

智能交互机器人 PengPeng II 的系统集成与性能测试

赵浩 李林 丁润伟 刘宏

(北京大学深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要 近年来, 智能交互机器人已成为机器人领域的研究热点. 基于人机安全友好交互的设计理念, 本文提出了一种智能交互机器人的结构设计和系统集成方案. 系统集成包括硬件与软件的整合, 由举手检测跟踪、视觉人体定位、语音识别、语音定位、运动控制、表情交互和主控程序七个模块组成. 通过对该系统性能测试实验表明智能交互机器人“PengPeng II”能够与服务对象之间安全、自主、和谐的友好交互.

关键词 机器人 智能交互 系统设计和集成

中图分类号 TP242.6

System Integration and Performance Testing of Intelligent Interactive Robot PengPeng II

Hao Zhao Lin Li Hong Liu

(School of information engineering, Peking University, Shenzhen, 518055, China)

Abstract Intelligent Service Robot has been a hot point of research in robot field in recent years. Aimed to improve safely and friendly human-robot interaction, this thesis proposed a solution of architecture design and system integration of intelligent interactive robot. System is integrated by hardware and software. It comprises of seven modules which are hand-raising detection-track, vision based human body localization, auditory analysis, auditory location, motion control, face interaction and coordination. After debugging and testing, our robot system PengPeng II is adapt to interact with clients in safety, harmony, autonomy and friendly.

Key words robot, intelligent interactive, system design and integration

随着科技的进步, 特别是计算机技术的发展, 机器人一直以来是人们关注的热点. 近年来, 服务机器人慢慢地进入人们的生活和工作中, 如何使机器人更人性化, 更好得与人交流, 成为了目前的主要研究问题之一.

由于各学科的高度交叉, 服务机器人应用背景和功能的实现日新月异, 国内外根据相关应用设计了各种机器人系统. 2000 年日本本田公司推出了世界上第一台可遥控的两条腿行动的机器人 ASIMO^[1], 拥有“调整姿势”、“自行连续运动”和“加强视觉和动力传感器”三大关键技术, 使得它被誉为世界上最为自然的机器人. 2005 年日本三菱重工业推出了类人型家用机器人“若丸”^[2], 它可以实现协助家庭保健和看家的功能. 美国费城 Pennsylvania 大学的 P. Wellman 等人设计了智能轮椅, 将智能机器人技术应用于电动轮椅上, 融合了传感技术、机器视觉、机器人导航和定位、模式识别及人机交互等先进技术, 强调人机互动和接口的自适应性^[3].

我国有很多研究机构或公司根据实际需求各自推出了自主研发的服务机器人. 例如, 2003 年北

京航空航天大学、海军总医院和清华大学合作开发了“黎元”机器人系统^[4], 它是新一代面向神经外科立体定向手术的机器人辅助手术系统, 具有自主控制、视觉定位和远程交互功能, 已经成功应用于临床. 2008 年, 沈阳新松机器人公司研制出智能型家用服务机器人“亮亮”和“晶晶”, 它们可以通过遥控器、触摸屏等多种方式与主人沟通, 拥有照看小孩, 打扫卫生, 报告家庭事故, 个人日程管理等功能.

智能交互 (Human Robot Interaction, HRI) 机器人是智能服务机器人家族中的年轻成员. 本文提出了一种智能交互机器人的系统设计方案, 在我们 HRI 机器人“PengPeng I”的基础上进行了改进, 完成了“PengPeng II”的研发, 它融合了计算机视觉、语音识别、语音定位、运动规划等技术, 实现人与机器人之间安全、自主、和谐的友好交互.

1 HRI 机器人系统构架

本文提出的 HRI 机器人系统结构主要是将硬件

收稿日期 2011-06-25.

作者简介 赵浩(1985-), 男, 硕士研究生, E-mail: zhaohaosdu@gmail.com.

基金项目 国家自然科学基金(No.60875050), 广东省自然科学基金(NO.9151806001000025), 深圳市科技计划及基础研究项目(JC200903160369A)

系统和软件系统进行整合，在“PengPeng I”功能的基础上增加了视觉人体定位功能和听觉定位功能，完善了该 HRI 机器人与服务对象之间的视觉交互、听觉交互和安全运动交互。

整个的 HRI 机器人系统集成包括两个部分，其中硬件部分包括摄像机、无线麦克、麦克风阵列、显示器、运动控制卡、步进电机等，而软件部分为举手检测跟踪、视觉人体定位、语音识别、语音定位、运动控制、表情交互和主控程序。HRI 机器人“PengPeng II”系统集成如图 1 所示。

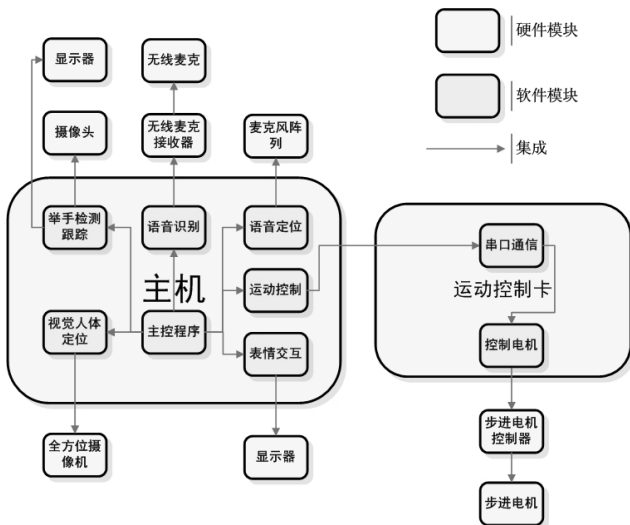


图 1 PengPengII 系统集成

2 HRI 机器人硬件设计

整个机器人系统的机电结构如图 2 所示。

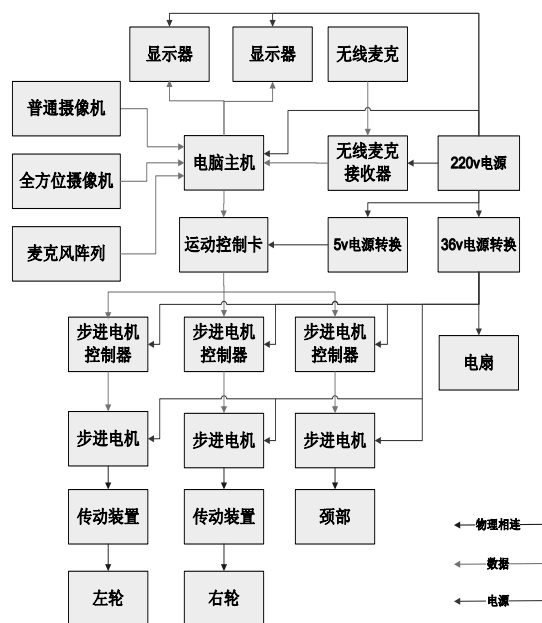


图 2 PengPeng II 机器人硬件结构

在“PengPeng II”的硬件架构中，始终是围绕 PC 机来展开的，一共涉及到 20 个元器件，包括 2 套传动装置，3 套步进电机控制器，4 套散热风扇，1 套运动控制卡，1 台电脑主机，2 个液晶显示器，1 个普通摄像机、1 个全方位摄像机，4 个麦克风阵列以及 1 套无线麦克。

3 HRI 机器人软件系统设计

软件系统集成包括七个模块，分别是举手检测跟踪模块、视觉人体定位模块、语音识别模块、语音定位模块、运动控制模块、表情交互模块和主控程序模块。七个模块协调组合为视觉子系统、听觉子系统和运动规划子系统，三个子系统共同实现了 HRI 机器人与服务对象之间的视觉交互、听觉交互和安全运动交互。

3.1 视觉子系统

举手检测跟踪模块和人体定位模块结合起来组成视觉子系统，实现了举手检测、人体跟踪和人体定位的功能。

视觉举手检测跟踪模块能够使计算机通过摄像机理解人的各种行为，促进人机交互的灵活性，使人摆脱键盘鼠标的束缚，计算机通过人的动作等就能发现人的意图，使得人机交互更加自然与方便。该模块通过建立背景模型，人脸检测，帧差法和连通域划分等方法进行举手检测，通过 kalman 滤波和 meanshift 算法^{[5][6]}进行人体跟踪。本模块的功能是通过摄像机实时采集视频，当发生举手情况时，举手区域将被框定出来，如图 3 所示。然后将举手人圈出来，实现实时的人体跟踪。



图 3 举手检测图

视觉人体定位模块通过全方位摄像机获取机

器人周围 360 度的环境和人体目标信息, 然后对全方位图像分析和处理得到机器人周围的人体目标位置信息, 从而使机器人在运动过程中能够有效躲避人体. 该模块分为预处理、特征提取、人体检测三个阶段. 首先对全方位图像展开变换和鸟瞰图变换, 分割得到障碍物区域和地面区域, 然后通过基于垂直特征统计的全局特征和局部特征结合的人体检测算法从而得到人体位置信息. 如图 4 所示.

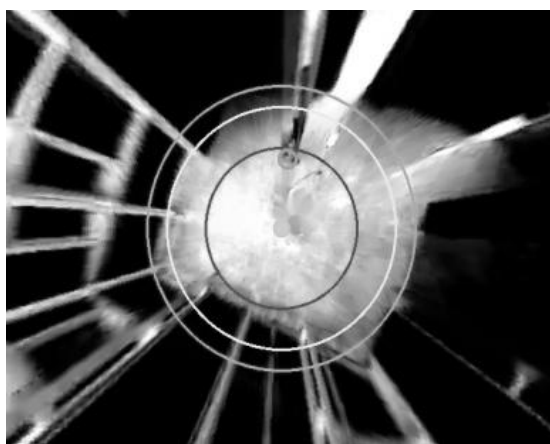


图 4 视觉人体定位图

3.2 听觉子系统

语音识别模块和语音定位模块结合起来组成听觉子系统, 完成了非特定人语音识别和语音定位的功能.

语音识别技术就是让机器通过识别和理解的过程, 把语音信号转变为相应的文本或命令的技术. 该模块主要针对平稳噪声环境下非特定人基于隐马尔科夫 (Hidden Markov Model, HMM) 模型^[7]的机器人控制指令语音识别.

语音定位模块是通过十字形的麦克风阵列采集到说话人的语音信息, 然后基于时延的方法和相应的几何模型计算出声源的方向和距离, 通过与语音识别以及视觉人体定位等模块的配合, 达到人与机器人语音交互的目的.

3.3 运动规划子系统

运动控制模块构成运动规划子系统, 实现了人与机器人自然的安全的交互, 机器人在行进过程中能够采取停、绕或退的运动策略.

运动控制模块主要通过融合计算机视觉与运动规划的技术, 通过机器人的运动达到与人交互的目的, 实现安全无碰撞地进行人机交互的功能. 算法实现的过程中, 通过视觉子系统中的举手检测模块和视觉人体定位模块, 从而得到的举手人体目标

位置和周围障碍物区域, 利用概率地图算法 (Probabilistic Roadmap Method, PRM)^[8]为当前环境建立地图, 通过改进的 A* 路径搜索算法找到一条合适的路径, 行进期间根据不同的运动障碍物采取相应的运动策略 (停、绕或退), 最后驱动机器人移动到举手的人体目标位置.

4 性能测试

4.1 单项性能测试

为了验证各个模块算法的性能及鲁棒性, 对指标要求较高的模块进行测试, 如举手识别模块、语音识别模块和语音定位模块. 测试平台如下:

硬件平台:	CPU	Intel Core2 Q6600 2.40GHz
	内存	1G
	摄像机	大恒 1302UC
	无线麦克	TAKSTAR TS-8028
	麦克风阵列	北京声电声望 MPA416
软件平台:	操作系统	Windows XP SP3
	开发环境	Visual C++ 6.0
		Matlab R2008a
	计算机视觉库	OpenCV v1.0

4.1.1 举手检测测试

举手检测模块主要测试人在举手的情况下, 检测一次动作检测率、连续动作检测率和动作检测时间. 如果实验场景比较简单, 人体站位比较疏松的情况下, 举手识别率比较高, 如果实验场景比较复杂, 发生漏判、误判的概率较高, 由此可见, 举手检测受环境的影响非常大, 光照、背景环境复杂度, 色泽饱和度等都会引起实验结果较大的波动. 该测试分别在白天阴天和黑夜有灯光的环境下进行的, 由于举手检测受日光影响较大, 所以没有考虑在较强日光下的环境. 测试结果如表 1 所示.

表 1 举手检测测试结果

测试时间	测试次数	一次动作检测率	连续动作检测率	检测时间
晚上	494	92.9%	92.9%	-
白天	513	98.9%	99%	-
汇总	1007	94.8%	95.8%	221ms

4.1.2 语音识别测试

语音识别模块主要针对非特定人孤立词的语音识别, 实验选择了 10 个比较典型的命令孤立词进行测试, 分别是: 开始、删除、前进、后退、关机、初始化、语音识别、举手测试、显示结果、跟

踪目标.实验采集了40组人的语音进行测试,结果为一次语音识别率为97.5%,连续语音识别率为99%.

4.1.3 语音定位测试

语音定位模块的测试是在相对安静的环境下进行的,采用每隔15°,距离分别在1m、2m和3m的特定位置上测试,共72组,每组10次测试该模块的定位时间,实验数据与实际数据的误差,并计算正确率.实验结果如表2所示.

表2 语音定位方位角与距离测试

测试数量	角度误差	距离误差	定位时间/s
720	<15° 88.47%	<0.8m 64.0%	0.468

4.2 集成性能测试

为了验证该机器人的架构以及算法的可行性,我们分别对硬件结构和软件模块分别进行了测试.集成测试实验环境是在8m*8m的室内进行,交互对象有4人.

4.2.1 硬件性能指标

硬件架构主要测试的是机器人的一些物理参数,以及各个自由度的运动性能.如行动速度和精度,转弯速度和精度,还有颈部转动等等.硬件平台的综合性能指标如表3所示.

表3 硬件性能

性能指标	参数
移动速度	0~1m/s (可控制)
颈部转动速度	0~40°/s (可控制)
重量	80kg
高度	192cm
宽度*长度	60cm*77cm
移动误差	<1.5cm
腿部转动误差	<1.5°
颈部转动误差	<5°

4.2.2 软件性能指标

软件系统测试主要是针对各个模块的性能.软件模块主要是运行在PC机上,软件系统的实验结果如表4所示.

5 结论

近年来,智能人机交互机器人是机器人领域的研究热点,本文分别从系统的架构、软硬件设计和

性能测试三方面阐述了智能交互机器人“PengPeng II”的设计过程.智能交互机器人“PengPeng II”利用摄像机进行视频图像的处理技术,完成人体检测、跟踪和定位的功能,达到了机器人视觉效果,创新性的通过十字形的麦克风阵列完成了语音定位功能,与非特定人的语音识别功能一起构成了机器人听觉,通过机器人视觉和听觉的融合感知周围环境和人,结合一定的运动规划技术,实现了智能的友好的安全交互.智能服务机器人的发展有着非常广阔的前景和未来,随着时代的进步,会有更多的技术和算法用在机器人的开发上.

表4 软件性能

性能指标	参数
举手识别率	>88%
视觉人体定位率	>87%
语音识别率	>80%
语音定位率	(<15°) 88%, (<0.8m) 64%
表情交互	响应时间<0.1s
运动控制	响应时间<0.1s
运动精度	精度>95%
主控程序	响应时间<0.1s

参考文献

- [1] Y. Sakagami, R. Watanabe, et al. The intelligent ASIMO: System overview and integration[C]. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002, (3): 2478-2483.
- [2] 李允明. 生活好帮手—家用机器人[J]. 中学科技, 2009,(3): 40-41.
- [3] 杜志江,孙传杰. 康复机器人研究[J]. 中国康复医学杂志, 2003,18(5): 293—294.
- [4] 唐黎,王田苗,丑武胜,负超. 脑外科机器人控制系统的设计和实现[J]. 机器人, 2004, 26(6): 543-547.
- [5] Y. Cheng. Mean shift, mode seeking, and clustering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790-799.
- [6] K. Fukunaga, L. Hostetler. The estimation of the gradient of a density function and its applications in pattern recognition[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1975, 21: 32-40.
- [7] S.J. Cox. Hidden Markov Models for automatic speech recognition: theory and application[J]. British Telecom technology journal, 1988, 6(2): 105-115.
- [8] M.H. Overmars and P. Svestka. A probabilistic learning approach to motion planning[C]. In Proc. Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR), Houston, Texas, 1994.