

文章编号: 1002-0446(2003)03-0282-07

机器人仿生面部系统研究综述*

罗旆暄 张永德 宋继良

(哈尔滨理工大学智能机械研究所 哈尔滨 150080)

摘要: 机器人仿生面部系统是近几年机器人研究领域较活跃并引起广泛兴趣的研究方向之一. 本文综合分析了在机器人仿生面部系统的制造及其表情的产生等方面的研究现状, 并对该领域未来的研究重点、发展方向作出了展望.

关键词: 仿人机器人; 仿生; 面部表情

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

RESEARCH SUMMARIZATION OF HUMANOID HEADS

LUO Pei-xuan ZHANG Yong-de SONG Ji-liang

(Intelligent Machine Institute, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080)

Abstract: Humanoid head and facial expression is one of active domains in the study of robots, which arouses many researchers' interest. This paper introduces summarily situation of study in the making of humanoid head and producing of facial expression. Meanwhile, the future emphasis and developing direction of the study are forecasted.

Keywords: humanoid robot, humanoid head, facial expression

1 引言(Introduction)

机器人的研究和应用是 20 世纪自动控制最有说服力的成就, 是当代最高意义上的自动化. 仅仅花了 20 年, 机器人从爬行学会了两腿走路, 成为直立机器人. 现在, 机器人已能用手使用工具, 能看, 能听, 能用语言说话, 能安全可靠地干最脏、最累、最乏味的工作, 甚至在人类无法工作的深海、放射区, 都有机器人在兢兢业业、忠诚地为人类服务, 做出不可磨灭的贡献. 展望未来, 人类更需要与机器人和谐共处, 更离不开机器人这个得力助手和可靠朋友.

目前世界上使用的主要是工业机器人, 其中一半以上是面向制造业的工业机器人, 即主要用于第二产业. 据专家们预测, 随着经济和科技的高速发展, 服务机器人, 即用于第三产业的机器人的数量将会超过工业机器人. 西方把下列机器人都归纳为服务机器人, 诸如: 建筑机器人、救灾机器人、公共服务(清洁)机器人、家用机器人、娱乐机器人、医用及康

复机器人、老年及残疾人护理机器人、办公及后勤服务机器人、酒店售货及餐厅服务机器人等等. 21 世纪人类将进入老龄化社会, 预计, 到 2020 年, 中国 65 岁以上的人口将占人口总数的 30%, 日本等发达国家的老龄化的问题更加的突出. 因而青年劳动力的不足和老年人大量增多将是世界面临的一个严重的社会问题. 而开发“仿人机器人”的重要用途之一便是弥补年轻劳动力严重不足, 解决老龄化社会的家庭服务和医疗等社会化问题, 并能开辟新的产业, 创造新的就业机会.

随着机器人越来越密切地走进人们的生活, 人类对于机器人也提出了更高的要求. 对于自动化工厂来说, 能够按程序完成工作的机械手, 或具有某种特定功能的机器人已经能够满足需要, 但对于进入服务业, 每天与人们朝夕相处的机器人那是远远不够的, 我们要求它不仅仅能工作, 还应该具有适合人和环境的形态和功能, 而且在许多场合要能和人协

* 基金项目: 黑龙江省博士后基金项目资助(编号: LRB-KY01041).

收稿日期: 2003-02-14

调作业, 所以能和人进行有效的情感和信息的交流是其不可缺少的要素, 换句话说, 要具有对人的物理解行动空间及信息思维空间的协调性和亲善性等. 要从外表、形态上更像人, 能与人进行情感、信息交流, 要能听懂人的语言, 能识别人的表情、手势, 还要让人懂得它的语言、表情和手势, 能按人的要求工作, 而不需要使用者懂得它的程序.

美国著名心理学家阿尔培特 (Albert Mehrabian) 认为, 在人进行感情表达时, 往往言辞的使用只占 7%, 而声调占 38%, 剩下的 55% 全由体语来完成^[1]. 由此我们知道, 在人的感情表达中体语的作用是大于语言的. 体语就是人的身体语言, 具体来说就是人的表情和动作. 作为非常意义下的语言体系, 体语表达的情绪有些是口头和文字语言所不能表达和不能替代的, 它们可以互相配合, 也可能相互矛盾. 面部表情和眼神都属于体语表达的范畴. 所以当仿人机器人应用在服务领域时, 面部表情的实现是必不可少的.

表情是指与情绪状态有关的人体各部位所呈现的可见的外部变化. 任何情绪状态都包括两个方面: 一是由大脑综合出带有某些特殊色彩的自我体验, 如兴奋、恐惧、厌恶等; 二是身体自身发生的一些相应的反映和变化, 这些反映和变化往往可被人肉眼直接观察到, 如面红耳赤、目瞪口呆、皱眉、撇嘴等, 这就是表情. 古人说: “情动于中而形于外”, 十分简洁地道明了情绪与表情的关系. 面部表情, 可以把语言无法表达的信息表达出来, 因此是人与人之间交流中不可缺少的要素, 也就是说, 面部表情可以表达出信息表达者的心情、感情、性格, 使得信息接受者通过面部表情顺利、圆满地接受信息, 从而对双方的信赖关系的建立, 起到重要的作用.

2 仿生面部系统的主要研究内容 (Research directions)

有关表情, 过去主要是从心理学和医学的角度来研究的. 从心理学的角度研究表情的分类, 感情和表情的对应, 从医学的角度研究的是表情变化的肌肉构造和运动. 在机器人领域中面部表情方面的研究起步较晚, 主要集中在以下几个方面:

(1) 头部仿生 机器人要产生仿人的表情, 首先要具有仿人的头部, 一般有两个方向, 其一是采用机械结构并安装摄像机、麦克等传感器构成头部和眼、耳、鼻、口等器官, 利用电机、气缸等驱动相应结构来产生表情; 其二是采用仿人头骨、仿人器官、仿人肌

肉、仿人皮肤等构成机器人头部, 用人工肌肉来驱动产生表情, 可以使头部外表和面部表情高度仿真, 但目前来说, 仿人的肌肉等方面的研究还不十分完善, 实现起来还有很大困难, 所以, 当前大多采用前一种方法.

(2) 表情识别 即机器人如何识别人的表情, 重点是机器人视觉、图像分析方面的技术. 当然同时还包括其他方面的感知, 因为人的表情用来表达情绪状态的, 而情绪状态是受外界刺激影响的, 所以人的表情也和包括视觉、听觉、触觉、嗅觉等多感知系统密切相关.

(3) 控制模型 即机器人在感知到外界刺激后, 如何产生符合机器人个性的情绪状态, 继而又如何产生与情绪状态相对应的能让人识别的表情, 简言之就是: 感知—情绪—表情之间的分析综合过程的研究. 这涉及到心理学、生物行为学、人工神经网络等多方面的知识.

3 仿生面部系统的国内外研究现状 (The general situation of the study of humanoid head home and abroad)

目前, 机器人表情的研究主要在美国、日本的一些大学和研究所, 下面是近几年较新的研究成果:

美国麻省理工学院人工智能实验室的计算机专家辛西娅·布雷齐尔 (Cynthia Breazeal) 从人类婴儿与看护者之间的交流方式中得到启发, 开发了一个名为 “Kismet” 的婴儿机器人^[2,3] (如图 1), 目前它还只有一个头部, 与计算机相连, 在面部特征上具有 15 个自由度, 分布在眉毛、耳朵、眼球、眼睑、嘴唇等部位, 每只眼睛装有一个 5.6mm 焦距的彩色 CCD 摄像机, 在耳朵上装有微型麦克, 使它具有视觉和听觉. “Kismet” 具有与人类婴儿相似的行为方式和能力^[4,5], 比如模仿父母与孩子之间表示情感的反馈方式, 婴儿向父母表达需求和愿望的方式, 以及婴儿自我学习与人和环境交流的方式等等.

Kismet 装有由 8 个 50MHz 的 DSP (TMS320C40) 组成的并行网络进行图像处理, 两个基于 Motorola 68332 的微控制器作为动机系统^[6]. 它的外表虽然并不完全像人, 但已能通过他的眼睛、耳朵以及大脑来识别人类的情感, 并能够表达出相应的喜、怒、哀、乐等丰富的表情, 例如, 当 “Kismet” 发现了人的面孔, 就会把脸转向人, 与人对视, 显出关心的样子; 当它对某一件事反感时, 会把眼皮和耳朵搭拉下来; 当它面前出现玩具时, 会表现出很感兴趣的表

情;若是玩具快速地移动,它会表露出不知所措的神情,最后还会把眼睛闭上不看了.从这可以看出,制造能够用复杂方式与人进行交流的机器人,是可能的.

Kismet 的情感状态^[3]可以表示为一个由激励 (arousal), 价 (valence) 和态 (stance) 3 个轴构成的三维情感空间中的一个点.这个空间被分成以某些特定点为中心的若干个区域,每个区域代表着特定的一种情感状态,如图 2 所示.某时刻的情感状态是考虑了 Kismet 的动机系统、行为系统以及感知系统的

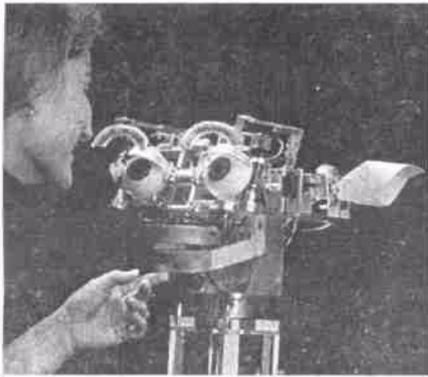


图 1 Kismet 正与 Breazeal 博士亲切交流
Fig. 1 Kismet is communicating with Dr. Breazeal

日本早稻田大学工学部高西研究室从 1996 年起开发出名为 WE-3R 的系列机器人,图 3 所示为 WE-3RV 机器人^[9].它总共有 28 个自由度,其中颈部 4 个、眼球 4 个、眼睑 6 个、眉毛 8 个、嘴唇 4 个、下颚 1 个、肺 1 个,并安装了很多的传感器作为感觉器官.例如:在两个眼球内各装一个黑白 CCD 摄影机感觉视觉信息;在耳部装有微型麦克风,接收声音信息,并根据左、右耳声音的相差来定位声源;用力敏电阻作为触觉器官,由于设计了双层结构,不仅能感知力的大小,而且能区分推、打、抚摸等接触形式;采用 4 个 CMOS 传感器感受温度;以 4 个半导体气体传感器和一个人造的机械肺作为嗅觉器官^[10],能识别酒精、氨水和香烟的气味.可以说,WE-3RV 是目前感觉器官最为齐全的仿人机器人.

WE-3RV 由两台计算机控制^[9],其中计算机 1 通过图像处理获得视觉信息,并综合 4 种感觉器官的信息确定机器人的情感状态.计算机 2 根据计算机 1 提供的视觉和情感信息来控制面部表情、皮肤颜色以及发声系统,并且接收听觉、嗅觉、触觉和热觉信息,判别声源方向、气味种类和接触方式,然后

综合作用而计算得来的,距离该情感点最近的区域将被激活,Kismet 根据被激活区域所代表的情感状态来驱动电机,继而带动面部特征运动,产生相应的面部表情,而情感点与激活区域中心的距离则决定了所产生表情的幅度.

非语言交流方式如:凝视、指示、面部表情、手势等,是婴儿与大人交流信息和情感的主要方式^[7,8],在人类交流能力的发展中起着不可替代的作用.因此,对婴儿交流方式的研究,对于研究仿人机器人的表情产生具有很重要的启迪.

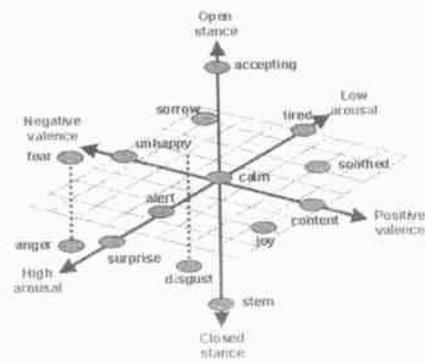


图 2 Kismet 的情感空间
Fig. 2 Emotional space of kismet

传送给计算机 1.

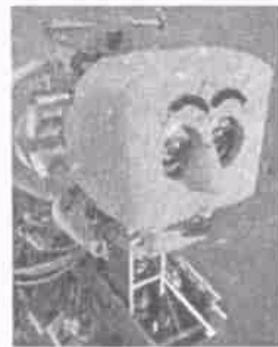


图 3 早稻田大学的 WE-3RV 机器人
Fig. 3 Robot WE-3RV of waseda university

基于 Ekman 划分的 6 种基本表情^[17],设计者为 WE-3RV 定义了 7 种面部模式:中、喜、怒、厌、悲、恐、惊,另外又增加了羞、醉两种表情模式.每一种表情的幅度又按照与中性表情的差别分为 50 个等级. WE-3RV 根据外部刺激改变情感状态和情绪,并通过面部表情、颈部运动和面部皮肤颜色表达出来.如果事先让 WE-3RV 对绿色抱有好奇,则当它眼中的

摄像机看到绿色时,它就会做出高兴的表情,事先让它对红球感到不愉快,那么,它再看到红色时就不高兴了。

抚摸 WE-3RV 的头部,它就高兴.打它的头部,它就表现出惊恐、悲伤等的表情。

听到声音后,它能把头转向发出声音的方向。

当愤怒的 WE-3RV 闻到伏特加的气味,它就会做出愉快的表情。

另外,就像每个人有不同性格一样,WE-3RV 有它的机器人个性^[11-13],包括感知个性和表达个性,这是其它的机器人研究所没有的. WE-3RV 也定义了一个三维的情感空间^[14](如图 4)。

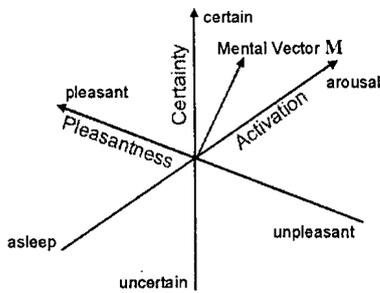


图 4 WE-3RV 的三维情感空间

Fig. 4 3-D emotional space of WE-3RV

由愉快轴(Pleasantness)、激励(Activation)轴和确定(Certainty)轴构成,情感向量 M 表示着 WE-3RV 的情感状态.当 WE-3RV 感知到环境的刺激后,根据情感方程式(1)改变情感向量 M^[15,16],以获得相应的情感状态。

$$\begin{cases} M_{t+\Delta t} = M_t + \Delta M \\ M_t = (a_t, p_t, c_t) \\ \Delta M = (\Delta a, \Delta p, \Delta c) \end{cases} \quad (1)$$

在 2002 年横滨的机器人展会中,东京理科大学的展台上坐着一个身穿白色连衣裙的姑娘,长头发、大眼睛,她就是小林研究室郁雄原教授开发的机器人 SAYA(如图 5),它能扫描注视者的表情,比较眼、口、鼻、眉的距离,并和记忆库中没有表情的面孔对照,识别出该表情所表达的某种情绪,然后由人工肌肉带动并协调 18 个面部关键点的运动,展示出相应的喜悦、生气、惊讶等逼真表情,反映出镜头前的人的表情,这项计划是由改善机器人的表情,来改善人和机器人的关系.如果人们,尤其是老人,不接受机器人,机器人就无法为人类服务,因此我们尝试制造能被老人接受的机器人. SAYA 目前还不能行动,只是一具面部机器人.但她面部五官齐全,也有

皮肤,十分接近真人.郁雄原的下一个目标是让机器人说话,当前他已开始研发有舌头的说话机器人.不久的将来,感情丰富、行动自如的“萨亚”一定会走到你面前。

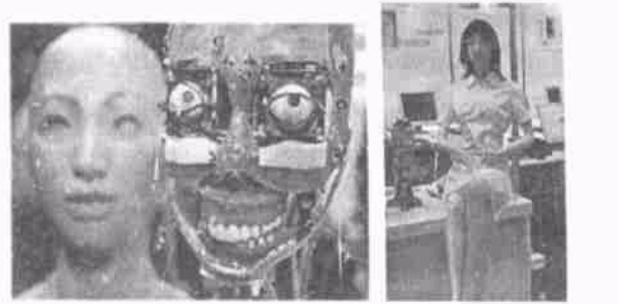


图 5 东京理科大学的 SAYA 机器人

Fig. 5 Robot SAYA of science university of Tokyo

另外,该大学的原文雄也制作了一个机器人 AHI(如图 6)。



图 6 东京理科大学的 AHI 机器人

Fig. 6 Robot AHI of science university of Tokyo

外观上是一个女性的头部,装有假牙、硅橡胶皮肤和假发,形象与人十分接近. AHI 由微型气压柔性驱动器驱动面部 18 个控制点,可以实现人的喜、怒、厌、悲、恐、惊 6 种基本表情.塑料的眼球后面安装了 18mm 的 CCD 微型摄像机,用来采集目标面部图像数据,由大脑里的分层神经网络进行面部表情的实时识别,它可以识别人的喜、怒、厌、悲、恐、惊六种基本表情。

这两个机器人都是基于 Ekman 和 Friesen 的分析方法^[17,22],把 6 种基本表情分解成 14 个面部运动单元(AUS)的组合,通过对面部 18 个特征点的控制,实现各运动单元,进而组合出各种表情.由 RIKEN 脑科学学会的实验室、南加利福尼亚大学的计算机学习及电机控制实验室以及 SARCOS 公司合作开发了名为 MAVeric 的机器人头部(如图 7),它有 7 个自由度,由一个实时操作系统控制,装有包

括位置感觉、力感觉、听觉、视觉等多感知系统^[23, 24]。它的运动是在计算机上编写软件程序来控制的。另外的一个功能是它可以发出声音, 以及伴随着声音的嘴部运动, 计算机传输的指令经 RS232 串行接口输送到一个串行控制电路板, 由 VB 程序编写的活动窗口控制。

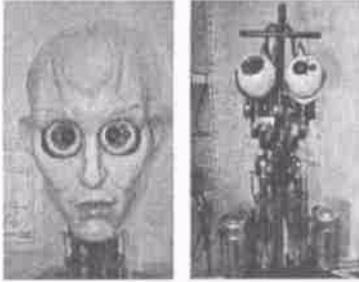


图 7 MAVeric 机器人头部
Fig. 7 Head robot MAVeric

以上是几个有代表性的在头部机器人方面的研究成果, 其他还有日本京都通讯研究室开发的婴儿机器人“Infanoid”^[25, 26], 卡内基-梅隆大学开发的“Beardsley”, 早稻田大学的“ISHA”^[27]、香港模型屋公司制造的机器人头部, 加州大学的机器人头部, 德国帕德伯恩大学 C 实验室的 Mexi, 卡内基-梅隆大学的 4 目机器人头部, Mark Medonis 的 MAXWELL 等等。本田的“阿西莫(Asimo)”, NEC 开发的伴侣机器人“PaPeRo”, Sony 公司的“SKR-4X”机器人, 日本仿人机器人财团开发的“小 IF”, 以及世嘉玩具公司的人形机器人玩具“世博(C-BOT)”等, 也具有一定的表情识别和通过表情表达情感的功能。

4 未来的研究重点及展望(Future research emphasis and prospect of humanoid head)

4.1 表情的细腻化和丰富化

我们知道, 由于诸多因素的综合作用, 使表情的变化细微而复杂, 日常生活中的表情千变万化, 千差万别, 各种表情交叉, 混合。心理学研究表明, 人脸能够产生大约 55000 种不同的表情, 每一种表情都是因人的某种情绪以及不同刺激而产生的, 而能用人类自然语言来区别开的只是微乎其微。目前的机器人表情大多基于 Ekman 所划分的 44 种运动单元和 6 种基本表情, 以及在六种基本表情基础上扩展的若干种表情。并且都是采用某种机械结构带动面部特征点运动产生表情, 虽然可以表现出一定的情绪, 但

看起来还是十分简单、粗糙, 远没有人类的面部表情丰富细腻, 想让服务机器人真正被人类接受, 融入人们的生活, 在这方面还需不断地研究、改进。如: 改进表情机构, 增加面部特征点, 使用人工肌肉等。

4.2 面部表情产生过程心理计算模型的研究

人类从感知刺激到形成情绪、情感、意愿, 再到产生语言、表情等外在反应, 整个过程是一个十分抽象、复杂的心理和生理过程。从工程角度, 如果要在机器人身上模拟人类如此复杂的情感过程, 就必须以数学方式描述从输入到输出整个系统, 建立从环境—感觉—知觉—情绪、意愿—神经、肌肉运动—表情—环境整个过程中, 各层次之间的数学逻辑关系。

4.3 仿生系统致动器的研究

机器人头部有限的空间和成本等因素对应用于仿人机器人头部及面部表情的致动装置提出了很高的要求:

- (1) 致动装置的质量要轻, 体积要小效率要高;
- (2) 反应速度快;
- (3) 动作平稳, 连续, 无冲击;
- (4) 控制尽可能灵活;
- (5) 安全可靠;
- (6) 价格合理。

目前所用的各种致动器从综合角度考虑还不能尽如人意。有待进一步研究开发更适用的致动装置。很值得一提的是, 美国国家航空和宇宙航行局(NASA)和喷气推进实验所(JPL)进行着一个机器人头部的项目^[28], 全部以用电话活化聚合物(EAP)制造的人工肌肉驱动器作为致动装置, 可以产生一定的表情。实际上, 制作该机器人头部的目的就是作为人工肌肉^[29]驱动器的实验平台, 已经作了大量的实验和研究, 但应用还不太成熟。可以说, 这是一个涉及到仿生学、高分子化学、机器人学以及医学的很有前景的研究方向。

4.4 多感知信息融合

人类感知外界多种不同方式的刺激, 并按照自己的方式通过表情或动作表达自己的情感和意愿。概括来说, 感觉系统包括眼、耳、鼻、舌、身, 来自于遍布全身的感觉器官的信息相互配合, 对人产生影响, 而不是单一的某种感觉信息。以往的传感器技术是将传感信息送给各自独立的处理系统。随着对机器人系统性能和仿生水平要求的不断提高, 在一个机器人身上需要装配大量的种类繁多的传感器。统一地处理这些信息意味着增加了待处理的信息量, 很可能会出现各感觉器数据组之间数据矛盾和不协调

现象. 另外, 多种传感器的独立处理系统也使机器人的信息处理和控制系统过于庞大, 不利于实现机器人的独立行动和自治行为的实现. 为了解决这些问题, 需要采用传感器信息融合技术.

我们知道, 目前对于单个传感器的设计及其数据分析和处理已经有了许多成熟理论和应用, 但对于来自于多种传感器的数据融合处理还没有一套完善而且通用的理论方法.

4.5 人工神经网络

人的感觉信息进入大脑皮层后, 先到达各自的初级感觉区, 继而到达各自的次级感觉区, 进而投射到各自相应的感觉联合区, 最后投射到前额叶, 已有实验证明, 视、听、触、嗅、痛、热等感觉都汇聚到前额叶, 甚至到同一神经元上. 概括来说, 人体神经网络是一个广泛并行分布基础上的逐级集中结构. 因此, 只有分层次逐级综合的人工神经网络才能让机器人拥有更高的智能, 以模拟更高级的智力活动, 实现更加自然流畅的反应过程和丰富的表达方式.

4.6 未来展望

由于很多因素的制约, 机器人仿生面部系统目前还基本上处于初步的试验研究阶段, 但已经引起了机器人界足够的兴趣和重视. 作为仿人机器人不可缺少的一部分, 美国、日本等国家的一些大学和科研机构已经对机器人仿生面部系统的研究作了长远的研究计划. 相信不久的将来, 在计算机、人工智能、材料科学、机构学、传感技术、仿生学、控制技术、数学等相关学科发展的推动下, 机器人仿生面部系统方面的研究一定会有更大的突破. 随着世界经济和科技的飞速发展, 护理、娱乐、清扫等服务性机器人即将进入人类的日常生活已经是大势所趋, 人们将要面对的将不再仅仅是冷冰冰的金属, 而是不但能出色的完成需要的工作, 而且具有感情和个性, 能够通过语言、表情和动作去交流的越来越接近人类的仿人机器人.

参考文献 (References)

- [1] Albert Mehrabian. Communication without words [J]. *Psychology Today*, 1968, 2(4).
- [2] Breazeal C. Robot in society: friend or aliance [A]. In *Proceedings of the 1999 Autonomous Agents Workshop on Emotion-Based Agent Architectures*[C]. Seattle: WA, 1999B: 18- 26.
- [3] Breazeal C, Scassellati B. How to build robots that make friends and influence people[A]. 1999, IROS' 99[C]. 858- 863.
- [4] Breazeal C, Scassellati B. A context-dependent attention system for a social robot [A]. In *Proceedings of the Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI99)*[C]. Stockholm, Sweden: 1146- 1151.
- [5] Cynthia Breazeal. Sociable Machines: Expressive social exchange between humans and robots[D]. MIT, 2000.
- [6] Breazeal C, Scassellati B. Infant-like social interactions between a robot and a human caretaker[J]. *Adaptive Behavior*, 2000, 8 (1).
- [7] BREAZEAL C. Emotive qualities in robot speech [A]. In *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-2001)* IEEE, 2001 [C]. 1389- 1394.
- [8] Breazeal C. *Designing Sociable Robots*[M]. MIT Press, 2002.
- [9] Hiroyasu Miwa, Hideaki Takanobu, Atsuo Takanishi. Human-like head robot WE-3RV for emotional human-robot interaction [A]. *Fourteenth CISM-IFTOMM Symposium* [C]. RoManSy 2002. 519- 526.
- [10] Hiroyasu Miwa, Tomohiko Umetsu, Atsuo Takanishi, Hideaki Takanobu. Human-like robot head that has olfactory sensation and facial color expression[A]. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation* [C]. 2001. 459- 464.
- [11] Hiroyasu Miwa, Tomohiko Umetsu, Atsuo Takanishi, Hideaki Takanobu. Robot personalization based on the mental dynamics [A]. *Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*[C]. 2000. 8- 14.
- [12] Hiroyasu Miwa, Atsuo Takanishi, Hideaki Takanobu. Experimental study on robot personality for humanoid head robot[A]. *Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*[C]. 2001. 1183 - 1188.
- [13] Hiroyasu Miwa, Atsuo Takanishi, Hideaki Takanobu. Development of a human-like head robot WE-3RV with various robot personalities[A]. *Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Humanoids Robots*[C]. 2001. 117- 124.
- [14] Hiroyasu Miwa, Tomohiko Umetsu, Atsuo Takanishi, Hideaki Takanobu. Robot personality based on the equations of emotion defined in the 3D mental space[A]. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*[C]. 2001. 2602- 2607
- [15] Atsuo Takanishi, Kensuke Sato, Kunio Segawa, Hideaki Takanobu, Hiroyasu Miwa. An anthropomorphic head-eye robot expressing emotions based on equations of emotion[A]. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*[C]. 2000. 2243- 2249.
- [16] Hiroyasu Miwa, Hideaki Takanobu, Atsuo Takanishi. Human like robot head that has personality based on equations of emotion[A]. *Preprints of the Sixth Symposium on Theory of Machines and Mechanisms*[C]. 2000. 1- 8.
- [17] Ekman P, Friesen W V. *Facial Action Coding System* [M]. California: Consulting Psychologists Press, Palo Alto. 1977.
- [18] Fumio Hara, Hidetoshi Akazawa, Hiroshi Kobayashi. Realistic

- facial expressions by SMA driven face robot[A]. Proceedings of IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication[C]. (2001-09). 504-510.
- [19] Hiroshi Kobayashi, Ichikawa Y., Tsuji T. Face robot toward realtime-rich facial expressions [A]. Proceedings of IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication[C]. (2001-09). 518-523.
- [20] Hiroshi Kobayashi, Ichikawa Y., Tsuji T., Kikuchi K. Development on face robot for real facial expressions [A]. Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [C]. Maui, Hawaii, USA: 2001. 2215-2220.
- [21] Hiroshi KOBAYASHI, Seiji SUZUKI, Hisanori TAKAHASHI, Akira TANGE and Kohki KIKUCHI. Automatic contour extraction of facial organs for frontal facial images with various facial expressions[J]. JSME International Journal Series C, 2002, 45(1): 298-305.
- [22] Ying-li Tian, Takeo Kanade, Jeffrey F. Cohn recognizing action units for facial expression analysis[J]. In Proceedings of the IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(2).
- [23] Sethu Vijayakumar, Jorg Conradt, Tomohiro Shibata, Stefan Schaal. Overt visual attention for a humanoid robot[A]. In Proc International Conference in Robotics and Autonomous Systems (IROS 2001)[C]. Hawaii: 2001. 2332-2337.
- [24] Sethu Vijayakumar, Aaron D'Souza, Tomohiro Shibata, Jorg Conradt, Stefan Schaal. Statistical learning for humanoid robots [J]. Autonomous Robots, 2002, 12(1): 55-69.
- [25] Hideki Kozima, Cocoro Nakagawa, and Hiroyuki Yano. Emergence of imitation mediated by objects[A]. The Second International Workshop on Epigenetic Robotics[C] (Edinburgh, Scotland): 2002.
- [26] Kozima H. Infanoid: a babybot that explores the social environment. In Dautenhahn, K, Bond, A H, Cramer, L, and Edmonds, B. (eds). Socially Intelligent Agents: Creating Relationships with Computers and Robots[M]. 2002. 157-164, Kluwer: Academic Publishers.
- [27] Kenji Suzuki, Riku Hikiji and Shuji Hashimoto. Development of an autonomous humanoid robot [J]. ISHA, for Harmonized Human-Machine Environment. Journal of Robotics and Mechatronics, 2002, 14(5): 324-332.
- [28] Worldwide EAP (Artificial Muscles) Newsletter[J]. 2002, 4(1).
- [29] Richardson RC, Watterson K, Levesley M, Brown M, Hawkes J, Walker P. Biologically inspired control for artificial muscles [A]. SPIE conference on Electroactive polymer actuators and devices[C]. March, California: 2002.

作者简介:

- 罗旆亘 (1972-), 男, 硕士研究生, 研究领域: 仿生机器人。
 张永德 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究领域: 仿生机器人, 医疗机器人, 多指灵巧手。
 宋继良 (1944-), 男, 教授, 研究领域: CAD/CAM, 机器人机构学。

告广大作者、读者

尊敬的作者、读者:

我部自开通电子信箱投稿以来, 极大地方便了广大作者、读者。现在网上投稿日益增多, 造成信件大量堆积。一方面由于编辑部条件有限; 另外, 有的电子邮件带病毒, 使网络经常出现故障, 严重地影响了编辑部的正常工作。鉴于上述原因, 今后我部决定不再接收电子信箱投稿, 作者、读者投稿一律通过邮局寄往我部。经审查, 编辑部决定录用的稿件可以通过电子信箱发来。

望广大作者、读者周知。

《机器人》、《信息与控制》编辑部

2002. 4. 10