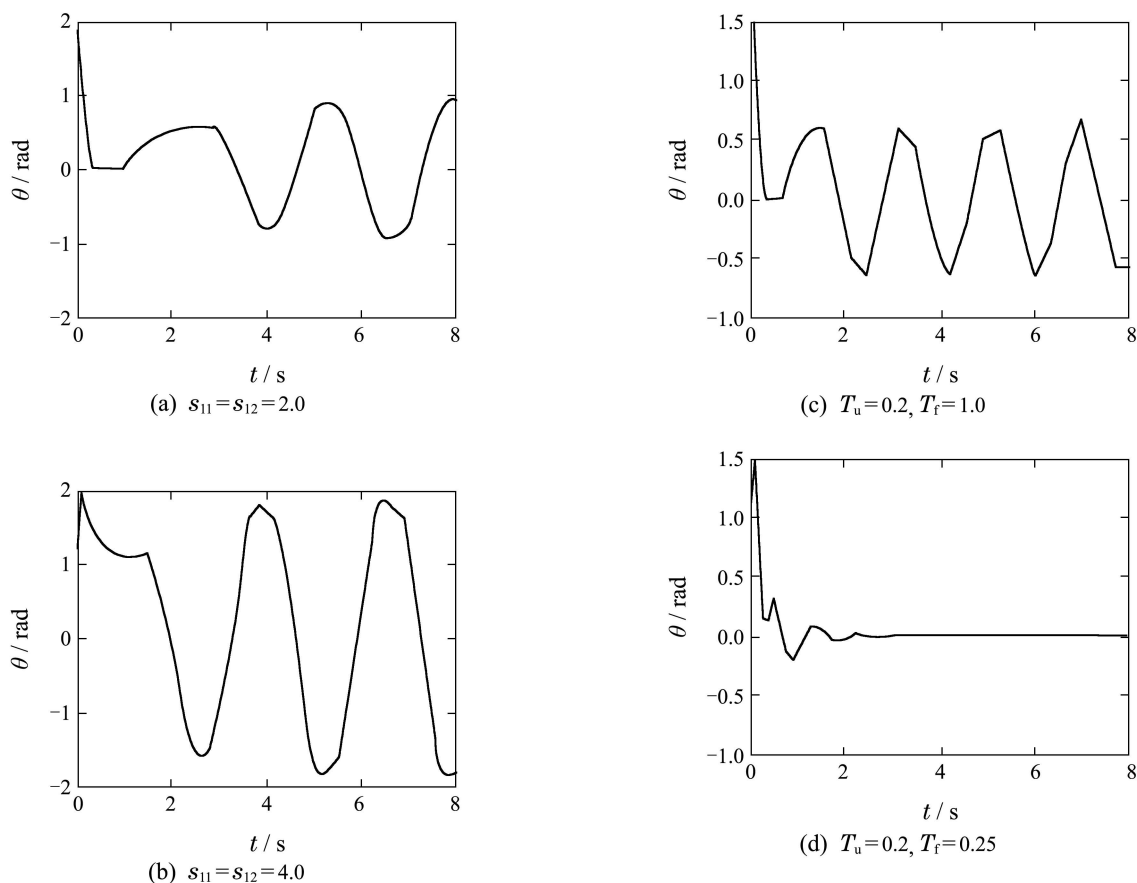
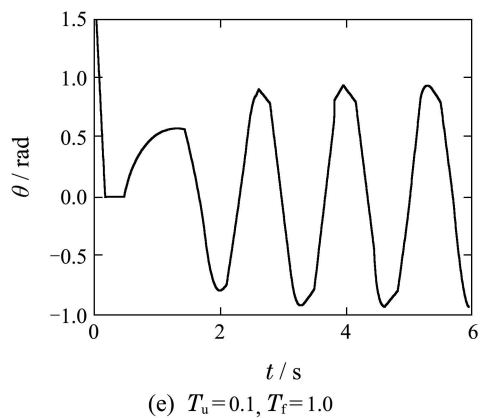
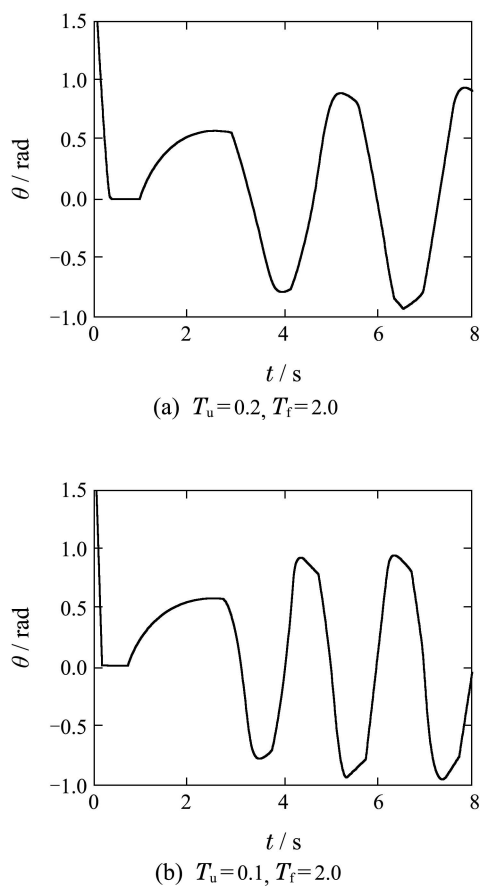


图5 b_{mn} 不同时神经振荡子输出

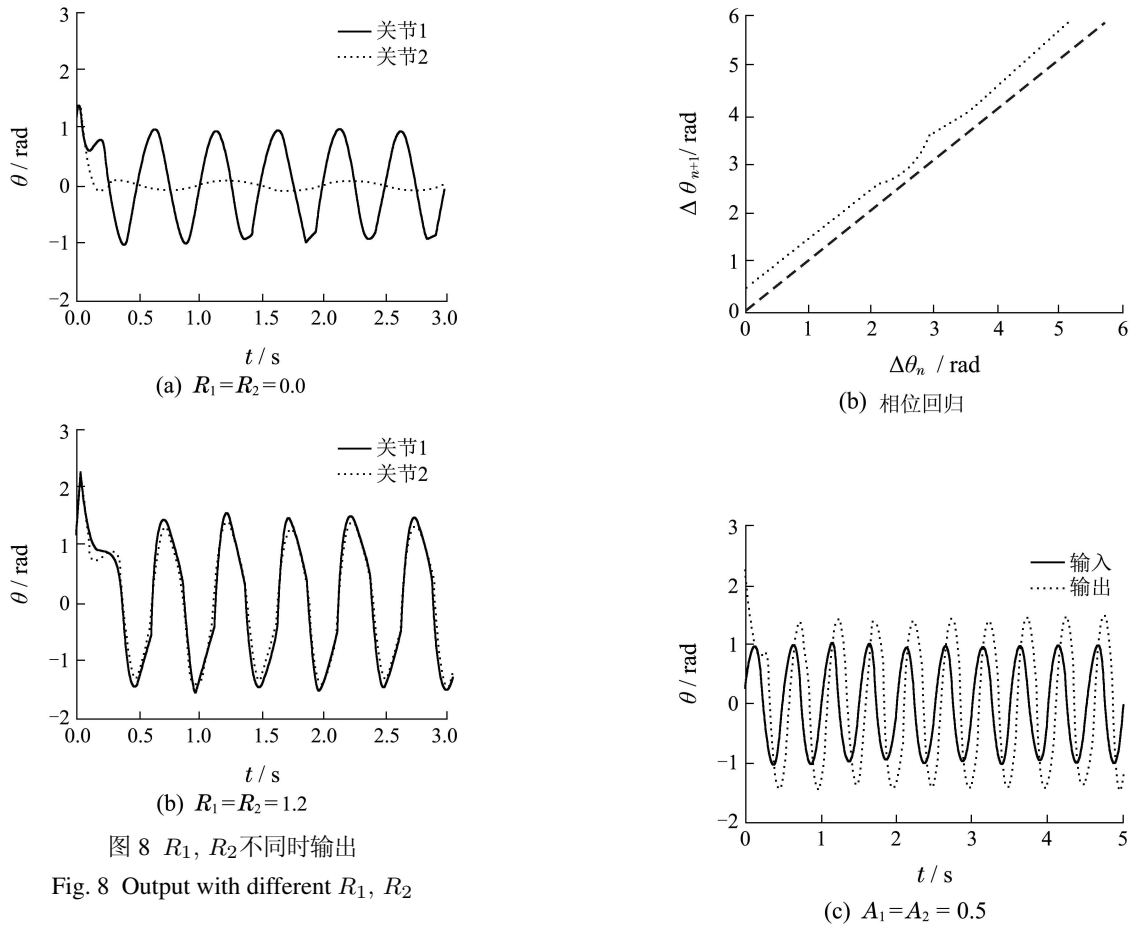
Fig. 5 Output of neural oscillator with different b_{mn}

图6 s_{mn} 不同时神经振荡子输出Fig. 6 Output of neural oscillator with different s_{mn} 图7 T_u 和 T_f 变化时神经振荡子输出Fig. 7 Output of neural oscillator with different T_u and T_f

2) 输入输出同步特性.

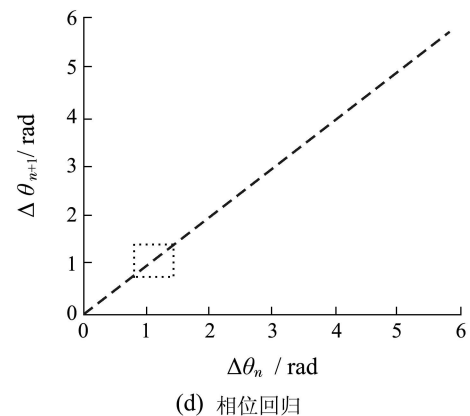
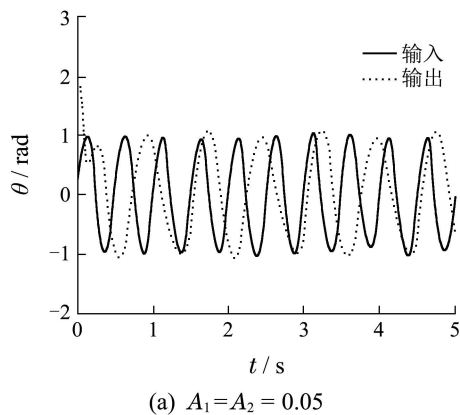
显然, 模型中 $[A_1, A_2]$, $[B_1, B_2]$ 和 $[R_1, R_2]$ 这3组外部参数, 其取值直接影响输入输出信号的同步性. 分析时取神经振荡子内部参数值分别为: $a_{mk} = 0.8$, $b_{mn} = 2.5$, $s_{mn} = 2.0$, $T_u = 0.1$, $T_f = 0.05$ 和 $O_1 = O_2 = 1.0$, 且各值保持不变. 各组外部参数对神经振荡子输入输出同步特性的影响如下:

① 参数 R_1, R_2 对同步的影响. 图8(a)和图8(b)分别表示在关节1和2各为 $2 \times \sin(4\pi t)$ 和 $0.2 \times \sin(2\pi t)$ 的输入条件下, 当 $R_1, R_2 = 0$ 和 $R_1, R_2 = 1.2$ 时两关节的输出关系, 从中可以得到后者的各关节输出频率同步, 而前者则不然, 这表明参数 $R_{1,2}$ 的作用是同步两关节.

图8 R_1, R_2 不同时输出Fig. 8 Output with different R_1, R_2

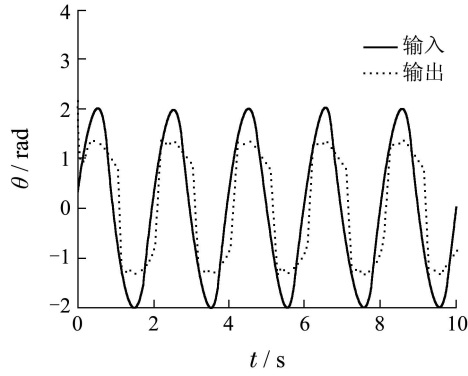
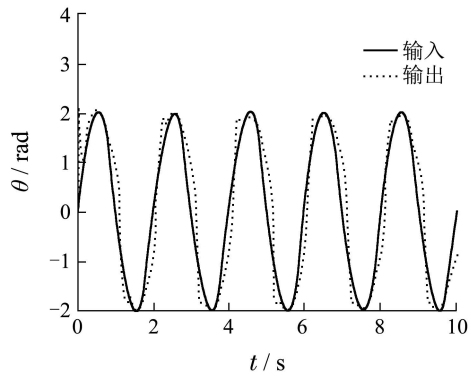
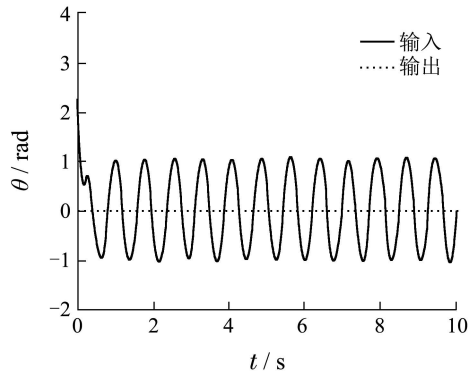
② 参数 A_1, A_2 对同步的影响. 当 $A_1 = A_2 = 0.5$ 时的输入输出位置跟踪关系如图9(c)所示, 其相位回归图 $\Delta\theta_{n+1} = f(\Delta\theta_n)$ 如图9(d)所示, 相位差所表示的点集中于较小范围内, 输入和输出在频率上基本同步; 相反, 从子图9(a)和图9(b)可以看出, 当 $A_1 = A_2 = 0.05$ 时, 相位差所表示的点分布在一斜线上, 可见输入和输出在频率上不同步(相位回归图涵义: $\Delta\theta_n$ 或 $\Delta\theta_{n+1}$ 分别表示两个信号之间在第 n 或第 $n+1$ 个振动时的相位差; 当 $\Delta\theta_{n+1}$ 与 $\Delta\theta_n$ 相等时, 说明两信号的相位差不变, 代表频率一致; 反之, 频率不一致).

以上结果表明参数 A_1, A_2 的大小决定输入输出信号同步的强度. 其值越大, 输入输出信号的频率越易同步, 反之则不然.

图9 A_1, A_2 对输入和输出的影响Fig. 9 Influence of A_1, A_2 on input and output

③ 参数 B_1, B_2 对同步的影响. 图10(a)和图10(b)分别表示输入为 $2\sin(0.5 \times 2\pi t)$ 、当 B_1, B_2 等于0.024和0.7时关节2的输入输出信号跟踪关系, 从中可以看到当参数 B_1, B_2 的值由小到大变化时, 输出信号的振幅逐渐增大, 从而与输入信号的振幅同步.

将图10(c)(输入为零时关节2的输出)与图10(a)比较可得出, 后者输出的振幅明显比前者的强得多. 这表明输入信号自身的增加会引起输出振幅的增加.

(a) $B_1 = B_2 = 0.024$ (b) $B_1 = B_2 = 0.7$ (c) $B_1 = B_2 = 0.024$, Input = 0图 10 B_1, B_2 对输入和输出的影响Fig. 10 Influence of B_1, B_2 on input and output

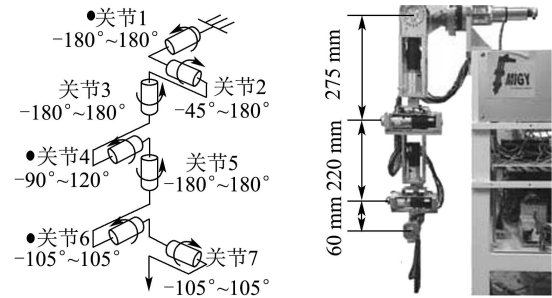
3 实验与分析(Experiment and analysis)

3.1 实验方法(Experiment method)

为验证所提出的多关节神经振动子控制算法的有效性,采用7自由度机器人臂^[14-15]进行握手交流实验,其各关节位置示意如图11(a)所示,每个关节都配置有检测关节扭矩的扭矩传感器和检测关节角度的旋转编码器。其中,关节1,4和6分别为肩、肘和腕关节(图中以小黑点作为标记)。图11(b)表示了该机器人臂的外形及上臂和前臂的长度。

实验时,机器人臂肩和肘关节皆用第2.1节所提出的多关节神经振动子来控制。人与机器人握手时所产生的关节扭矩信号被扭矩传感器检测出来并经重力补偿处理后作为神经振动子的输入信号,从而输出关

节的期望角度。而后,通过PD控制来实现实际旋转角度与此期望角度的跟随。为避免其他关节运动对验证结果的影响,实验中将关节2,3,5和7固定。



(a) 关节位置示意图

(b) 机器人臂外形

图 11 机器人臂

Fig. 11 Robot arm

其次,机器人臂必须知道在什么时刻已开始握手,这需由附加在机器人手臂上的外力来决定,即需要判断附加在手臂上的力。由文献[12-13]可知,虽然机器人臂经重力补偿后各关节扭矩计算值与实测值基本上是一致的,但也存在着一定误差。据此,实验中可计算出各关节扭矩误差平均值 M_k 和标准偏差 σ_k ,从而算出 $|M_k| + 3\sigma_k$ 。外力判断方法如下:

假设握手实验时所检测的各关节扭矩值与仅由重力引起的扭矩值之差如式(3)所示:

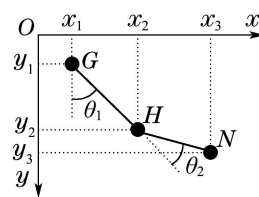
$$\tau_k^e = \tau_k - \tau'_k, \quad k = 1, 4, 6, \quad (3)$$

这里 k 表示关节号。当 τ_k^e 满足下列条件时,就可以认为机器人手臂已加上了外力:

$$\tau_k^e \geq |M_k| + 3\sigma_k. \quad (4)$$

另外,为与机器人臂各关节实际转角进行比较,实验时采用CCD摄相机来测量人臂的肩、肘关节角度。图12示出了关节角度测量原理及实验场景,点 G, H 和 N 分别表示肩、肘和腕关节的计测标记点。由于本文对所提出控制算法只作运动同步有效性的定性研究,故将适当直径大小的圆形黑布粘帖于各关节处作为计测标记点即可。这样,通过测量各标记点的坐标,并根据式(5)可得肩和肘关节的转动角度:

$$\begin{cases} \theta_1 = \text{atan2}(y_2 - y_1, x_2 - x_1), \\ \theta_2 = \text{atan2}(y_3 - y_2, x_3 - x_2) - \theta_1. \end{cases} \quad (5)$$



(a) 人臂关节角度测量原理图



(b) 实验场景

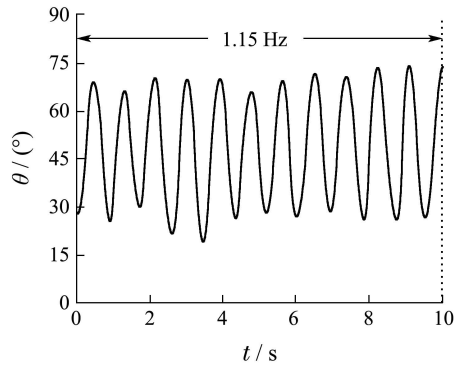
图 12 人臂关节角度测量原理及实验场景

Fig. 12 Measure of joint angle and overview of experiment

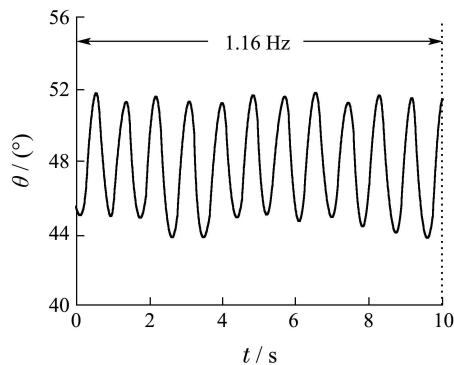
3.2 实验结果分析(Results and analysis)

根据第2.2节所描述的神经元振动子的自振动特性规律④中的C)性质, 实验前将机器人臂各关节的输出频率调整为1.3 Hz. 图13和图14分别表示当 $A = 0.1$ 和 $A = 0.04$ 时的机器人和人肘关节的同步情况. 从图13(a)和13(b)可看到, 当 $A = 0.1$ 时机器人的运动频率从原始的1.3 Hz被攫到1.16 Hz, 其与人的运动频率(1.15 Hz)产生了同步, 且机器人臂转角的相位与人臂的相位基本上一致, 即相位差大约在0 rad附近, 这时机器人处于较积极握手的状态.

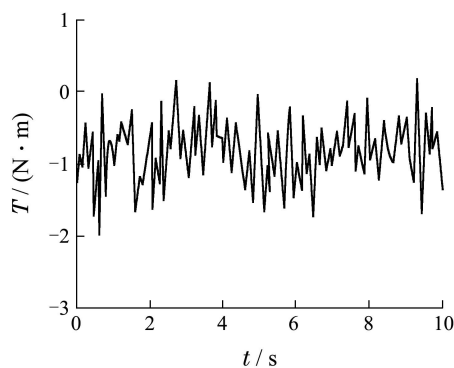
另外, 从图14可知, 当 $A = 0.04$ 时机器人和人的运动虽然在1.6 Hz左右亦产生了同步, 但机器人转角的相位相对于人臂来说存在一定的相位差, 大约滞后0.35 rad. 同时, 由图13(c)与14(c)的比较还可知, 机器人关节在 $A = 0.1$ 时的扭矩明显小于在 $A = 0.04$ 时的扭矩, 即: 人与机器人握手在 $A = 0.1$ 时相比 $A = 0.04$ 时要轻松一些.



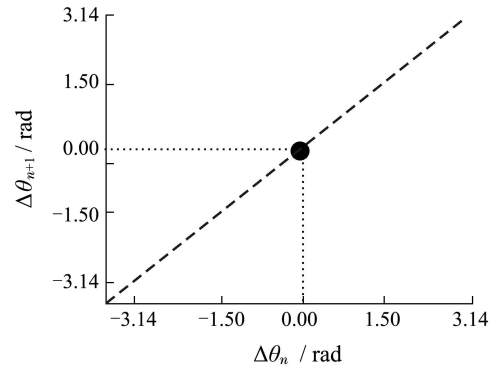
(a) 人臂肘关节角度



(b) 机器人臂肘关节角度



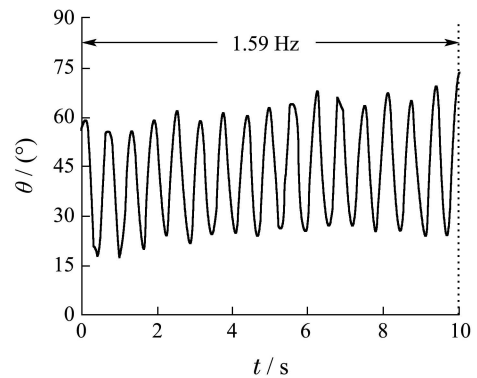
(c) 机器人臂肘关节扭矩



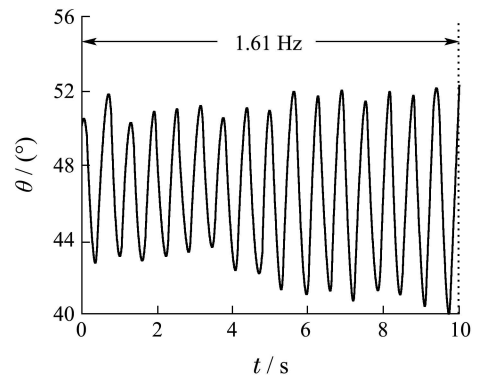
(d) 肘关节角度相位回归图

图13 $A = 0.1$ 时握手结果

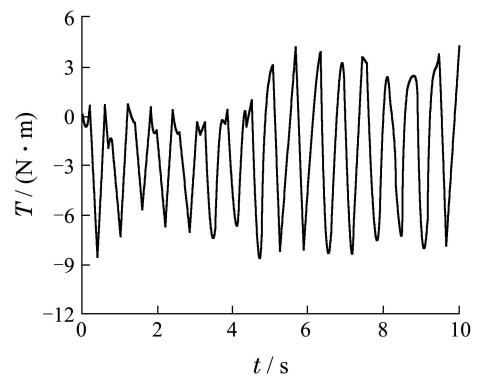
Fig. 13 Result of handshaking with $A = 0.1$



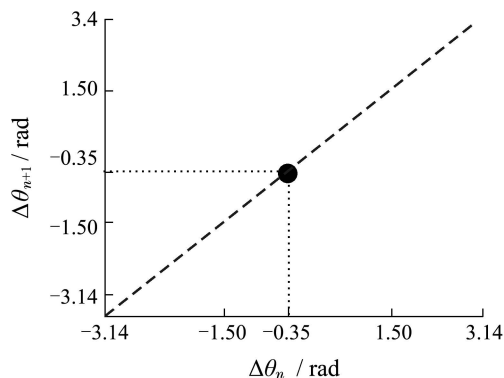
(a) 人臂肘关节角度



(b) 机器人臂肘关节角度



(c) 机器人臂肘关节扭矩



(d) 肘关节角度相位回归图

图 14 $A = 0.04$ 时握手结果Fig. 14 Result of handshaking with $A = 0.04$

从以上结果可以得出,通过所提出的二关节神经振荡子算法,机器人和人在握手时取得了运动的同步;同时,通过调节增益 A 的值,同步的程度能被改变,即当 A 取值较大时,机器人和人握手运动的同步程度较高,机器人处于积极握手状态,人感觉较轻松.相反,当其取值较小时,输入输出同步程度较低,机器人处于被动握手状态,人感觉较不轻松.

4 结论(Conclusions)

1) 提出了一类非线性多关节神经振荡子算法,并基于该算法构建了用于人和机器人实现自然身体交流的运动控制模型.通过对所提出算法的参数耦合分析,发现其具备无输入时的自振动特性和有输入时的输入输出同步特性.

2) 通过机器人和人握手实验对该算法有效性进行了验证.实验结果表明,所提出的算法能实现机器人和人握手运动的同步,亦表明其对周期性运动实现同步的有效性.同时,通过参数调节,可以改变人-机相互运动的同步程度,从而实现机器人握手的被动性.此方法的有效性还可用于诸如跳舞、上下肢助力和康复训练等具有周期性相互交流的运动,具有较大的重要意义.

致谢 感谢日本信州大学桥本稔教授对本研究工作提出的宝贵意见.

参考文献(References):

- [1] The European Commission. *Physical human-robot interaction: dependability and safety* [OL]. <http://www.phriends.eu>. [2009-09-30].
- [2] IKEURA R, INOOKA H. Variable impedance control of a robot for cooperation with a human [C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 1995: 3097 – 3102.
- [3] HIRATA Y, TAKAGI T, KOSUGE K. Motion control of multiple DR Helpers transporting a single object in cooperation with a human based on map information [C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 995 – 1000.

national Conference on Robotics and Automation. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002: 995 – 1000.

- [4] NISHII J. Legged insects select the optimal locomotor pattern based on the energetic cost [J]. *Biological Cybernetics*, 2000, 83(5): 435 – 442.
- [5] MARDER E, BUCHER D. Central pattern generators and the control of rhythmic movements [J]. *Current Biology*, 2001, 11(23): 986 – 996.
- [6] 张益军, 朱庆保, 田恩刚. 实现CPG模型的细胞神经网络的分支分析方法 [J]. 控制理论与应用, 2006, 23(3): 362 – 366.
(ZHANG Yijun, ZHU Qingbao, TIAN Engang. Method of bifurcation analysis of cellular neural network for CPG models [J]. *Control Theory & Applications*, 2006, 23(3): 362 – 366.)
- [7] WILSON H R, COWAN J D. Excitatory and inhibitory interactions in localized populations of model neurons [J]. *Biophysical Journal*, 1972, 12(1): 1 – 24.
- [8] MATSUOKA K. Mechanisms of frequency and pattern control in the neural rhythm generators [J]. *Biological Cybernetics*, 1987, 56(5): 345 – 353.
- [9] KOTOSAKA S, SCHAAL S. A model of the neuro-musculo-skeletal system for human locomotion [J]. *Biological Cybernetics*, 1995, 73(2): 113 – 121.
- [10] TAGA G. Synchronized robot motion by neural oscillators [J]. *Journal of the Robotics Society of Japan*, 2001, 19(1): 116 – 123.
- [11] 谢光辉, 梁锡昌, 桥本稔, 等. 基于同步控制的人和机器人握手动力学仿真 [J]. 机器人, 2008, 30(5): 428 – 434.
(XIE Guanghui, LIANG Xichang, HASHIMOTO M, et al. Dynamics simulation of human-robot handshaking based on synchrocontrol [J]. *Robot*, 2008, 30(5): 428 – 434.)
- [12] 唐新星, 侯敬巍, 倪涛, 等. 在线重力补偿下工程机器人自主作业轨迹跟踪性能分析 [J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 30 – 35.
(TANG Xinxing, HOU Jingwei, NI Tao, et al. Analysis on autonomous task trajectory tracking performance of construction robot with online gravity compensation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(3): 30 – 35.)
- [13] 谢光辉, 张进春. 一种仿人机器人臂的重力补偿研究 [J]. 机械传动, 2010, 34(7): 26 – 28.
(XIE Guanghui, ZHANG Jinchun. Experimental research on gravity compensation for humanoid robot arm [J]. *Journal of Mechanical Transmission*, 2010, 34(7): 26 – 28.)
- [14] HASHIMOTO M, HATTORI T, HORIUCHI M, et al. Development of a torque sensing robot arm for interactive communication [C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication*. Berlin, German: IEEE, 2002: 344 – 349.
- [15] HASHIMOTO M, KASUGA T, HORIUCHI M. Development of joint torque sensing robot arm for human-robot physical interactions [C] // *Proceedings of the 6th Japan-France and the 4th Asia-Europe Mechatronics Congress*. Tokyo Denki University, Saitama, Japan: JFMC, 2003: 163 – 168.

作者简介:

吴德明 (1963–), 男, 副教授, 目前研究方向为机器人技术及自动控制, E-mail: 1516712168@qq.com;

谢光辉 (1973–), 男, 博士, 副教授, 目前研究方向为机器人智能控制, E-mail: 552372653@qq.com;

王光建 (1973–), 男, 博士, 研究员, 目前研究方向为精密机械及CAD/CAM, E-mail: 284711725@qq.com.