

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.01.002

体感交互式拟人手臂机器人

黄祖良¹, 邓琛^{1*}, 张琴舜², 丁大民¹, 王朝斌¹

(1. 上海工程技术大学 电子电气工程学院, 上海 201620; 2. 上海交通大学 核科学与工程学院, 上海 200240)

摘要:针对目前人体动作同步机器人造价高,使用过程繁琐,需要穿戴多种传感器设备等缺点,设计并研制了一种不需要穿戴传感器的人体手臂动作同步机器人。介绍了机器人的结构和系统组成,给出了 Kinect 读取和共享数据以及转换为机械臂可用数据的方法,设计 PID 结合 PWM 脉宽调速的控制驱动模块,完成了机械臂控制系统的软件。结果表明该人体动作同步机器人在未经培训的操作者指挥下,能够从不同初始位置完成人类肢体动作发出的指令,并且精度较高。这一研究可为无传感器肢体交互智能机器人研制提供参考。

关键词:拟人手臂;体感交互;Kinect 体感摄像头;PID 控制

中图分类号:TP274

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)01-0005-05

Humanoid Robot Arm of Somatosensory Interaction

HUANG Zuliang¹, DENG Chen^{1*}, ZHANG Qinshun², DING Damin¹, WANG Chaobin¹

(1. School of Electric and Electronic Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. School of Nuclear Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Due to some shortcomings of commercial passive robot used at present, such as high cost, complex steps to use, and the users have to wear lots of sensors, etc, a set of passive robot without wearing anything based on Kinect was proposed. The structure and composition of the robot system were introduced. The method to read and share man body data was developed. The theory composed by PID control and PWM was used in the robot system. The manipulator control system software was also put forward. The result shows that the robot can operate training command, complete the action of human, which do not have to accept the training or wear any sensors. and this research can provide reference for the development of intelligent robot without sensor.

Key words: anthropomorphic arm; somatosensory interaction; Kinect somatosensory camera; PID control

科幻电影《钢铁侠》中,钢铁侠将传感器戴在手腕上,做设定好的动作,钢铁盔甲便会执行相应的操作,靠的是传感器对动作的识别。而在现实生活中,可穿戴设备正在成为大众流行的电子配件,比如具有测血压功能的腕带、具有拍照和导航功能的谷歌眼镜等等。在机械臂领域,也有不少可模拟人体手臂动作的机械臂,并且用途广泛,如在太空探测中,拟人机械臂可以在真空状态中对卫星或者航天飞机执行操作,在月球上采集陨石样本,在几千米深的海底打捞沉船遗物,甚至在消防中进行火场施救,地质领域探测煤矿、考古等等。

然而,这些人体动作同步机械臂的运行都需要人类在手臂上穿戴很多传感器设备;传感器设备种类各异,造价也因精度和工艺的不同而不同;而且这些设备的运行只能由受过训练的专业人员操作,大大提高使用成本。每一种机械臂都经过深度定制,无法直接转移到另外的领域使用。

针对以上问题,拟研发一种无需在操作者身上附着传感器,基于体感摄像头的机械臂,采用角度反馈控制机械臂各关节角度,达到同步人体动作的目标。

1 机器人系统构建

机器人系统的构建模型由 3 大部分组成,分别为

收稿日期:2015-03-27;修回日期:2015-10-05

基金项目:国家自然科学基金资助(61201244);上海工程技术大学研究生创新项目(E1-0903-14-01036)。

作者简介:黄祖良(1989),男,福建连城人,硕士研究生,主要研究方向为机械臂及机器人。通信作者:邓琛,E-mail:ericddm@126.com

工作位置,远程操作位置和观摩学习位置,如图1所示。

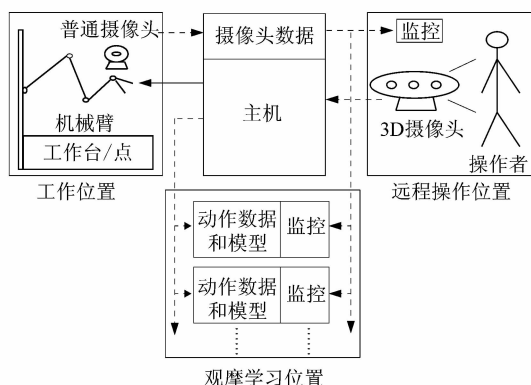


图1 机器人系统示意图

Figure 1 Model of system

工作位置主要包含机械臂和监控摄像头。监控摄像头实时观察机械臂工作进度,并将视频数据信息发送给服务器。服务器对视频数据信息即时共享,提供给操作位置和观摩学习位置。在操作位置,操作者针对监控,面对3D摄像头移动肢体,进行一系列操作,3D摄像头将人体移动信号发回给服务器,服务器经过运算,将信号发送给驱动器,进而控制机械臂移动。

1.1 摄像头

系统采用的3D摄像头为Kinect体感摄像机^[1-2]。采用深度图成像原理,先将红外线投射到场景中,通过另一个红外CMOS成像器所捕获到的该模式的变形来确定深度信息,此时Kinect接收到三维空间的图形信号,会对深度图进行“像素级”评估,在经过一系列边缘检测、噪声处理后,在静态环境中分离出人体轮廓,并定位人体20个关节部位,如图2所示。

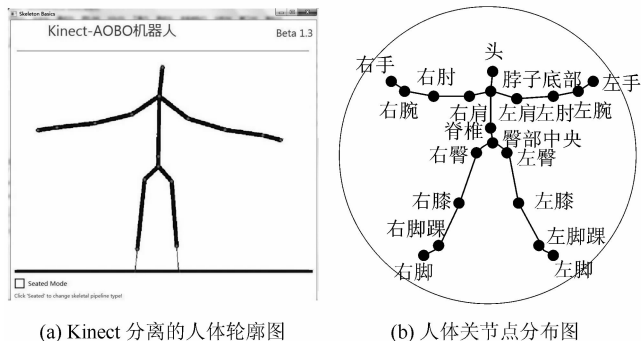


图2 Kinect中的20个关节

Figure 2 20 joints in Kinect

1.2 机械臂

机械臂采用自主研发的仿人体手臂六自由度AOBO机器人,如图3所示。

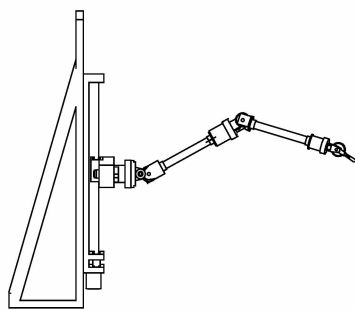


图3 AOBO机器人

Figure 3 AOBO robot

机械臂由基座、高度调节丝杠、相应的电机、减速器和连接杆组成。其中第1个电机与手臂部分由谐波减速器连接,用于增强相对于人体肩膀部位的力量,第1根连接杆为碳纤维材质,在保证强度的同时可减轻相当于人体上臂的质量,机械臂末端安装了1个可拆卸更换的夹持镊子,如有需要可改为笔、激光器。

2 人体关节坐标读取

由于机械臂控制和仿真等采用了可视化编程工具LabVIEW,需要解决Kinect数据与LabVIEW数据共享问题。一般而言数据共享有2种方式:①针对Kinect,供应商提供了基于C#的SDK,在LabVIEW中调用动态链接库,可直接读取Kinect获取的数据;②使用SDK中提供的源代码将人体动作数据发送到串口,再由LabVIEW读取串口数据,流程如图4所示。

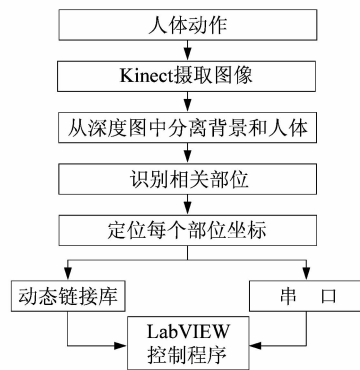


图4 人体关节坐标读取流程图

Figure 4 Process to get body data

AOBO机器人系统开发使用了VI工具包Kinesthesia Toolkit for Microsoft Kinect,读取人体坐标后,即可得到人体手臂相关数据。

3 机械臂关节角度

机械臂关节角度根据用途的不同分为2种^[3]:一种以目标点为参考原点的逆运动学求解,因为操作者不同,手臂长度不同,同步机械臂无法完成自动伸缩,

因此,需要逆向定位关节,即机械臂末端首先定位在工作台目标点上,然后根据人体手臂动作进行相应的位移,可以应用在外科手术、激光切割等方面;另一种以当前初始位置为参考原点的正运动学求解,即以当前位置为初始位置,机械臂同步跟随人体手臂动作,可以用在恶劣环境下采集标本等方面。

3.1 以目标点为参考原点的逆运动学求解

逆运动学求解在求解过程中需要建立一系列非线性方程,定位并且快速移动到目标点^[4]。参照人体手臂伸直过程,无需进行手腕和手肘的左右翻转摆动,机械臂直接屈伸摆动到达目标点。参考机械臂结构参数如图5所示。

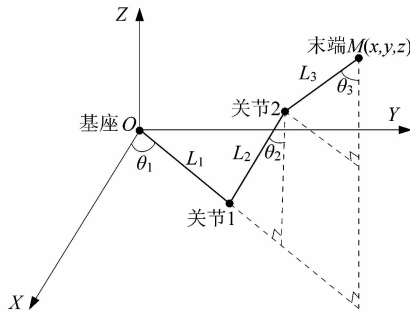


图5 机械臂结构参数示意图

Figure 5 Manipulator parameters schematic diagram

图5中,机械臂在三维直角坐标系中,从末端 $M(x, y, z)$ 逆向直到与基座连接的 O 点,其中 L_1 为基座点到关节1的连杆长度, L_2 为关节1到关节2的连杆长度, L_3 为关节3到末端 M 点的连杆长度, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 为各连杆与相应轴的夹角,整个过程可以用非线性方程组^[5]表示为:

$$\begin{bmatrix} z \\ y \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta_2 & \cos \theta_3 \\ 1 & \sin \theta_2 & \sin \theta_3 \\ \cos \theta_1 & \cos \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \sin \theta_1 \\ L_2 \sin \theta_2 \\ L_3 \sin \theta_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 以当前位置为参考原点的正运动学求解

Kinect 采用如图6所示的坐标系。

在坐标系中,原点 O 即为 Kinect 所在的位置,正向面对操作者。机械臂所需要用的参数依次为肩膀、手肘、手腕和手。提取这4个点的空间坐标 $A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2), C(x_3, y_3, z_3), D(x_4, y_4, z_4)$, 按照图7所示计算机臂各关节偏转角度。

图7中, A 为臂膀的空间坐标点,对应电机1和谐波减速器,实现肩膀动作; B 为手肘的空间坐标点,对

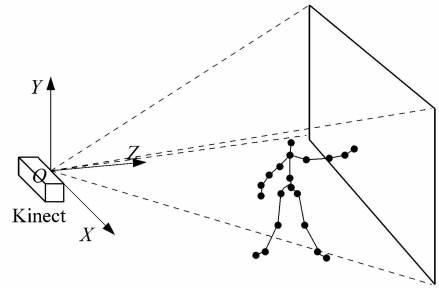


图6 Kinect 坐标系

Figure 6 Coordinate system in Kinect

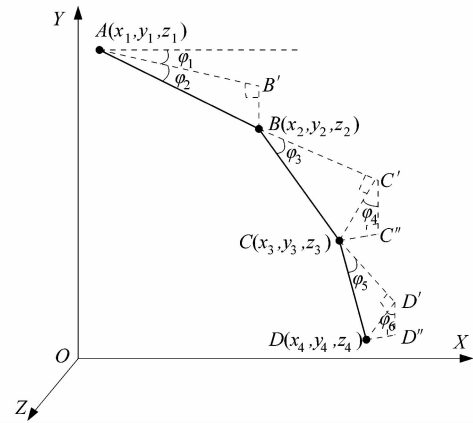


图7 关节角度示意图

Figure 7 Joint angle

应电机2, B' 为 B 在面 XOY 的投影,实现手肘左右翻转摆动; C 为手腕的空间坐标点,对应电机3, C' 为关节点 C 在 AB 延长线的投影, C'' 为 C 在面 OAB 的投影,实现手腕动作; D 为手肘的空间坐标点,对于机械臂末端, D' 为关节点 D 在 BC 延长线的投影, D'' 为 D 在面 OBC 的投影,实现手的动作。相应的夹角有

$$\varphi_1 = \arctan \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (2)$$

$$\varphi_2 = \arctan \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \quad (3)$$

$$\varphi_3 = \arcsin \frac{L_{C-OAB}}{L_{C-AB}}, \quad (4)$$

$$\varphi_4 = \pi - \angle ABC, \quad (5)$$

$$\varphi_5 = \arcsin \frac{L_{D-OBC}}{L_{D-BC}}, \quad (6)$$

$$\varphi_6 = \pi - \angle BCD. \quad (7)$$

其中: L_{C-OAB} 为关节点 C 到平面 OAB 的距离; L_{C-AB} 为关节点 C 到杆 AB 的距离; $\pi - \angle ABC$ 为杆 AB 与杆 BC 所成角度; L_{D-OBC} 为关节点 D 到平面 OBC 的距离; L_{D-BC} 为关节点 D 到杆 BC 的距离; $\pi - \angle BCD$ 为杆 BC 与杆 CD 所成角度。

4 机械臂控制

采用 NI-USB6008 数据采集卡,采集角度传感器信号,并给出控制信号,控制信号发送到驱动器,控制电机转动。控制框图如图 8 所示。

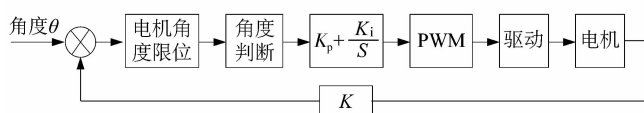


图 8 电机控制框图

Figure 8 Motor control diagram

其中 PWM 为脉冲宽度调制, K 为反馈环节。

当主机计算出机械臂各关节需要移动的角度之后,首先判断该角度是否在机械臂合理运动范围内,接着判断机械臂运动方向,进行相应的电信号处理。机器人采用 PWM 脉宽调速,占空比由 PI 控制器^[6-7]的输出来控制,则有

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau, \quad (8)$$

其中: $u(t)$ 为从 0 时刻到 t 时刻控制器的输出, $e(\tau)$ 为输入角度偏差, K_p 为比例系数, K_i 为积分系数。

利用公式(8),可以实现机械臂在起步时快速移动,在靠近目标角度的时候移动越来越慢,直到达到目标角度时停止,实现结果如图 9(a) 所示。图 9(b) 和 (c) 所示为 PWM 占空比和 RPM 电机转速实现情况。

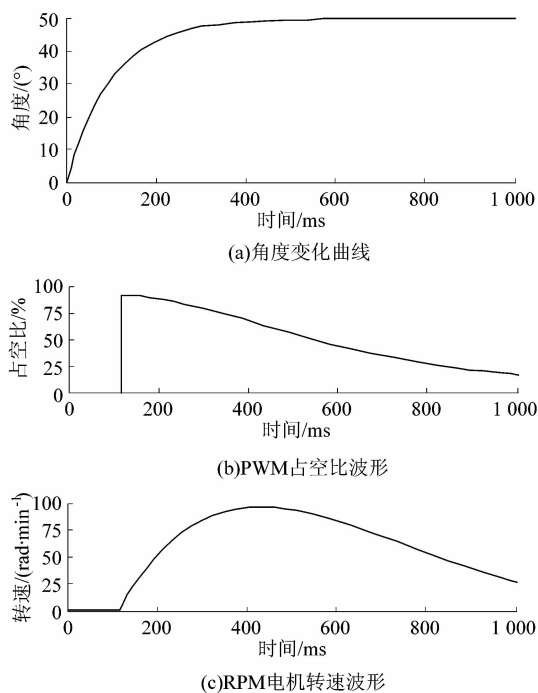


图 9 波形图

Figure 9 Waveforms

机械臂在某一点位静止不动时,可能会由于负载或自身重力,导致支臂末端产生偏离位移,此时根据角度传感器反馈,上位机发送反向信号脉冲给驱动器,拉回偏离的机械臂^[8-10]。

5 系统实现

监控摄像头将数据发送给上位机, Kinect 将人体数据也发送给上位机,上位机整合之后通过无线网络共享,并且提供 20 个关节点的坐标 API,供第三方观摩学习和调用,界面如图 10 所示。

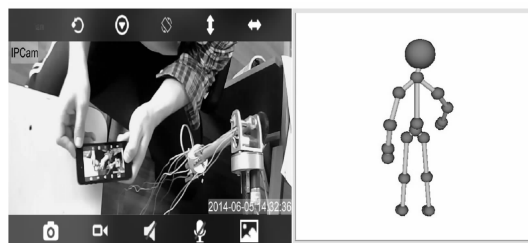


图 10 观摩学习平台

Figure 10 Viewing platform

人体操作和机械臂如图 11 所示。



图 11 操作者肢体动作和机械臂

Figure 11 Operator's physical feature and AOBO

6 结果与探究

文章介绍的以当前位置为参考原点的正运动学求解过程中,机械臂只需要根据角度传感器反馈的角度校正姿态,完成同步人体手臂动作。Kinect 可以精确定位人体关节位置到 4 mm 精度范围,完全满足机械臂动作精度方面需求;角度传感器可精确到小数点后 5 位,按照工作电压 12 V,机械臂手腕关节最大偏移 90°,角度传感器工作范围 3.8 ~ 9.2 V 计算,角度传感器可以感受到机械臂 0.001° 的变化,并精确到 0.01°。

7 结语

本文基于 3D 摄像头 Kinect,设计并研制了一种人体手臂动作同步机器人。该机器人可以完成任意初始姿态跟随人体手臂和定点位置跟随人体手臂动作,未来可以应用在各种不适合人体直接接触物体的领域,

(下转第 13 页)