老年人助行机器人创新设计研究

石元伍，陈旺
（湖北工业大学，武汉 430068）

摘要：目的 研究老龄化背景下辅助居家养老的助行机器人设计。**方法** 在对助行机器人研究现状和功能需求调查的基础上，结合家庭社交和智能家居发展趋势，分析现有助行机器人存在的问题并提出总体功能设计，引入老年人行动意图和摔倒趋势预判技术、健康监测与远程报警技术及其与智能家居的融合，对功能设计进行验证。**结论** 老年人需求会随着社会发展产生新的变化，对于辅助老人独立生活的助行机器人的设计要结合新趋势、新技术开发新的辅助功能或体验，满足独居老人的生理及心理需求，构建更全面的居家养老生活图景。

关键词：老龄化；助行机器人；行动意图识别；健康监测；智能家居。
中图分类号：TB472　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2017)16-0097-05

Innovative Design of Walking-aid robot for the Elderly

SHI Yuan-wu, CHEN Wang
(Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

ABSTRACT: It aims to research the walker-aid robot under the background of aging problem. Based on the investigate of research status and functional requirement for walker-aid robot, combined with the development tendency of family social and smart home, it analyzes the problems of walker-aid robot and puts forward the overall function design, then validates the new function design such as judgment of old people's behavioral intentions, health monitoring and distant alarm, integrate smoothly with smart home. The demands of elderly people would be changed because of social development, we should develop new miscellaneous function or experience combined with new trend and technology in design walker-aid robot to satisfy psychological and physiological needs of elderly who live alone, to construct more comprehensive life scene of home care.

KEY WORDS: aging problem; walker-aid robot; action intention judgment; health monitoring; smart home

按照联合国科教文组织对老年化社会的划分标准，中国已经在 1999 年正式迈入了老年型国家的行列。目前，中国 60 岁以上的老年人已经超过 2 亿，占总人口数的比例高达 14.9%[1]，预测到 2030 年老年人口数量将达到 3 亿。不久的将来，养老问题将是一个巨大的社会问题。

人到老年，其生理和心理都会发生显著变化。生理上，肌体各项指标都会下降从而导致运动能力的显著衰退，视力减弱和平衡能力下降会导致老人面对突发状况的应急时间延长，协调能力变差，更易发生摔倒造成肌体伤害。另外，中国的独生子女政策让越来越多的家庭成为“4+2+1”（4 个老人、2 个中年人、1 个小孩）结构，显然将来可以作为保姆或者护工角色的工作人员会非常短缺[2]。另一方面，由于传统文化的影响，中国老年人不愿意选择机构养老而倾向于居家养老，但是经济的发展和社会节奏的加快已经不允许子女在家照顾老人，老人独居会让其心理抑郁孤寂，更易发生意外情况，反过来也让在外上班的子女担心。心理上，由于思维能力、认知能力的下降，老年人对于科技产品的接受度明显降低，做事唯恐出错，这时他们对于独立生活的能力显得更加渴望。

收稿日期：2017-05-14
作者简介：石元伍（1971—），男，湖北人，硕士，湖北工业大学教授，主要研究方向为智能产品设计、老年化产品的设计。

1 助行机器人研究现状及分析

1.1 助行机器人研究现状

综上所述，设计开发能应对老年人居家生活的助行机器人是很有必要的，实际上对于助行机器人的研究已经成为热点，美、日、韩等国家在这方面的研究走在世界前列并已经取得了很多研究成果，例如爱尔兰的 Mac Namara 等开发的 PAM-AID 的助行器[2]，见图 1。

图 1 PAM-AID
Fig.1 PAM-AID

根据用户类型和主要功能等对现有助行机器人进行分类[3—6]，见表 1：

表 1 助行机器人举例及相应的主要功能
Tab.1 Examples and corresponding main functions of walking aids robot

机器人类型	典型成果	主要功能
移动式助行机器人	PAM-AID，WAR，Smart-Cane，Walking Helper	扶手助行、身体支撑
外骨骼助行机器人	BLEEX，HAL，Rewalk-Exoskeleton	身体支撑助行
智能轮椅	Friend，Wheelesley，OWM，KARES	代步助行、机械臂取物

1.2 助行机器人功能分析

由表 1 可知现有助行机器人基本停留在辅助行走等生理功能上而没考虑到老年人的心理和社交需要。为了寻找功能需求，设计李克特量表对居家养老模式相关的 3 类人（老人、子女以及医护人员）进行助行机器人功能需求调查，见表 2。

表 2 调查对象及其对助行机器人功能需求
Tab.2 Investigation objects and the function requirements for walking aids robot

调查对象	老人	子女	医护人员
功能需求	扶手助行、身体支撑、娱乐、沟通交流	娱乐陪伴、视频通信、管理日常	健康检测、实时报警

助行机器人作为辅助老年人居家养老的有效解决方案，需要综合考虑与居家养老模式密切相关的 3 类人的需求，才可以建立老人憧憬的生活图景。

近年来，关注社交与陪伴的互动型机器人成为家用机器人的市场热点，如麻省理工学院教授 Cynthia Breazeal 开发的世界上第一款家庭社交机器人 JIBO[7]，见图 2。它能适应并融入家庭生活。虽然它的目标用户不是需要助行的老年人，但却说明了目前关注娱乐陪伴、沟通交流以及管理日常等的重要性，这为开发更符合老年人需求的助行机器人功能设计提供了方向。

图 2 JIBO 家庭社交机器人
Fig.2 JIBO family social robot

随着互联网技术的发展，智能家居由概念变成现实并被普遍认为是家庭生活的新模式，其利用综合布线技术、网络通信技术、安全防范技术、自动控制技术和音视频技术将家居生活有关的设施集成，让用户以更方便的手段（如手机）来管理家庭设备。那么对于不熟悉甚至抵触信息技术的老年人来说怎样对智能家居进行简单有效的控制就显得非常重要[8]。助行机器人作为辅助老人生活的智能设备可以发挥有效作用，将其融入智能家居系统，利用与老人的交互接口与控制系统可以实现其辅助老人控制智能家居系统。

2 助行机器人的设计与功能实现

2.1 助行机器人总体功能设计

技术开发是机器人发展的不可或缺的道路，但当目标是开发出更实用的看护机器人时，对使用者需求的掌握及安全性问题则变得与技术同等重要甚至有过之而无不及[9]，通过对老龄化问题和助行机器人现

状的研究，在对助行机器人功能需求调查的基础上结合当前家庭社交机器人的市场现状及智能家居的发展趋势，提出了具备以下 3 方面功能的助行机器人：（1）辅助老年人行走并考虑安全应急，（2）满足老年人的心理及社交需求，（3）融入智能家居系统，辅助老年人完成对智能家居的控制。助行机器人整体设计思路见图 3。

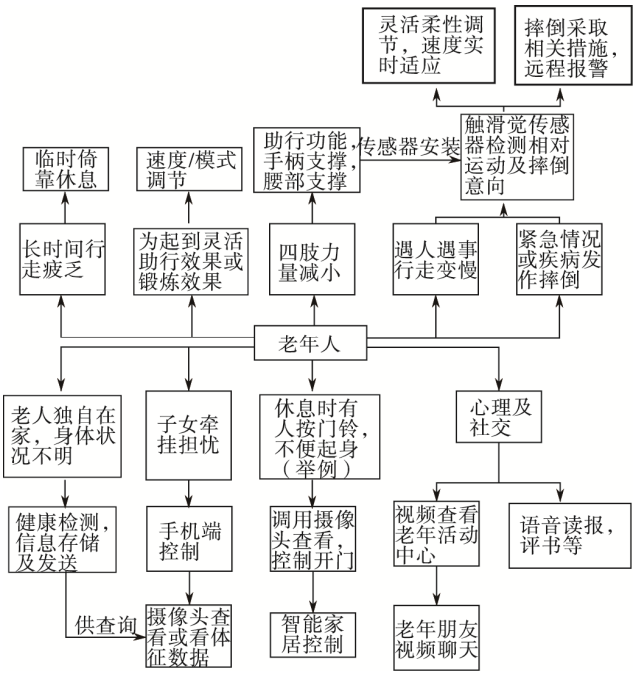

图 3　助行机器人整体设计思路

Fig.3 Overall design ideology of walker-aid robot

2.2　关键技术分析与实现

从助行机器人的整体设计思路图不难看出，该助行机器人要解决的关键技术包括：用户行动意图识别与摔倒趋势预测、老年人健康检测和报警、与智能家居的融合。由于传感器技术与互联网技术的发展，这些技术都可以得到很好地解决。

2.2.1　行动意图识别与摔倒趋势预测

在辅助老年人行走的过程中，机器人如何感知老年人的行动意图从而做出运动控制，是保证其助行功能的关键技术，对老年人摔倒意向的预测更是对保障老年人的安全有重要意义。

对于助行机器人感知使用者行动意图的问题有许多研究，如美国 Spenko 等开发的 Smart Cane 通过麦克、喇叭与触摸手柄力矩传感器感知用户行动意图[4]；爱尔兰 Shane MacNamara 等开发的 PAM-AID 助行器控制系统，采用一个适合老年人操作的手柄做为人机接口[2]。随着传感器技术的发展，近年来相关研究者提出利用触滑觉传感器感知用户行动意图的新方法[10]，对老年人摔倒趋势的预判可以通过多传感器数据融合技术进行分析感知[11]。为了使传感器测量数据利用率更高，在结合上述两种测量系统的基础上，通过改变数据处理流程，使得摔倒预测与行走意图感知同时进行，改进的整个系统示意见图 4。

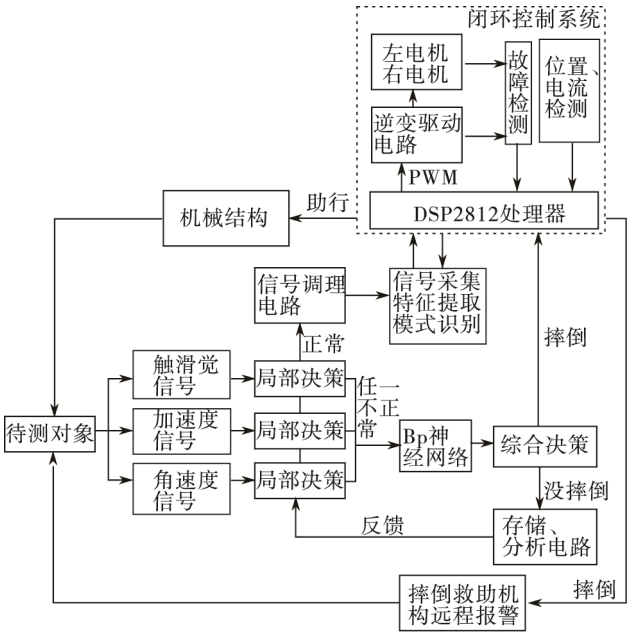

图 4　用户行动感知与摔倒预判系统示意

Fig.4 User action perception and trip anticipation system

助行机器人的手柄和护腰部位分别安装触滑觉传感器和加速度、角速度传感器。将探测到的传感器信号先送往局部决策器局部决策，如果正常，则将触滑觉信号的决策结果传输到信号调理电路进行特征提取和模式识别，信号调理电路与控制系统相连，DSP2812 处理器作为控制器负责信息处理和机构控制。

老年人行为意图采用 K-均值法和 K-近邻法相结合的方法。行走意图可以分为 5 种类型：“前进”、“后退”、“左转”、“右转”、“无动作”。假设已经收集到一组已知行为意图的数据集 $\boldsymbol{X}=\{x_1,x_2,.....,x_n\}$，其中 x_i 代表一个样本。

算法步骤：

用 K-均值法将数据 $\boldsymbol{X}$ 聚类，得到 $X=Y_1\cup Y_2\cup Y_3\cup Y_4\cup Y_5$（表示数据集 $\boldsymbol{X}$ 有 5 个类型，Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5 分别代表前进、后退等 5 个动作）

用 K-近邻法对未知数据分类。

① 统计（1）中 Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5 的数据个数为 n_1,n_2,n_3,n_4,n_5，计算各类别聚类中心：

$$\overline{x_i}=\frac{1}{n_i}\sum_{x_j\in Y_i}x_j;i=1,2...5 \tag{1}$$

② 计算各类别聚类中心 $\overline{x_i}$ 到同聚类中心 x_i 的欧式距离，计算每一类别中欧式距离的最大值 d_i，求出 5 个类别中的最大值 d：

$$d=\max\{d_i\};i=1,2...5 \tag{2}$$

③ 将每一类别的聚类中心和其类别中点之间距

离均除以 $l \times d$，l 取足够大，则各类别所形成的区域足够小。

④ 取 K 满足条件 $K \le \min(n_1, n_2, ..., n_5)$，$K$ 取整数。

⑤ 假设现有未知数据 C_S，则根据 K-近邻法只须计算数据 C_S 到各聚类中心 $\overline{x_j}$（$j = 1, 2, ..., 5$）之间的距离 d_{sj}，如果 $\min(ds_j) = d_{si}; (1 \le j \le 5)$，则可判断 $C_S \in Y_i$ 类。

根据此方法可以对行走意图的特征向量进行模式识别，得到特征向量代表的运动模式。

2.2.2 老年人健康检测与远程报警

人到老年，生理机能不稳定，疾病突发概率大大增加。所以实时监测老人身体并建立传输报警系统的重要性不亚于保证其行动能力，这对于老人的生命安全有重要意义，对父母的健康数据实时查看也可以给子女一种安全感。另外，连续地监测老年人体征状态，一旦发生疾病，医生可以根据存档数据对老年人身体有一个更清楚的判断，这对于治疗方案的制定至关重要[12]。

随着传感器技术的发展，各种新型的传感器应用于生命体征的测量，监测手段也变得越来越轻便化、无束缚化，这免去了繁琐的穿戴过程，克服了现有健康监测设备穿戴率不高的问题[13]，例如英国 Oxyhealth 公司研发出了一项基于网络摄像机的生命体征监测系统，其通过网络摄像头捕捉人脸反射回来的光，利用相关算法计算出人的呼吸率、脉搏和血氧浓度等参数[12]。又如，浙江大学发明了一种非接触式生命体征数据监测系统和监测方法[14]。这些无束缚健康监测技术将是医疗监测系统的发展方向。

所设计助行机器人综合利用无束缚体征数据监测技术及网络通信技术实现对老人的健康监测及报警，通过健康监测系统实时采集老年人体征数据并由控制系统的通用分组无线服务 GPRS 模块上传到 web 服务器中并储存到服务器后台的 SQL Server 数据库，医疗监护人员和子女可以通过互联网访问 web 网页查看老人的生命体征数据，健康检测系统对指定指标设定数值及变化速率阈值，当老人体征指标数值或变化速率出现异常时控制系统的 GPRS 模块通过短信服务中心报警，健康监测报警系统见图 5。

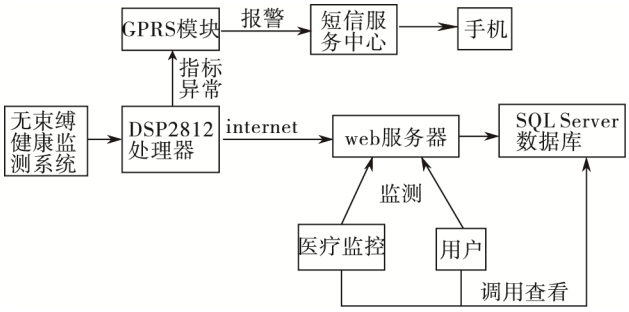

图 5 健康监测报警系统示意

Fig.5 Health monitoring and alarm system

2.2.3 与智能家居的融合

智能家居是一个以住宅为平台的装有智能家居系统的居住环境。它让家庭日常管理变得更方便，但同时“充满智慧”的家居系统给老年人的认知操作出了一道难题，他们不像年轻人通过移动终端进行控制。最近有一些关于老年人对智能家居控制问题的研究，但都局限在智能家居产品的交互界面和操作无障碍等研究上，这些设计上的改变会让老年人对产品的操作更容易一些，但他们依然要承受很大的信息记忆量[8,15]，但是如果可以改变老年人对智能家居系统的控制方式，就可能让他们在不需要了解产品本身的基础上，对产品进行简单有效的控制。通过 GPRS 模块将助行机器人融入智能家居系统，通过人与机器人的交互接口可以使其协助老年人完成对智能家居的控制，大大提高老年人行为能力。例如，当老人不知如何操作智能电视时，可以通过语音接口给身边的机器人下达指令，然后由机器人通过网络系统控制电视；再如，当老年人卧床休息时有人按门铃，老人只需通过身边的助行机器人调用监控摄像头看对方是谁并控制开门而不用费力起床。另外，接入网络的视频通信系统可以满足老年人的社交需求，真正实现老年人的生活独立和人格自尊独立。

网络技术的发展，各种通信协议的出现使网络组织越来越灵活，考虑到老年人的活动范围和入网产品数量，整个智能家居系统采用具有自组网能力的网状通信网络，综合利用无线高保真 WI-FI 和 Zigbee 等通信协议搭建[16]，其整体连接示意见图 6。

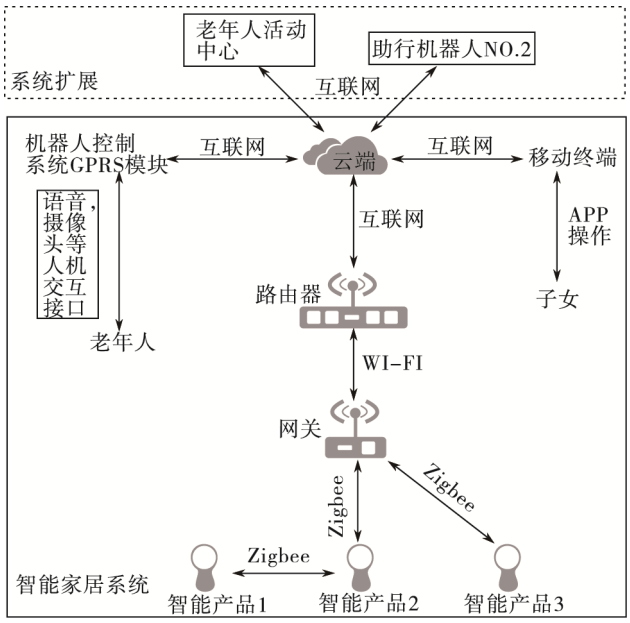

图 6 智能家居系统连接示意

Fig.6 Connection diagram of smart home system

通过该智能家居系统连接方案，子女可以通过移动终端控制智能家居系统，而老年人可以通过语音等

人机交互接口给机器人下指令协助控制，由于都接入了云端，双方可以通过摄像头等进行视频交流或者子女单方面调用机器人摄像头查看家中老人。另外，如果与其他机器人建立通信协议或是将社区老年人活动中心有关设施接入云端，老年人就可以在家随时与老年朋友交流互动，也可以预先知道活动中心状况以便于决定是否出去。

3　结论

随着社会发展，老年人生活环境和需求会产生新的变化，针对行走辅助功能的助行机器人为了更有效地辅助老年人生活也应该有新的功能。基于此，对助行机器人的功能创新设计意义重大，它不仅使助行机器人可以支撑老年人生活自理，更是一个较全面的居家养老问题解决方案。关于其具体方案的设计和样机制作将是下一步研究的主要内容。

参考文献：

[1] 李硕雅. 从全国第六次人口普查看我国人口问题[J]. 经济论坛, 2012(1): 89—91.
LI Shuo-ya. China Population Problem from the Sixth National Census[J]. Economic Forum, 2012(1): 89—91

[2] 王云霞. 一种福利友好的助行机器人的设计[C]. 2008 年第三届北京国际康复论坛论文集, 2008.
WANG Yun-xia. Design a Well-being and Friendly Robot Walker[C]. The 3rd Beijing International Forum on Rehabilitation, 2008.

[3] REN TSCHLER. Intelligent Walkers for the Elderly: Performance and Safety Testing of a PAM-AID Robotic Walker[J]. Journal of Rehabilitation Research and Development, 2003, 40(5): 423—432.

[4] SPENKO M,YU H, DOUBOWSKY S. Robotic Personal Aids for Mobility and Monitoring for the Elderly[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2006, 14(3): 344—351.

[5] SHIM H M,LEE E H. Implementation of an Intelligent Walking Assistant Robot for the Elderly in Outdoor Environment[C]. 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005.

[6] CHUGO D, MATSUOKA W, JIA SONGMIN. Reha Bilitation Walker System with Standing Assistan Device[C]. Proceedings of the 2007 IEEE Intern Ational Conference on Mechatronics and Autom Ation, 2007.

[7] ERIN Griffith. 会笑会学习有礼貌：家用机器人 JIBO[EB/OL]. (2014-08-13). http://www.360doc.com/content/14/0814/10/535749_401733470.shtml.
ERIN Griffith.Laugh, Learn and Polite: Family Social Robot Named JIBO[EB/OL].(2014-08-13). http://www.360doc.com/content/14/0814/10/535749_401733470.shtml.

[8] 刘树老. 老年人智能家居用品交互性设计研究[J]. 家具与室内装饰, 2015(6): 28—30.
LIU Shu-lao. Study on The Interactive Design of Smart Home Appliances for The Elderly[J]. Furniture & Interior Decoration, 2015(6): 28—30.

[9] 日本机器人学会. 机器人科技-技术变革与未来图景[M]. 北京：人民邮电出版社, 2015.
The Japanese Society for Robots. Robot Technology Technological Change and the Future Prospect[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2015.

[10] 魏晓娟.用于助老助行机器人驱动控制的触滑觉检测识别方法[J].计算机应用,2014,34(SI):157-159.
WEI Xiao-juan. Detection and recognition Method of Tactileslip Sensation for elderly Assistant & Walking-assistant Robot[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(1): 157—159.

[11] 张玉叶. 基于多传感器数据融合的助行机器人防摔倒技术研究[J]. 现代电子技术, 2015, 38(14): 36—41.
ZHANG Yu-ye. Research on Walking Aid Robot Technology Based on Multi-sensor Data Fusion to Prevent Elders from Falling Down[J]. Modern Electronics Technique, 2015, 38(14): 36—41.

[12] 传感器专家网. 传感器连续监测生命体征助力医疗发展[EB/OL]. (2013-08-16). http://www.sensorexpert.com.cn/Article/chuanganqilianxujian_1.html.
Sensors Expert Network. Sensor for Detection of Vital Signs Help Medical Development[EB/OL]. http://www.sensorexpert.com.cn/Article/chuanganqilianxujian_1.html.

[13] 叶雷. 可穿戴传感器的特点与趋势[J]. 电子产品世界, 2014(10): 24—27.
YE Lei. Trends of wearable Sensors[J]. Outlook of Electronic Technology, 2014(10): 24—27.

[14] 浙江大学. 一种非接触式生命体征监测系统和监测方法：中国, 201310010112[P]. 2013-0 4-03.
Zhejiang University. A Non-contact Vital Signs Monitoring System and Monitoring Method: China, 2013-10010112[P]. 2013-04-03.

[15] 张超. 老年家庭智能家居产品设计研究[J]. 设计, 2014(9): 33—34.
ZHANG Chao. Design and Research on Products of Smart Home in Elderly Family[J]. Desin, 2014(9): 33—34.

[16] 邢袖迪. 智能家居产品从设计到运营[M]. 北京：人民邮电出版社, 2015.
XING Xiu-di. Smart Home Product from Design to Operation[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2015.