

中医按摩机器人双臂推拿过程的避碰控制^①

曹端江, 刘存根, 鲁守银, 吕 晓, 陈 泽

(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

摘 要: 讨论了中医按摩机器人的双臂协调运动控制问题. 根据机械臂的结构特点, 将空间避碰问题转化为平面内的避碰问题, 对按摩机器人双臂推拿过程中可能发生的碰撞情况进行了分析. 利用平面几何方法, 对机器人双臂协调推拿过程进行了避碰规划, 设计出一套双臂协调运动控制策略. 利用 MATLAB 对双臂的避碰情况进行了运动学仿真, 仿真结果表明本文中设计的方法可以有效的实现双臂在推拿过程中的协调运动.

关键词: 中医按摩机器人; 双臂协调; 避碰; 平面几何

Control of Collision Avoidance in Progress of Dual-Arm Manipulation by Chinese Massage Robot

CAO Duan-Jiang, LIU Cun-Gen, LU Shou-Yin, LV Xiao, CHEN Ze

(School of Information and Electrical Engineering Shandong Jianzhu University Jinan 250101, China)

Abstract: Control of dual-arm coordinated motion of Chinese massage robot was discussed in this paper. According to the structural characteristics of the manipulators, the problem of collision avoidance in three-dimensional space was transformed into one in the relevant plane. With the method of plane geometry, a collision avoidance strategy was designed. Kinematic process of collision avoidance of the two arms was simulated by MATLAB. The results showed that the method designed in the paper was effective for coordinated movement between the two arms.

Key words: Chinese massage robot; dual-arm coordination; collision avoidance; plane geometry

随着中医按摩治疗^[1,2]在我国伤科治疗中有着悠久的历史, 但目前各大医院的临床治疗仍由有经验的按摩师人工进行, 一个疗程下来, 付出的体力非常巨大; 针对当前的社会人口结构老龄化日益严重, 医疗保健资源相对短缺等现实问题, 山东建筑大学机器人研究所综合多种相关技术, 研制出一种可以实现多种空间按摩手法的龙门式结构的中医按摩机器人^[3,4]. 它能够根据患者的病情及身体体征, 利用系统所提供的专家系统, 给出相应的治疗方案; 通过示教的方式采集患者的穴位信息, 然后进行掌揉、掌按、掌推、捏拿、指柔、震动、热敷等多种按摩手法. 中医按摩机器人的成功研制, 将中医按摩保健治疗这一古老而又具有意义的工作, 变为由机器人来执行.

在给患者进行康复治疗时, 很多时候两只手是需要同时动作的, 有时甚至需要两只手配合完成某些推拿动作. 这样, 两只机械臂将有可能发生碰撞. 为使

按摩双臂能够协调动作, 设计出一种双臂避碰算法是十分重要的.

关于避碰规划^[5,6], 国内外学者已经探索出了很多有效的求解方法. 这些方法大都是由几何法、单元分解法、人工势场法和数学分析方法等基本方法引申出来的. 从相关文献[6]上来看, 应用最多的是基于 C 空间的自由空间法和基于直角坐标空间的人工势场法. 这些方法都有各自的适用范围, 常常结合起来以共同完成避碰规划.

本文充分考虑按摩双臂的结构特点及运动特征, 运用平面几何的方法, 做出避碰规划, 实现了双臂的协调动作.

1 按摩双臂的避碰控制算法设计

1.1 双臂推拿过程的运动分析

中医按摩机器人可以根据患者的身体体征及健康

^① 基金项目: 国家 863 计划项目(2008AA040206, 2010AA040201)

收稿时间: 2012-10-16; 收到修改稿时间: 2012-11-24

状况,利用系统自带的专家系统^[7]给出按摩方案,随后通过示教系统记录下患者需要被按摩穴位的位置,最后,按摩机器人可以对患者进行相应的按摩,以达到治疗疾病,康复身体的目的。

由于按摩双臂具有交叉按摩区域,故而双臂在相近区域同时按摩时,尤其是患者身体比较瘦小,而运动幅度又比较大时,则可能发生碰撞。另外,系统发生误动的情况下,也可能发生碰撞。

不同的按摩手法,碰撞的形式也不同。当采用指揉、指按、掌按等手法时,碰撞一般发生在按摩穴位的定位时,而按摩过程中一般不会发生碰撞;掌揉、掌推手法在定位和执行按摩时都可能发生碰撞,掌揉手法,只是相对于按摩穴位做小幅度的旋转运动,两臂位置相对固定;掌推手法,则分为同向,反向,交叉推拿等,其中同向碰撞,只发生在穴位定位时,而交叉和反向推拿则由于运动空间大,按摩双臂的避碰相对难以实现。

不失一般性,本文将针对诸多推拿手法中的一种,按摩双臂对人体背部的某些穴位进行反向掌推时可能发生的碰撞情况进行分析,并研究其避碰策略。中医按摩机器人机械臂的结构示意图如图 1 所示。

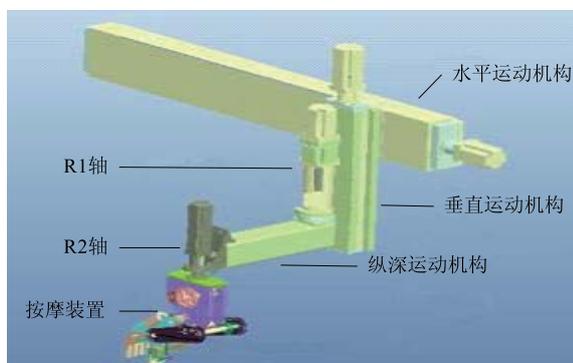


图 1 按摩机器人机械臂的结构示意图

1.2 按摩机器人掌推手法的简单介绍

研究双臂在掌推时的协调控制,有必要了解掌推手法的实现^[7]。首先,手掌姿态调整到位,并设定掌推速度、力度和次数,然后,机械臂下移,直至力传感器值达到设定力度,机械手停止下降,沿水平轴正方向移动,判断正方向是否到位,若没有到位,则继续沿正方向移动,如果正方向到位,则停止正方向移动,机械臂上升 50mm 后,沿水平轴负方向移动到位,判断是否完成掌推次数,未完成,则继续,完成,则机械手上升 150mm,同时手掌复位。

1.3 按摩机器人双臂推拿过程避碰方法的设计

1.3.1 双臂推拿过程的避碰规划算法设计

经过分析,就按摩机器人双臂在推拿过程中的运动问题,设计出一套可以避免双臂碰撞的方法,避碰^[8]的整个过程可分为 3 步进行:(1)当按摩双手即将发生碰撞时,两只手停止运动,右手上升 50mm,其手臂的 R_1 轴由现在的 θ_{11} 逆时针旋转到略大于 θ_{12} 的角度,然后左手继续原先的按摩路线进行按摩,可放慢速度,直至其手部与右手先前的位置重合,停止运动;(2)左手上升 50mm,其手臂的 R_1 轴由现在的 θ_{21} 顺时针旋转到略大于 θ_{22} 的角度,这时两手处于刚刚错开的位置;随后右手沿刚才的旋转路线返回其初始位置,然后停止运动;(3)右手下降直至达到设定力度,继续最初的按摩路线,继续向前按摩,可放慢速度,直至与左手的最初位置重合,停止运动,左手沿刚才的旋转路线原路返回并下降至设定力度,这样,按摩双臂就在无碰撞的情况下实现了位置的对换,然后可继续各自未完成的按摩流程。

1.3.2 双臂推拿过程避碰方法的具体计算

在推拿过程中,如果按摩时双臂距离过近,则将发生碰撞。具体到掌推的过程中,发现可能发生碰撞的是机械臂 R_2 轴及其下方连结的按摩手部分。

基于两机械臂的结构和运动特点,可以把空间碰撞问题转化到同一个平面内进行分析;为了简化计算,将可能发生碰撞的部分在 ZOX 平面上的投影简化为如下,其结构参数如图 2 所示:

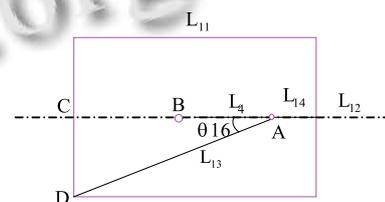


图 2 碰撞部分在 ZOX 平面投影简化图

在图 2 中, L_{11} 为整个投影的长, L_{12} 为宽, L_{13} 为 R_2 轴线据 D 点的距离, A 点位于 R_2 轴线的位置, B 点为掌跟中心的位置, C 点为整个投影前端纵向的中点。

为系统建立如下坐标系,其平面结构分析图如图 3 所示。

如果两穴位 X 轴方向的距离小于投影部分的宽度,则肯定会发生碰撞。根据确定的推拿路线,以及推拿手法的设置包括速度,加速度,起始位置,按摩路线

等信息, 可以通过几何分析及逆解运算, 计算出将要发生碰撞时两手正在按摩位置的坐标, 两水平轴各自的位移, 及大臂的旋转角度. 即可得到如下几点的坐标值 $P_1(Z_{11}, 0)$, $P_2(Z_{21}, R_0)$, $P_3(Z_{31}, R_0)$ 和两个大臂在即将发生碰撞的角 θ_{11} 、 θ_{21} . 以上几点坐标值和机械臂的机械臂某些关节的变量有如下关系 $Z_{11}=d_1$; $Z_{21}=1000-d_2$; $Z_{31}=Z_{21}-L_{11}$. 为方便标识, 将图 3 中投影部分放大, 其左半部分的几何分析图如图 4 所示.

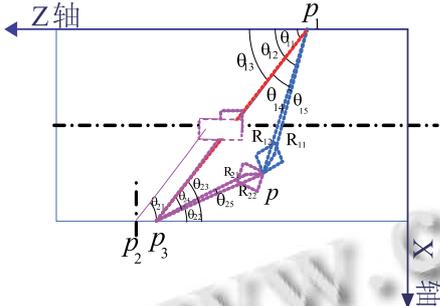


图 3 避碰过程几何分析图

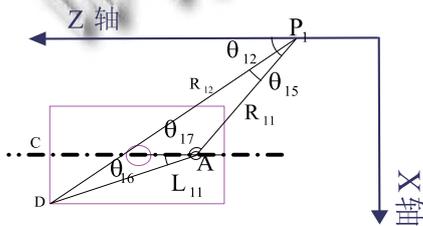


图 4 投影部分放大的几何分析图

在所设计的避碰算法中, 只要在第二步中, R_{11} 和 R_{21} 两轴旋转到位的过程中两臂不发生碰撞, 则在整个过程中都不会发生碰撞. 经过分析发现, 两臂最可能发生碰撞的是图 2 中所示投影部分的 D 点. 只要保证在两臂旋转过程中, 左臂的 D 点和右臂的 D 点不发生碰撞即可.

在投影图 2 中, 由三角形 ACD 中可知:

$$\theta_{26} = \theta_{16} = \arctg\left(\frac{1/2 * L_{12}}{L_{11} - L_{14}}\right)$$

R_2 轴中心线与投影上离 R_1 轴中心线最远距离的 D 点的长度:

$$L_{23} = L_{13} = \sqrt{\left(\frac{L_{12}}{2}\right)^2 + (L_{11} - L_{14})^2}$$

在图 4 中, $\angle P_1AD$:

$$\theta_{17} = 180^\circ - \theta_{11} + \theta_{16}$$

$$\theta_{27} = 180^\circ - \theta_{21} + \theta_{26}$$

线段 P_1D :

$$R_{12} = \sqrt{L_3^2 + L_{13}^2 - 2 * L_3 * L_{13} * \cos\theta_{17}}$$

$$R_{22} = \sqrt{L_3^2 + L_{23}^2 - 2 * L_3 * L_{23} * \cos\theta_{27}}$$

$\angle DP_1A$:

$$\theta_{15} = \arccos\left(\frac{R_{12}^2 + L_3^2 - L_{13}^2}{2 * R_{12} * L_3}\right)$$

$$\theta_{25} = \arccos\left(\frac{R_{22}^2 + L_3^2 - L_{23}^2}{2 * R_{22} * L_3}\right)$$

在图 3 中, $\angle P_3P_1P$:

$$\theta_{14} = \arccos\left(\frac{P_{13}^2 + R_{12}^2 - R_{22}^2}{2 * P_{13} * R_{12}}\right)$$

$$\theta_{24} = \arccos\left(\frac{P_{13}^2 + R_{22}^2 - R_{12}^2}{2 * P_{13} * R_{12}}\right)$$

线段 P_1P_3 与 X 轴之间的夹角

$$\theta_{23} = \theta_{13} = \arccos\left(\frac{Z_{31} - Z_{11}}{P_{13}}\right)$$

由图 3 中容易看出

$$\theta_{12} = \theta_{13} + \theta_{14} + \theta_{15}$$

$$\theta_{22} = \theta_{23} - \theta_{24} + \theta_{25}$$

通过以上计算, 可以获得系统避碰所需要的两个角度 θ_{12} 和 θ_{22} .

2 双臂碰撞情况的 MATLAB 运动学仿真

已知按摩机器人水平行程为 1000mm, 大臂长度 (R_{11} 、 R_{21}) $L_3=400$ mm, 投影部分长 150mm, 宽 100mm, R_2 轴线距掌心距离 $L_4=60$ mm, R_2 轴据投影部分后端底线距离为 20mm, 在图中两水平轴线距离为 570mm. 当右手掌推路线为 $x=283$ mm, 左手掌推路线为 $x=370$ mm 时, 当右手按摩到点(400,283), 左手按摩到点(540,370)处将会发生碰撞, 这时, 由运动学逆解可得右手的 DH 参数 $d_1=57.1573$, $\theta_3=45^\circ$ 左手 DH 参数 $d_1=53.5898$, $\theta_3=30^\circ$. 由避碰算法可得避碰算法所需要的两个角度 $\theta_{12}=73.087^\circ$, $\theta_{22}=11.076^\circ$.

用 MTLAB 对整个过程的碰撞情况进行运动学仿真如图 5 所示.

由图 5 中可见, 当 R_{11} 轴旋转到 θ_{12} , R_{21} 轴旋转到 θ_{22} , 右臂的 R_{12} 所表示的投影部分的 D 点和左臂的 R_{22} 所表示的投影部分的 D 点正好相交于 P 点, 之后则开始分离. 可见, 两臂按文中所设计的避碰算法,

在整个运动过程中都不会发生碰撞。这样的避碰算法是有效的,可以很好的避免两只机械臂在对人体背部掌推时的碰撞,算法达到了预期的结果。

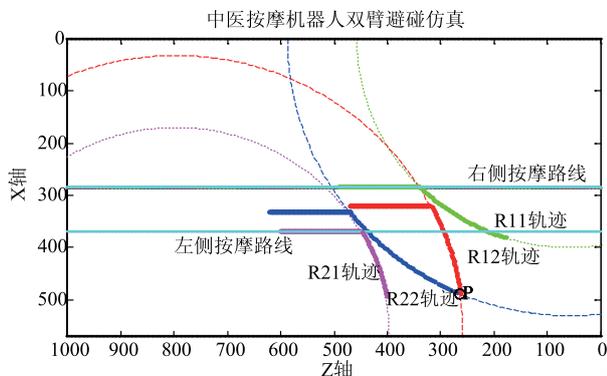


图5 按摩机器人双臂碰撞情况的运动学仿真

3 结论

本文中运用平面几何的方法设计的协调运动控制策略,可以有效的实现双臂在反向掌推时的避碰,简单,可靠,为其他按摩手法的避碰提供了思路,也可为研究其他系统的双臂避碰问题参考。

当然,中医按摩机器人双臂间的协调控制问题还有许多待研究之处,例如,可采用新的控制算法,通过动用更多的关节,更好的实现避碰。

参考文献

- 1 罗才贵,刘明军,陈立.实用中医推拿学[M].四川科学技术出版社,2004,06:3-5.
- 2 曹仁发.推拿功法与治病[M].上海:上海科学技术文献出版

社,1992,07:2-4.

- 3 周长伟,宋胜捷,于豪光,王伟生.一种新型串联按摩机器人的设计与实现.《机器人技术与应用》.2010,(6):36.
- 4 高焕兵,鲁守银,王涛,刘存根,康炳元,季远,毕鸿雁.中医按摩机器人研制与开发.机器人.2011,33(5):553-554.
- 5 肖南峰.智能机器人[M].华南理工大学出版社,2008,01:140-144.
- 6 黄献龙,梁斌,吴宏鑫.机器人避碰规划综述.航天控制,2002,(1):34-46.
- 7 谭林.中医按摩机器人的运动控制系统研究[D].山东:山东建筑大学,2011,06:41-42.
- 8 李恩,梁自泽,谭民.约束条件下的巡线机器人逆运动学求解.控制理论与应用.2006,23(1):43-44.
- 9 刘全,禹华刚,刘冰.基于几何分析的机械臂运动路径规划问题.2008,38(14):122-124.
- 10 陈峰,丁富强,赵锡芳.双臂机器人无碰撞运动规划.上海交通大学机器人研究所,机器人,2002,24(2):112-114.
- 11 Yong-Jin Liu,Zhan-Qing Chen,Kai Tang.Construction of Isocontours,Bisectors and Voronoi Diagrams on Triangulated Surfaces.IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.2011,33(8):1502-1517.
- 12 Nikolaus Vahrenkamp,Dmitry Berenson,Tamim Asfour,James Kuffner,Rüdiger Dillmann.Humanoid Motion Planning for Dual-Arm Manipulation and Re-Grasping Tasks.The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.2009:2464-2470.

(上接第24页)

4 结语

本文在介绍未来互联网发展的前提下,重点介绍了软件自定义网络的 OpenFlow 技术,并且利用其开源性,在 mininet 网络测试环境下,对其进行了验证和小型网络平台的搭建. OpenFlow 基于它的开源性以及可在编程性和虚拟化等方面具备较大的技术优势,在实现虚拟网络平台的搭建,研究未来网络及网络创新提供了方便.可以预见,在未来互联网研究的研究过程中,以 OpenFlow 为代表的交换创新技术将开启未来互联网的新时代。

参考文献

- 1 McKeown N, Anderson T, et al. OpenFlow: Enabling innovation in campus networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2008,38(2):69-74.
- 2 王丽君,刘永强,张健.基于 OpenFlow 的未来互联网试验技术研究.电信网技术,2011,8(6):1-4.
- 3 韦新军.OpenFlow 交换机模型及关键技术研究[硕士学位论文].长沙:国防科技大学,2008.
- 4 东南大学计算机科学与工程学院.互联网改革新军 OpenFlow 论坛.中国教育网络,2008,12:26-27.
- 5 贺鹏,洪涛,谢高岗,等.支持未来网络创新的可编程虚拟化路由器技术.中兴通讯技术,2011,17(2):5-6.