

# 基于 Kinect 的体感交互机器人

胡星晨 李 波 赵祎临 王鑫炜 桑海峰

(沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳 110870)

**摘要:** 随着现代科学与机器人技术的发展,人与机器人的交互方式也越来越多样化。为使人与机器人交互得更自然和谐,探索了一种体感交互方式。利用 Kinect 获取人动作的深度图像,然后利用骨骼追踪功能获取人体主要关节点的坐标,坐标信息经计算机处理后计算出关节角,最后通过无线方式将关节角发送给机器人控制器,从而控制机器人做出和人相同的动作。经实验验证,该机器人运行情况达到了预期水平,可以实时模仿人的动作。这种方法提高了人和机器人的交互效率,有极大的应用价值。

**关键词:** Kinect;骨骼追踪;机器人

**中图分类号:** TN919; TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8050

## Humanoid robot using Kinect sensor

Hu Xingchen Li Bo Zhao Yilin Wang Xinwei Sang Haifeng

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

**Abstract:** With the development of modern science and robot technology, interaction between human and robot becomes more and more colorful. In order to implement more natural interaction between human and robot, this paper presents a method of somatosensory interaction. Using Kinect to accept the depth image of human action, then using skeleton tracking function to track the main point of human body, which will be processed by computer. Finally, computer send the joint angle to the robot controller wirelessly, let robot imitate human action. After experiment, the robot works well, it can react to human action. This method increases the efficiency of the interaction between human and robot, which also has a great application value.

**Keywords:** Kinect; skeleton tracking; robot

## 0 引言

蒋新松院士曾建议把机器人定义为“一种拟人功能的机械电子装置”<sup>[1]</sup>。随着机器人技术的发展,人类对机器人的未来也充满了期待与想象,传统的交互方式已经不能满足人们的需要。在科幻电影《铁甲钢拳》中,机器人 Atom 可以模仿主人公 Charlie 的动作进行机器人拳击比赛,这让人们对这种体感交互方式充满了好奇。自 2010 年 11 月微软首发 Kinect 之后,国内外很多研究人员和工程师都在用 Kinect 进行人机交互方面的研究。

大连理工大学基于 Kinect 的远程机械臂体感控制系统的研究,用空间向量法来计算人体骨骼角,用滑动平均滤波等算法对关节角进行滤波处理,达到了较好的效果<sup>[2]</sup>。清华大学基于 Kinect 的主动式伴舞机器人的研究与设计,提出了基于逐行扫描的人腿姿态识别算法,实现了实时识别别人腿位置姿态<sup>[3]</sup>。国外,日本千叶大学采用隐马尔可夫模型(HMM),利用 Kinect 研制了一个能从侧面检测人体

动作并跟随的机器人<sup>[4]</sup>。韩国建国大学利用 Kinect 传感器的人体骨骼追踪功能,可让 16 关节人形机器人模仿人的动作<sup>[5]</sup>。波兰西里西亚工业大学应用 Kinect 传感器制作了一台用人体姿势控制的工业机器人<sup>[6]</sup>。这种基于 Kinect 的体感交互机器人,代表着未来的发展趋势。因为,人类善于进行动作规划、感知理解,而机器人善于进行底层感知、路径规划、重复动作、微操作<sup>[2]</sup>,体感交互为将两者结合起来提供了一种很好的途径。

本文利用 Kinect 的骨骼追踪功能,追踪并绘制人体全身骨架信息,然后通过蓝牙接口将追踪到的人体关节角信息发送给机器人,从而使机器人模仿人的动作,实现了体感交互。在此基础上,为提高人对机器人的控制精度,本文又提出了动态识别,模板匹配的设想。

## 1 系统的构成与实现

该体感机器人系统主要由 Kinect、计算机、机器人 3 部

分组成,系统框图如图 1 所示。

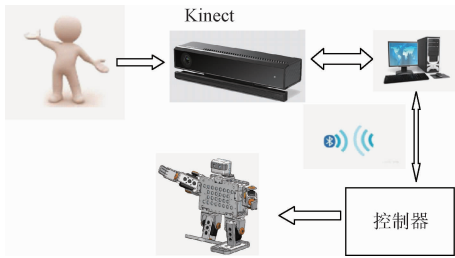


图 1 体感交互机器人系统框图

### 1.1 基于 Kinect 的骨骼信息采集器

Kinect,如图 1 所示,除具有一个普通的 RGB 摄像头以外还有一个红外发射器和一个红外接收器。通过黑白光谱的方式感知周围环境,纯白代表无穷近,纯黑代表无穷远,黑白间的灰色对应物体到 Kinect 的距离<sup>[7-8]</sup>。因此, Kinect 不仅能获取彩色图像还能获得深度图像<sup>[9]</sup>。



图 2 Kinect 外部结构

Kinect 每秒可获取 30 帧图像,可以对视野范围内 1~2 个人的骨骼进行追踪,可以追踪到人体上 20 个节点,如图 3 所示。

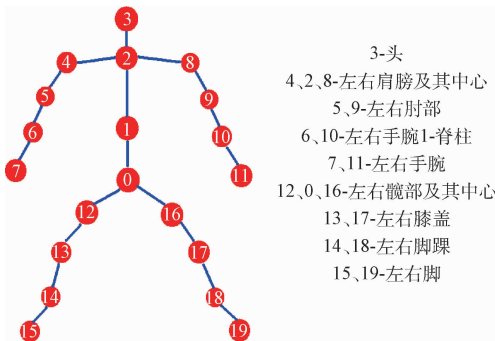


图 3 Kinect 骨骼追踪可追踪到的节点

利用 Kinect for Windows 中的 API(application program interface)提取深度图像中的骨骼结构并进行追踪,进而得到这 20 个节点的三维空间坐标与角度信息。运用这些信息来计算出人体的姿态特征,从而识别出人体的动作。

### 1.2 通信接口设计

计算机和机器人之间的通信采用蓝牙,进行无线通信。采用 CSR8510 蓝牙模块,工作在 2.4 GHz 频段,发射模式下传输速率为 3 Mbps,传输距离约为 20 m,工作电压为

+5 V,可以与 STM32 单片机直接进行通信,抗干扰能力强。

### 1.3 机器人设计与搭建

本文使用机器人采用类人结构,为简化控制,用 4 个轮子代替了双足。它的机械结构如图 4 所示,每个手臂具有 3 个自由度,由 3 个舵机构成。机器人共包含 4 个模块:主控模块、舵机模块、电机驱动模块、电源模块。

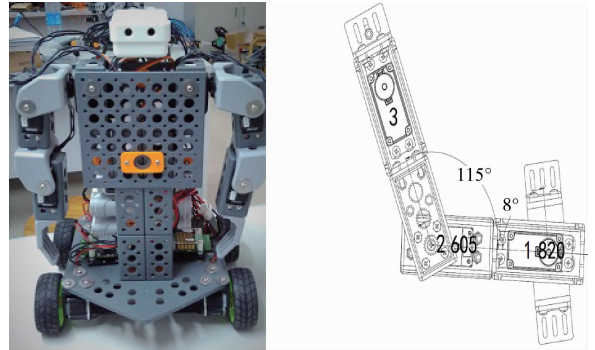


图 4 机器人机械结构

#### 1.3.1 主控模块

机器人主控模块采用意法半导体(ST)的 STM32F103 作为控制核心,该芯片以 ARM Cortex-M3 作为内核,频率可达 72 MHz,内部自带 265 K ROM 和 48 K RAM,通过外扩的 Flash 芯片,具有高达 1 MB 的用户程序存储空间。同时具有 16 路 IO 输入、16 路 12 位精度的 ADC 接口、1 个支持级联的 CDS 系列数字舵机接口以及一个蓝牙无线传输模块,同时还具有 12 路可配置的外部中断输入接口,足以满足本文机器人的控制需求。

#### 1.3.2 舵机模块

本文机器人舵机采用 PROMOTION CDS 系列 CDS5516 机器人舵机。该舵机是一个集电机、伺服驱动、总线式通讯接口为一体的集成伺服单元,扭矩 16 kgf.cm,最高输出转速为 0.16 s/60°,位置分辨率可精确至 0.32°,采用 6.0~16 V 宽电压供电,在位置伺服控制模式下转动范围 0~300°,采用总线连接,理论可串联 254 个单元,通讯波特率可达 1 MHz。

#### 1.3.3 电机驱动模块

BDMC1203 直流电机驱动,电压输入范围为 +8~+16 V,最大持续输出电流为 3 A,最大峰值输出电流为 6 A,能提供连续电流 2 倍的瞬间电流过载能力,电压波动不超过 5%。最高工作温度为 85 °C,超负荷使用将使驱动器快速升温至最高工作温度,并触发自我保护行为。BDMC1203 电机驱动器的控制方式为半双工异步串行总线指令协议控制。电机驱动与电机连接形式如图 5 所示。

#### 1.3.4 电源模块

电源模块采用两块额定电压为 7.2 V 的锂聚合物电池组,其中一块电池专门为电机驱动供电,与电机驱动连接方

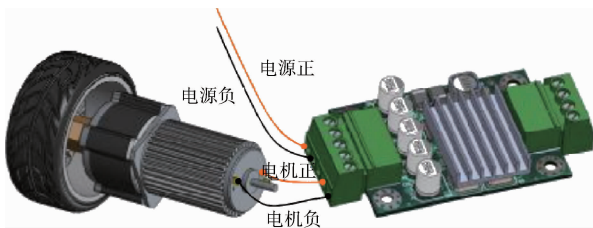


图 5 电机驱动与电机连接形式

式如图 5 所示,另外一块为舵机和控制器供电。

## 2 骨骼追踪的实现与关节角的计算

### 2.1 Kinect 骨骼追踪

人体的动作识别是由 Kinect 骨骼追踪实现的。被追踪的用户位置由  $X, Y, Z$  坐标系表示,以  $m$  为单位。 $Z$  轴与图像平面垂直,表示的是红外摄像头的光轴。光轴与图像平面的交点为坐标原点, Kinect 坐标系如图 6 所示。

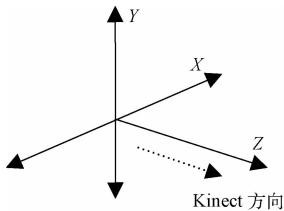


图 6 Kinect 坐标系

Kinect 调用 `OpenSkeletonFrame()` 函数获取骨骼数据,这些从硬件直接获取的原始数据传输到 `NUI(Natural User Interface)` 类库中进行处理。处理好的骨骼数据,系统会将其复制到缓存中;若未处理好,这时应用程序会等待下一个骨骼数据直到它被处理好,或者马上返回。`NUI` 骨骼 API 为用户提供了轮询模型和时间模型两种应用模型<sup>[10]</sup>。

1) 读取骨骼事件最简单的模型就是轮询模型。在 `SkeletonStream` 类中有一个 `OpenNextFrame()` 函数。通过调用该函数可实现骨骼事件的轮询模式。

2) 时间模型是以事件驱动的方式来获取用户骨骼数据的。该方法运用起来更加准确、灵活。应用程序运行时,会传递一个事件处理函数给名为 `SkeletonFrameReady` 的事件。当下一帧的骨骼数据准备好时,会立即调用该事件回调函数。

在 SDK 中,每个骨骼点都用 `Joint` 类型表示,每帧的 20 个骨骼点构成基于 `Joint` 类型的集合。这种类型包含有 3 个属性,分别是 `JointType` (骨骼点类型)、`Position: SkeletonPoint` (骨骼点位置信息)、`TraceKingState: JointTrackingState` (骨骼点追踪状态)。

在 `Skeleton` 对象的 `Joints` 属性集合中存有用户的所有骨骼点的信息,每个骨骼点的信息都是一个 `Joint` 对象。对于特定的骨骼点。可以使用 LINQ 语句对 `Joint` 对象中的 `JointType` 属性进行筛选得到。

### 2.2 关节角计算

Kinect 的坐标系与笛卡尔坐标系不同,用空间向量法计算关节角,要将 Kinect 的坐标系转化到笛卡尔坐标系中。利用向量的平移性及方向性,可将 Kinect 坐标系中任意两个不重合的坐标点  $A_1(x_1, y_1, z_1), A_2(x_2, y_2, z_2)$  经过简单的数学运算,转化到笛卡尔坐标系中。

每只手臂只有 3 个舵机进行控制,只计算量空间向量的夹角是不能满足要求的,对此应用一种间接算法,即求出平面  $xOz$  与手、肘、肩所组成平面的夹角,并以其夹角对肩膀舵机进行转角控制。利用 Kinect 提取到的左臂关节点的向量信息如图 7 所示,各关节点(肩、肘、手)处于空间平面中, $Z$  轴从里到外依次是:肩、肘、手。将其转化到笛卡尔坐标系中,如图 8 所示。

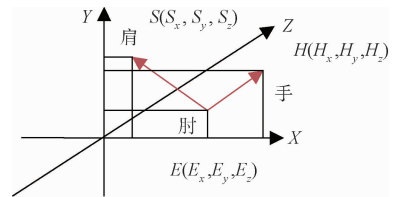


图 7 左臂关节点的向量信息

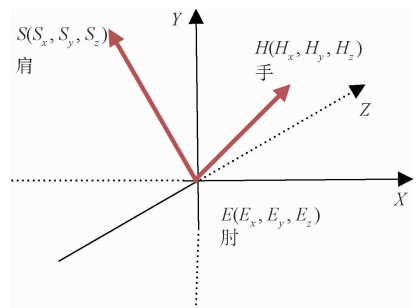


图 8 经过变换后的关节点向量

肘关节的角度可由手( $H$ )、肘( $E$ )、肩膀( $S$ ), 3 点构成的向量  $\vec{ES}$  和  $\vec{EH}$  计算得到:

$$\vec{ES} = (S_x - E_x, S_y - E_y, E_z - S_z) \quad (1)$$

$$\vec{EH} = (H_x - E_x, H_y - E_y, E_z - H_z) \quad (2)$$

$$\cos\theta = \frac{\vec{ES} \cdot \vec{EH}}{|\vec{ES}| |\vec{EH}|} \quad (3)$$

大臂的摆动角度的计算,可通过将向量  $\vec{ES}$  投影到  $xOy$  平面上,求其与  $y$  坐标轴夹角的方法得到,具体计算方法类似于肘关节角度的计算,其向量转化关系如图 9 所示。

为求取两空间平面夹角,需先求取两平面的法向量,再由两法向量计算出两平面夹角。由坐标系中向量关系不难得到:

$$\vec{ES} = (S_x - E_x, S_y - E_y, E_z - S_z) \quad (4)$$

$$\vec{EH} = (H_x - E_x, H_y - E_y, E_z - H_z) \quad (5)$$

$$\vec{n}_1 = \vec{EH} \times \vec{ES} \quad (6)$$

$$\vec{n}_2 = (0, 200, 0) \quad (7)$$

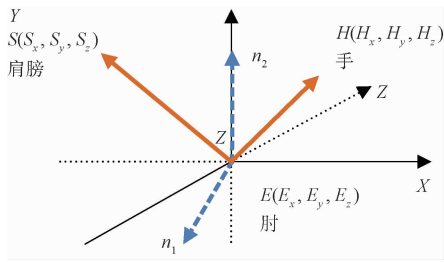


图 9 向量转换关系

$$\cos\alpha = \frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{|\vec{n}_1| |\vec{n}_2|} \quad (8)$$

通过式(4)、式(5)分别计算出向量 $\vec{ES}$ 和向量 $\vec{EH}$ ,式(6)通过向量积计算出肩膀、肘、手所构成空间平面的法向量 $\vec{n}_1$ ;式(7)代表平面 $xOz$ 的法向量;式(8)求得法向量 $\vec{n}_1$ 与法向量 $\vec{n}_2$ 的夹角,从而完成对肩膀舵机的角度计算。

### 3 系统软件设计

控制器程序包括主程序、电机驱动、无线通信、动作执行函数等模块。采用 C 语言编程,编程环境为 Keil uVision4。控制器程序流程图,如图 10 所示。

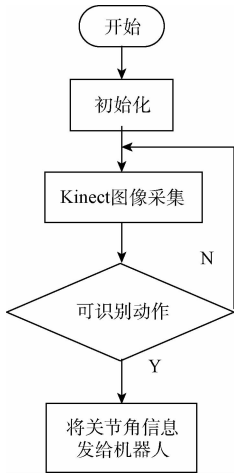


图 10 控制器程序流程

骨骼信息采集器程序由 Kinect 初始化、骨骼追踪、串口通信等模块组成,采用 C++ 编程,编程环境为 Microsoft Visual Studio 2010,使用了 OpenCV 部分开源的计算机视觉库。其流程图如图 11 所示。

### 4 实验测试

在同一室内环境中,选 10 个人进行实验测试。依次让 10 个人分别在 Kinect 识别范围内做出举手、放下、前进、后退、左转、右转、等动作,机器人可正确的模仿出人的动作,模仿成功率达到 100%。

该实验验证了系统的鲁棒性,表明这种体感交互方式应用于机器人控制是可行的。实验效果如图 12 所示。

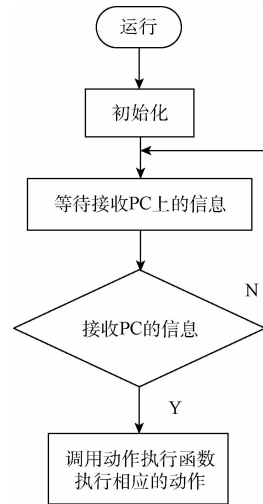


图 11 骨骼信息采集程序流程



图 12 机器人实时模仿人的动作

### 5 结 论

本文采用 Kinect 体感设备制作了一台人形的体感交互机器人,为人和机器人之间的交互提供了一种先进的交互方式——体感交互,该机器人模仿人体动作的成功率可达 100%。但目前的识别方法精度不是很高,未来将进一步将提高识别的精度,在图像处理环节应用新的算法,比如用自适应值更新算法提取静态背景<sup>[11]</sup>,将人体轮廓与背景分离,二值化后再采用细化算法提取出人体骨骼<sup>[12-13]</sup>。控制部分准备探索动态识别<sup>[14]</sup>,模板匹配的方法,这种方法将实现人的动作和机器人动作的解耦控制,机器人的动作可以更加精准。这类机器人未来应用价值很大,可用于超市帮助人们选购商品,人们通过动作让机器人在货架间行走,用手势控制机器人抓取商品;还可用来辅助自闭症儿童的康复训练<sup>[15]</sup>,国外已有这方面应用。未来会继续研究,让机器人完成一套有意义的动作,进一步与实际应用接轨。

### 参考文献

[1] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2009.  
 [2] 裴岩明. 基于 Kinect 的远程机械臂体感控制系统研究[D]. 大连:大连理工大学,2013.

- [3] 罗瑞琨,魏有毅,尹华彬,等. 基于 Kinect 的主动式伴舞机器人的研究与设计[J]. 机械设计与制造, 2013(6):1-3.
- [4] NERGUI M, IMAMOGLU N, YOSHIDA Y, et al. Human Behavior Recognition by a Mobile Robot Following Human Subjects [M]. Evaluating AAL Systems Through Competitive Benchmarking. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013: 159-172.
- [5] KOO K M, KIM Y J, SEO Y H. Motion capture based dual arm control of a humanoid robot using Kinect [C]. Information Technology Convergence, 2013: 913-921.
- [6] ZOLKIEWSKI S, PIOSKOWIK D. Robot Control and Online Programming by Human Gestures Using a Kinect Motion Sensor [M]. New Perspectives in Information Systems and Technologies Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2014: 593-604.
- [7] 陈艳丽,金纪东,陈国涛,等. 手部姿势与挥动速度识别的人机交互[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(1):56-61.
- [8] 陈敬德,赵文丽,梁洪涛,等. 基于 Kinect 的机器人控制系统 [J]. 国外电子元件, 2014, 22(10):81-84.
- [9] SANG H F, LI W. Gesture detection and recognition fused with multi-feature based on Kinect [C]. 10th Chinese Conference on Biometric Recognition (CCBR), 2015: 597-606.
- [10] 尉彦斌. 交互式视声一体化皮影动画系统的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.
- [11] 桑海峰,李伟,陈仲. 自适应权值的静态背景提取与更新算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(3): 358-367.
- [12] 肖秦琨,赵艳,高嵩. 基于 RGB 彩色和深度信息的人体关节节点定位[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 27-30.
- [13] 严利民,李跃. 基于 Kinect 深度数据的人体骨架提取[J]. 电子测量技术, 2015, 38(3): 39-42.
- [14] 孟明,杨方波,余青山,等. 基于 Kinect 深度图像信息的人体运动检测[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 386-393.
- [15] BOCCANFUSO L, M. O'KANE J. CHARLIE: An adaptive robot design with hand and face tracking for use in autism therapy [J]. International Journal of Social Robotics, 2011, 3(4):337-347.

### 作者简介

**胡星晨**, 本科生, 主要研究方向为人体行为识别。

E-mail: 1457290283@qq.com

**李波**, 本科生, 主要研究方向为机器人控制理论与应用。

E-mail: 15541559663@163.com

**桑海峰**(通讯作者), 副教授, 主要研究方向为生物特征识别与机器视觉检测技术。

E-mail: sanghaif@163.com

(上接第 129 页)

### 参考文献

- [1] 杨屏,李刚. 北斗授时技术分析 & 交通控制典型应用研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(11): 1592-1597.
- [2] 王尔申,张淑芳,胡青. 基于 MCMC 粒子滤波的 GPS 接收机自主完好性监测算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 2208-2212.
- [3] 王军,董绪荣,李晓宇,等. 基于 EGNOS 开放服务的接收机关键技术分析[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(11):35-39. 1630-1638.
- [4] 朱峰,张慧君,李孝辉,等. 外部参考信号相位差对接收机零值的影响分析[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(7): 1592-1596.
- [5] 邢兆栋,尹继凯,支春阳,等. 机场数字波束参考接收机相位中心修正[J]. 电子测量技术, 2014, 37(5):21-24.
- [6] XIE G, PULLEN S, LUO M, et al. Integrity design and updated test results for the stanford LAAS integrity monitor testbed[J]. Proceedings of Annual Meeting of the Institute of Navigation, 2001:681-693.
- [7] 王志鹏,张军,刘强. LAAS 地面站伪距纠正量误差完好性监测算法研究[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(1):196-200.
- [8] LEE J Y. GPS-based aircraft landing system with enhanced performance beyond accuracy[D]. Ph. D. Dissertation, Aeronautics and Astronautics, Stanford University, 2005.
- [9] 陈金平. GPS 完善性增强研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学测绘学院, 2001.
- [10] 甘兴利. GPS 局域增强系统的完善性监测技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2008.
- [11] Gang Xie. Optimal on-airport monitoring of the integrity of GPS-based landing systems[D]. Stanford University, 2004(3): 20-80.
- [12] 李斌,王党卫,杨明. 一种地基增强系统(GBAS)B值的分析与处理技术[J]. 现代导航, 2013, 2(1):19-23.
- [13] 杨文辉,周保军. LAAS 地面系统中多基准一致性检测算法的分析[J]. 电子学报, 2006(3):469-471.

### 作者简介

**支春阳**, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为卫星导航信号处理及航空应用。

E-mail: zhichy@yeah.net