

人工情感研究综述

祝宇虹^{1,2}, 魏金海^{1,2}, 毛俊鑫^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 机电工程学院 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨工业大学 机器人技术与系统国家重点实验室 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 简要论述了人工情感在人工智能中的重要性和作为人工情感研究理论基础的天然情感理论, 并对人工情感的各个研究诸如情感建模、情感识别、情感表达、人工情感机理等分别进行了较为详细的分析与综述, 对人工情感的发展趋势进行了展望。

关键词: 人工情感; 人工智能; 情感理论; 情感建模; 情感识别

中图分类号: TP 242 文献标识码: A 文章编号: 1671-7147(2012)04-0497-08

Summary of Artificial Emotion

ZHU Yu-hong^{1,2}, WEI Jin-hai^{1,2}, Mao Jun-xin^{1,2}

(1. School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: This paper gives a brief introduction of the importance of artificial emotion in the artificial intelligence and natural emotion theories which is the basis of artificial emotion; It also gives a detailed discussion on the research of affective modeling, emotion identification, emotion expression and artificial emotion mechanism. At last, it analyzes the trend of the development of artificial emotion.

Key words: artificial emotion, artificial intelligence, emotion theory, affective modeling, emotion identification

随着机器人技术在生活中的应用范围越来越广,人们对机器人智能化水平的要求越来越高,人工智能代表了机器人智能化水平的高低。情感智能是人工智能不可或缺的组成部分,在人类生活中起着至关重要的作用。现在随着人工智能研究的不断深入,越来越多的研究者开始关注人类的情感智能,并将其用于机器人的智能化控制中。人工情感^[1]是模拟人类情感智能的一门新型的交叉学科,涉及心理学、神经生理学、计算机科学、脑科学等学科,以数学语言对人类情感进行建模,使机器能够识别或表达人类情感,从而和谐地与人进行人机交互;甚至还可以通过模拟人类情感机理,赋予机器

更高的智能。

人工智能学界对于人类自然情感的研究已有40余年的历史。上世纪60年代,Simon开始研究人类情感对认知过程的作用;到了80年代初,Slovan开始对人类情感进行建模。但是早期的研究者对将情感引入人工智能争论不休,直到上世纪末,神经科学的新发现从理论上证明人类智能受到情感的重要影响。A. Damasio的著名实验对此给出了充分的证据^[2]。神经科学的新发现与Damasio实验深刻地影响了人工智能领域对于情感作用的看法。另外,随着人们对机器人拟人化程度以及自适应要求的不断提高,同时要求和谐人机交互,单纯的逻辑

收稿日期: 2012-03-10; 修订日期: 2012-04-05。

作者简介: 祝宇虹(1959—),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师,硕士生导师。主要从事医疗机器人、机器人智能控制、人工情感等研究。Email: zhuyuh@hit.edu.cn

辑推理已经很难满足机器人新的发展需求,人工智能学界开始转向情感以寻求解决的方法。因此,近年来人工情感的相关研究开始受到越来越大的重视,相关会议、文章、杂志逐渐增多,人工情感的研究范围也逐渐拓宽,从情感计算、识别与表达,延伸至人工情感机理等研究,国内外研究者已取得了一系列成果。

1 人工情感基础——情感理论

情感理论是解释情感体验的生理和心理方面关系的理论,也是人工情感研究的理论基础,目前还未出现一个统一的情感理论,较为常见且被认可的理论主要有情感的生理反应理论、中枢神经过程理论、情感的认知评价理论等。

1.1 情感的生理反应理论

情感的生理反应理论是以情感与外周生理反应关系为重点,研究情感生成过程的情感理论,以詹姆斯—兰格的躯体反应理论为代表^[3]。

起初,人们普遍认为情感的发生先于反应,例如,对某人大叫,也许是因为感到气愤。然而在100多年前的1884年和1885年,美国心理学家威廉·詹姆斯和丹麦生理学家卡尔·兰格先后对此提出异议,他们认为,这个顺序是相反的,人们的感受要晚于躯体反应。正如詹姆斯所说,“我们感到难过,是因为我们哭泣,气愤是因为我们斗争,害怕是因为我们颤抖”。这种情感源于生理反应的观点被称为情感的詹姆斯—兰格理论。根据这一理论,体验到一个刺激引起的自动唤醒和其他躯体行动后,才会产生特定的情感。詹姆斯—兰格理论被看做是外周主义的理论,因为它将情感链中最重要的角色赋给了内脏反应,而控制它的自主神经系统的反应是中枢神经系统的外周。

1.2 情感的中枢神经过程理论

情感的中枢神经过程理论认为情感的生成主要由中枢神经系统决定,以坎农—巴德理论为代表^[3]。

以生理学家沃特·坎农和菲利普·巴德为代表的情感中枢主义学者反对外周主义。他们认为内脏反应不是情感反应的主要内容,一切行为都集中于中枢神经系统。1980年,坎农指出詹姆斯—兰格理论的一系列不足^[4]。例如,文章提到,内脏反应与情感无关,即使通过手术切断内脏与中枢神经系统的联系,实验动物仍然具有情感反应。文章还认为,自主神经系统的反应显然太慢,以至无法成为引发情感的源头。根据坎农的看法,情感反应要求大脑在输入刺激和输出反应中起作用。来自丘

脑的信号到达皮层某一位置,产生情感感觉,到达另一位置引发情感表达。这些观点被综合进了情感的坎农—巴德理论。该理论说明了情感刺激产生的唤醒和情感体验,它们同时发生,但互相之间没有因果关系。如果某件事令你生气了,你的心跳加快的同时,你会想“太可气了!”但是既不是你的躯体也不是你的精神导致了另一种反应。坎农—巴德理论预测了躯体和心理反应的独立性。

1.3 情感的认知评价理论

情感的认知评价理论是目前最广为接受的情感理论,许多研究者致力于认知评价理论的研究,其中以斯坦利·沙赫特、理查德·拉萨如为代表^[3]。

根据斯坦利·沙赫特的理论,情感体验是一种生理唤醒和认知评价相结合的状态,两者对于情感的发生同等重要。所有的唤醒都被假定为一般的、没有差别的,而且唤醒是情感序列的第一步。斯坦利·沙赫特认为,我们的情感是由我们自己的认知标准决定的,我们对自己的生理唤醒进行评价,决定哪个情感最适合评价规则,从而决定了我们将得到哪些特定的情感体验。理查德·拉萨如坚持“情感体验不能被简单理解为在个人或大脑中发生了什么,而要考虑和评估环境的交互作用”。他还强调评价通常是在无意识状态下发生的。当我们拥有和产生情感的情境相关的过去经历时,比如我们曾经遇到过某种威胁,而当下次遇到这种威胁时,我们就无需再刻意对自己的唤醒进行环境上的解释了。这种主张被定义为情感的认知评价理论。

1.4 3种情感理论比较

情感过程是一个极其复杂的过程,目前任一情感理论都不能完全解释所有的情感现象。不同的情感理论从不同角度解释情感的产生过程,各有不同的适用范围。它们假定了不同的情感成分以及外界刺激导致情感的不同过程。在詹姆斯—兰格理论中,刺激引发自主的唤醒和行为,被知觉到后引发特定的情感反应。在坎农—巴德理论中,刺激首先作用于大脑的不同中心,直接刺激产生唤醒反应、行为行动和情感体验。在认知评价理论中,刺激事件和生理唤醒都同时依据情境线索和环境因素得到认知评价,在唤醒水平和评价性质的交互作用中产生情感体验。

2 人工情感研究历史与现状

人工情感是以人类自然情感理论为基础,结合人工智能、机器人学等学科,对人类情感过程进行建模,以期获得用单纯理性思维难以达到的智能水

平和自主性的一种研究方向。目前,研究者的研究方向主要是人工情感建模、自然情感机器识别与表达、人工情感机理等 4 个方面的内容。其中,尤以人工情感机理的研究困难最大,研究者也最少。

2.1 人工情感建模

人工情感研究的基础是情感建模。所谓情感建模就是以量化的形式,将人类的自然情感抽象简化,从而建立适用于机器人或者虚拟 Agent 的情感计算模型。情感建模的目标是建立一个适用于所有(至少是大多数)机器人或虚拟 Agent 情感体系的情感计算模型。但由于“情感”这一概念的特殊性(至今没有统一的定义、没有统一的理论框架、没有明确的分类依据),目前,绝大多数的情感模型都只针对特定的机器人而建立。为了建造情感智能主体,研究者必须针对自己的需求,建立适合自己的计算模型。

类似于人类的自然情感理论,研究者也从不同角度来建立人工情感模型,有的模型强调动机及其对情感过程和行为的影响,有的则根据事件发生的概率来模拟情感生成。目前人工情感模型多种多样,其中影响较为深刻的有 OCC 情感模型、EM 情

感模型和 PEACTIDM 模型^[5]等。

下面对几种主要的情感模型进行介绍。

OCC 模型^[6]是由 A. Ortony, G. Clore, A. Collins 模型发展起来应用最为广泛的情感模型。其立足于情感的产生规则,是首个以计算机实现为目的的情感模型,所以通常被称为人工情感的母模型。

OCC 模型以情感的认知评价理论为基础,设定了不同情感的产生规则。OCC 模型中,情感产生过程如下:首先确定 3 组有关情感生成规则的评价变量,分别是对象、标准、事件,每组评价变量又区分为“合意的”或“不合意的”,然后根据其中一组或多组的评价结果,与情感生成规则进行匹配,评价结果不同的取值组合匹配到不同的情感类型,从而确定目前经历的是何种情感。

不同于其他许多情感模型, OCC 模型中,情感的产生基础不是基本情感集合,或是基于维度理论的极大无关组,而是对事件和对象的评价标准,由此来诱发情感。以后的许多情感模型都是由 OCC 模型为基础拓展而来的。OCC 情感模型如图 1 所示,该模型规定了 22 种情感类型。此外,具有更重要意义的是,该模型给出了支持扩展的情感产生规则。

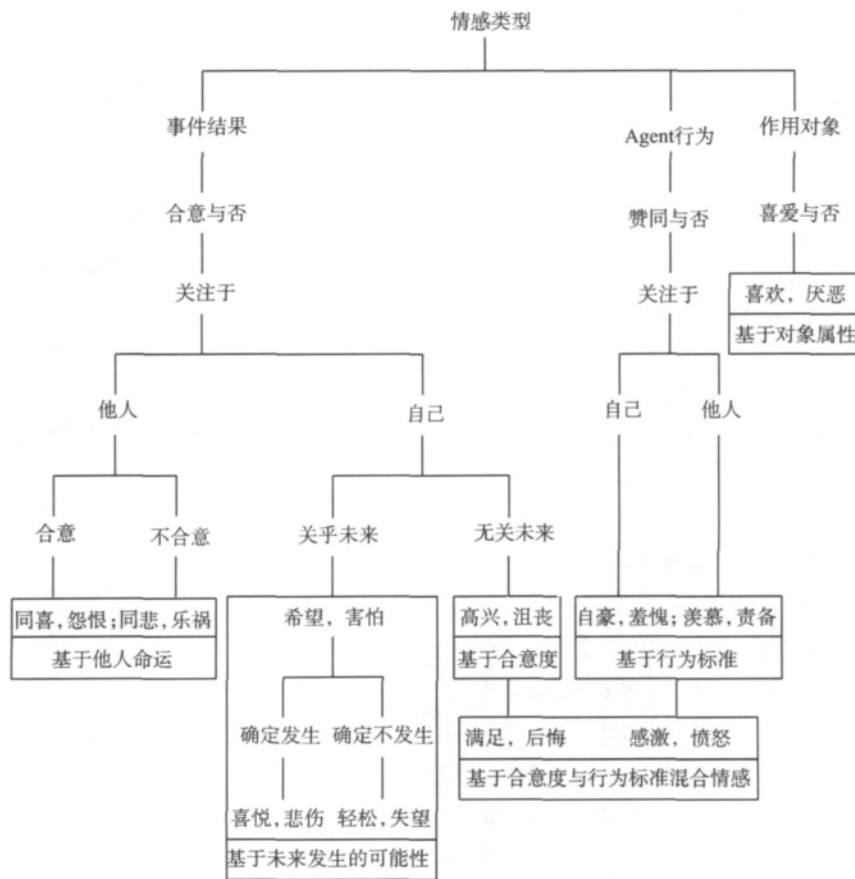


图 1 OCC 情感模型

Fig. 1 OCC emotion model

EM 情感模型^[7]是 Reilly 和 Bates 开发 OZ 项目中的一个情感模块。该项目构建了一个虚拟 Agent，模拟类人行为，从而实现和谐人机交互。EM 作为情感模块，其在系统中的作用是赋予虚拟 Agent 以人类情感，实现更真实拟人的行为输出。OZ 项目中的 Agent 处于一个“社会”集体中，EM 根据主 Agent(与人直接交互)的当前状态、喜好特征、行为准则、目标以及与其他 Agent 交流的结果等来触发相应的情感。同时，EM 也引入了阈值机制，通过时间及情感强度累积，也可以引发新的情感状态。EM 情感模型如图 2 所示。

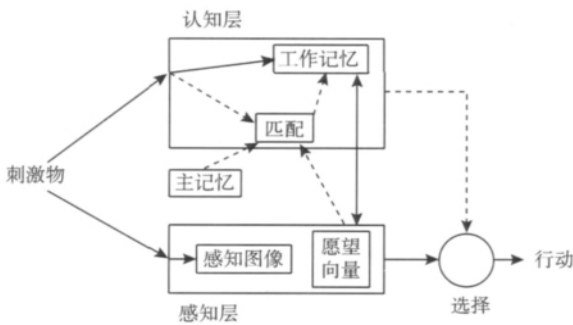


图 2 EM 情感模型

Fig. 2 EM emotion model

PEACTIDM 模型^[8]是由 Robert P Marinier 和 John E Laird 提出来的，它是一种基于认知评价理论的情感模型。该模型集成了情感、情绪、感觉等不同形式的主观体验模块。其情感产生过程基于 8 个抽象的功能算子：接收 (Perceive)，编码 (Encode)，关注 (Attend)，理解 (Comprehend)，规划 (Tasking)，意图 (Intend)，译码 (Decode)，行动 (Motor)。在每一个情感生成过程中进行一次算子循环，系统根据各算子的结果生成对应的情感，该模型的显著特点是利用复杂严密的逻辑推理过程生成情感。Robert P Marinier 和 John E Laird 认为，情感、情绪、感觉的持续时间不同，依次变长，所以情绪的衰减速度较情感慢，而感觉则不衰减，由一定的时间长度内的情感与情绪体验来改变。PEACTIDM 情感模型如图 3 所示。

除了以上 3 种最为常见的情感模型外，目前存在许多其他的情感模型。由于自然情感研究的限制，人工情感建模没有统一的指导理论，所以产生了各种各样不同适用性的情感模型。例如，Sloman 的 H-CogAff 情感模型^[9]，致力于涵盖人类处理信息的主要特征，认为人类信息处理过程至少有 3 层体系结构：反应层，传输层，自我监控层。该模型的最大贡献在于其“同样的情境可能导致不同的情感状态”的观点。

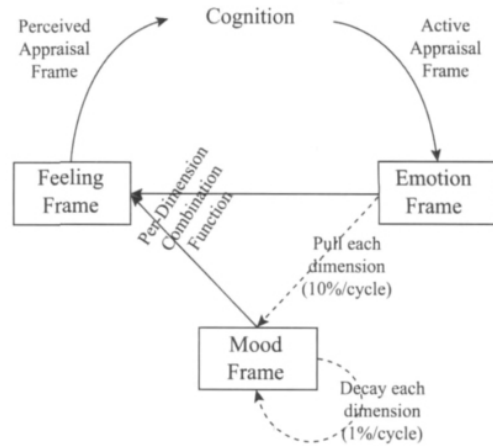


图 3 PEACTIDM 情感模型

Fig. 3 PEACTIDM emotion model

Hirohide 等人提出的情感模型^[10]是基于设计的模型，该模型由反应层和规划层构成。其中，反应层处理简单的条件反射情感，规划层处理复杂的认知推理情感。Kshirsagar 等人的情感模型^[11]，用于虚拟人个性、心境、情感的仿真。模型采用 4 种成分完成文本输入到虚拟人情感的映射。Elliott 的 Affective Reasoner^[12]是基于 OCC 模型的情感模型，同时也是基于认知评价理论的情感模型，它实现了计算机系统的情感推理。Cathexis 的模型^[13]是一种基于多种机制的情感合成模型，实现了情感的分布计算。该模型利用 4 种传感器的传感信息改变情感类型或强度。Canamero 提出的情感模型^[14]，模拟人体各种荷尔蒙变化，对虚拟智能主体，建立起了基于动机的行为选择机制，并把它应用到实际机器人中，使之与外界环境进行实时交互。

2.2 情感识别

人工情感的一个重要研究方向是自然情感的机器识别方法。目前人工情感在情感识别方向的研究有生理信号识别、面部表情识别、姿态表情识别和语音识别等。

2.2.1 生理信号情感识别 Picard 等人根据人体在不同情境下的皮肤导电性、血压、肌电信号、呼吸气流量来判断当前所处情感状态^[15]。他们据此识别了包括中性情感(无情感)在内的 8 种情感，识别率达到 81%。但其缺陷在于他们只能识别情感的种类，不能给出所属情感的精确强度值。

Schwartz 等人通过实验，证明了颧肌、皱眉肌的活动差异以及周围肌 EMG 的水平差异与情感相关^[16]。他们通过要求被试者想象与兴奋、恐惧、高兴、悲伤等情感有关的事件，实验者则同时记录被试者相应肌肉的活动以及 EMG 水平，发现正面情感更易引起颧肌活动，负面情感则更易引起皱眉肌活动。

Andrea 等人用国际标准的情感图片库引发被试者情感^[17],采集被试者的脉搏、肌电信号、皮肤温度、表皮电导率等生理信号,并提取特征,采用模式识别方法对各胜利信号特征值进行分类,从而识别出6种情感状态。

Wagner J 等人用音乐作为诱发信号^[18],激发被试者悲伤、愤怒、愉悦、高兴4种情感,采集被试者的呼吸信号、血压、皮肤电导。研究者运用概率分析的方法,对采集到的生理信号进行方差分析和主元分析。将提取到的特征进行模式识别、特征映射进行情感分类。在他们的工作中运用了更多的模式识别方法,且对有噪声干扰的原始信号进行Fisher映射,保证了特征降维的有效性。

2.2.2 面部表情识别 人脸面部表情识别是上世纪90年代才发展起来的研究方向,但却是目前自然情感机器识别中研究最多的领域,尤其是在美国、日本,人脸表情识别的研究逐渐成为人工情感识别的热点。

国外研究机构中,麻省理工大学、Maryland 大学、卡耐基梅隆大学、ATR 研究所、Standford 大学、东京大学的贡献尤为突出。国内也有许多大学、科研机构参与面部表情识别的研究,如哈尔滨工业大学、北京科技大学、清华大学、中国科学院等。

Mase 等人使用光流法来跟踪运动单元,对面部表情同时进行至上而下和至下而上的分析方法^[19]。Mase 将研究重点放在了面部肌肉运动的计算上,而不是特征点的运动。Mase 的实验采用自己的面部照片,将照片中表现的情感分为4类:愤怒、惊奇、厌恶、高兴。分类方法采用K近邻法,正确识别率为80%。

Li Hai-bo 等人提出基于模型的识别方法^[20],该方法结合了机器视觉的反馈控制思想和计算机图形学,它应用于面部轮廓提取与图像编码系统中。这一方法只能对面部图像进行宏观的观察分析,而对面部肌肉运动细节则无能为力。

Trevor 等人利用神经网络和插值算法,对人脸面部表情进行实时合成^[21]。这种方法属于较为初级的识别方法,由研究者手工设定基准点,故对于特定被试者的识别率很高,而对被试者之外的人则识别率欠佳。

2.2.3 姿态表情识别 姿态表情识别方法目前常见有以下两种:(1)通过对人们日常的行为动作进行研究分析,识别其中所包含的情感信息;(2)通过对姿态动作的幅度、节奏、力度等时空特性的分析,

来识别其中所包含的情感信息。

Camurri 等人通过对姿态动作的力度和节奏识别当前情感类型^[22]。他们成功设计了一套系统来获取姿态动作数据,然后用信号处理算法和多层次信号向量分析处理得到的力度、节奏数据,最后利用可扩展的特征集合,将处理后的数据映射到悲伤、快乐、恐惧、生气这4种基本情感。这种方法不同于其他通过特定姿态动作识别情感的方法,该方法避免了不同文化的习惯差异,对不同群体都有较高的识别率。

2.2.4 语音信号情感识别 语音信号情感识别是一个模式识别问题。目前,绝大部分分类和模式识别方法都曾被用于语音信号中的情感信息识别,包括隐马尔可夫模型、人工神经网络、混合高斯模型、最大似然贝叶斯分类和支持向量机等。

Nicholson 等人用 ONOC (One-Class-In-One) 的网络拓扑结构^[23],每个子网络都对应一种情感类型,这样训练后的子网络输出就代表情感类型的不同组合,据此决策,获得情感识别结果。语音特征设定为基音、功率、LPC 和 LPC 变化,每句语句都被等分为20段。该方法的识别准确率:对于训练集,低于73%;对于训练集之外的语音信号,低于60%。

Park 等人用动态循环神经网络(DRNN)模拟人脑的非线性动态特性^[24]。他们利用基音特征和一个循环神经网络(RNN)进行4种情感的分析 and 识别,该神经网络具有一个输入节点、两个隐层节点和4个输出节点。该方法的平均识别准确率为77%。

2.3 情感表达

随着对机器人要求的不断提高,拟人机器人研究不断深入,人们开始关注这样一个研究方向:将人类的情感表达能力赋予机器人。这就要求机器人本体需要头、面部、手臂、腿等类人的机械框架。机器人的情感表达研究在全世界都有进行,尤以日本和美国成果最突出,国内的一些研究机构也有涉及该方向的研究。自然情感机器表达的国内外研究主要成果见表1^[1]。

部分具有情感表达功能的机器人如图4所示。

2.4 人工情感机理

在自然情感作用于人类智能的机理方面,科学家普遍认为情感的作用主要体现在以下几个方面^[25]:一是情感监控着人类的认知过程,二是情感是外界环境与自身体验的联系方式,三是情感以刺激源或者强化源的方式作用于人类的学习行为。

表1 人工情感表达主要研究成果

Tab.1 Main research results onartificial emotional expression

机器人	研究方法	功能与特点	研究者
Kismet	与计算机相连,面部特有15个自由度,每只眼睛装有一个彩色CCD摄像机,在耳朵上装有微型传声器	婴儿机器人:一个头部,具有视觉和听觉;能模仿父母与孩子之间表示情感的反馈方式	美国麻省理工学院人工智能实验室
WE-4R	1996年起开发了名为WE系列的仿人头部机器人,安装了多种传感器作为感觉器官	可以识别任何颜色;接受声音信息;能识别不同的触觉行为;能感受温度;能识别酒精、氨水和香烟的气味	日本早稻田大学理工部高西研究室
SAYA	外观是女性的头部,装有假牙、硅橡胶皮肤和假发。微型气压柔性驱动器驱动面部18个控制点	可以实现并实时识别和表达人的喜、怒、哀、乐、厌、悲、恐、惊6种基本情感	东京理科大学小林研究室原文雄
H&F ROBOT-I	仿人头像机器人:具有14个自由度,其中头部具有7个自由度	实现了对人体头部器官运动和基本面部表情的模仿	哈尔滨工业大学机械设计与理论教研室吴伟国
PKD	通过机器人内部的机械装置,依照相应的向量来改变面部表面形状,从而产生各种表情	质量轻、能耗低	David Hanson
MAVeric	VB程序控制运动,计算机传输指令经RS232串行接口输送到一个串行控制电路板	机器人仿生面部系统包括位置感觉、力感觉、听觉、视觉等多感知系统;可以发出声音,并伴有声音的嘴部运动	RIKEN脑科学实验室、USC计算机及电机控制实验室和SARCOS公司
Repliee Q2	富有弹性的皮肤,躯体内安装有31部驱动器	具有一般日本女人的相貌特征,类似人类身体语言的动作	日本大阪大学石黑浩
Actroid	全身安装有31个驱动器和11个触觉传感器	有拟人表情,能听懂40000多个中文、英文、日文和韩文语句	日本可可洛公司和先进传媒联合制造
ER-1	机器人头部由舵机驱动,由各特征点的运动合成形成机器人的面部表情	有颈部、眼睛、眼睑、嘴、下巴、骨架;能模拟惊讶等6种基本情感,具备语音和姿态表达能力	北京科技大学王志良领导的机器人研究课题组

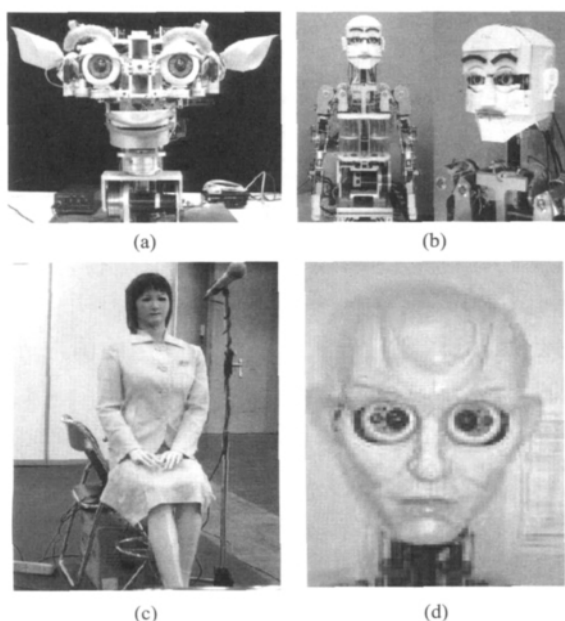


图4 4种机器人
Fig.4 Robot for four

人工情感对于机器人的认知智能是在自然情感机理的基础上进行研究的。目前关于人工情感机理,受到广泛认可的是其作为机器人学习的强化信号、时间受限情况的辅助推理和机器人的行为动机。在机器人系统中,情感的作用主要体现在两个方面^[26]:首先,人工情感是联系机器人内部状态和外部环境状态的媒介,影响着整个信息处理的过程;其次,人工情感与外界环境一起,以强化源的形式作用于机器人学习过程。类似于人类自然情感,机器人在学习中,其行为选择也应以追求最大化积极情感为目标。

根据 Damasio 的机体标记理论^[2],在复杂难以建模、资源有限且有多目标的环境中,可以通过建立机器人情感与内部状态(如口渴)的映射关系,这样,人工情感就可以作用内部调节机制来激发智能主体的状态转移。人工情感机理在机器人上应用最多的是与智能算法的结合,以改进算法效率,从

而提高机器人性能,在机器人足球、Adam 世界里都有这方面的实际应用。另外,人工情感机理也被用来建立机器人控制体系,目前已经有多种基于人工情感机理的控制体系结构。但是,受到自然情感机理研究的限制,人工情感机理的研究依然是人工情感领域被研究最少的方向。人工情感研究者的最终目的是在实际机器人中引入情感机理,以实现具有认知智能和情感智能的完全拟人机器人。

3 展望

虽然关于人工情感研究已取得了一些成果,但是由于情感的多样性,还有与行为之间的复杂联系,所以关于人工情感的研究还有很大的发展空间。随着对人工情感研究的深入和其他相关技术的发展,下述几个方面已经成为未来的发展趋势^[27]:

1) 多模态融合的情感识别。情感识别领域的研究已经取得了一定的进展,为进一步深入研究积累了一定的方法和经验。然而到目前为止,所进行的研究都是单模式研究,这些研究均有其特定的应用条件和局限性,不具有通用性,难于用于后续深入研究。因此,将各种技术和方法进行有效地融合将是未来情感识别技术发展的途径之一。

2) 人工情感统一模型的建立。现在人工情感模型均是针对特定的应用背景,建立模型的角度也不一致,有其特定的适用性,这对后续人工情感建模的深入研究及其应用具有很大的限制。所以建立一个统一的人工情感模型,使之能够用于所有的智

能机器人或者虚拟智能体是未来情感建模技术发展的一个趋势。

3) 情感自动生成理论。人工情感的理想目标是使机器能够像人类一样具有自发情感,因为自发情感是情感行为的内在动力,并通过外在的情感行为表现出这样的内在情感动力。建立一个具有普遍意义的情感生成模型还有赖于多学科、多侧面的长期努力,但目前特定领域建立一个系统化、结构化、可操作的情感模型将会对人工情绪的研究起到极大的推动作用。

4) 系统的实时性及多模态的情感表达。在很多应用场合下,要求系统能够进行情感信息的动态跟踪、识别,并且要求及时地反馈情感行为,但是目前还没有能够满足这种需求的动态识别技术以及情感学习算法。因此,开展动态情感识别研究将有着特殊的价值和前景。另外,多模态的情感反馈能够提供给使用者更多的信息,更易于被人们接受,是未来发展的一个方面。

人工情感代表人工智能的一个新的研究方向,目前尚处于起步阶段。受心理学、生理学等学科研究的限制,还未能有一个广为接受的情感理论,致使人工情感模型多种多样,基于人工情感的机器人大多还停留在实验室阶段。但是,人工情感的发展已显示出强大的生命力,它扩展了人工智能框架,提供了一种可赋予机器人不同于认知智能的新的智能形式,这是人工智能对人类智能的一次重要逼近。随着各相关学科研究的深入,人工情感必然给人工智能研究带来质的飞跃。

参考文献(References):

- [1] 王志良. 人工情感[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] Ventura R, Pinto-Ferreira C. Emotion-based agents: three approaches to implementation [C]//Proc of Workshop on Emotion-Based Agent Architectures. Seattle: ACM Press, 1999: 121-129.
- [3] 理查德·格里格, 菲利普·津巴多. 心理学与生活[M]. 王垒, 王甦, 译. 北京: 人民邮电大学出版社, 2003.
- [4] Leventhal H. Towards a comprehensive theory of emotion [C]// Berkowitz L. Advances in Experimental Social Psychology. New York: Academic Press, 1980, 13: 139-207.
- [5] Armony J. Computational models of emotion [C]// Processing of the International Joint Conference on Neural Networks. Washington, D C: 2005: 1598-1602.
- [6] Elliott C. The affective reasoner: a process model of emotions in a multi-agent system [D]. Technical Report of the Institute for the Learning Science. Evanston IL: Northwestern University, 1992.
- [7] Reilly W S. Believable Social and Emotional Agents [M]. Pittsburgh, PA: School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1996.
- [8] Robert P Marinier, John E Laird. Computational modeling of moods and feeling from emotion [C]// The 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society. Cambridge, Massachusetts [s. n.] 2007.
- [9] Aaron Sloman. What are emotion theories about? [C]//American Association for Artificial Intelligence. Paul, Minnesota [s. n.] 2007.

- n.] 2004.
- [10] Hirohide Shida. Interactive agents with artificial mind [J]. *International Journal of Computational Intelligence*, 2004, 1(4): 323-327.
- [11] Kshirsagar S, Magnenat-Thalmann N. A multiplayer personality model [C]// *Proceedings of the 2nd International Symposium on Smart Graphics*. New York: ACM Press, 2002: 107-115.
- [12] Sloman A. Varieties of affect and cogAff architecture schema [C]// *Proceedings of the Symposium on Emotion, Cognition, and Affective Computing at the AISB'01 Convention*. [s. l.]: Society for the study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behavior, 2001.
- [13] Velasquez J D. Modeling emotions and other motivations in synthetic agents [C]// *Proceedings of The Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence*. New York: AAAI Press, 1997: 10-15.
- [14] Canamero L D. Designing Emotions for Activity Selection in Autonomous Agents *Emotions in Humans and Aitifacts* [M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003, 115-148.
- [15] Picard R W, Vyzas E, Healey J. Towards machine emotional intelligence: analysis of affective physical state [C]// *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*. New York: IEEE, 2001: 175-119.
- [16] Schwartz G E, Fair P L, Salt P, et al. Facial muscle patterning to affective image in depressed and nondepressed subjects [J]. *Science*, 1976, 192: 489-491.
- [17] Andrea Haag A, Goronzy S, et al. Emotion recognition using biosensors: first steps towards automatic system [C]// *Proceedings of the Kloster Irsee Tutorial and Research Workshop on Affective Dialogue Systems*. Germany: Springer Verlag, 2004: 36-48.
- [18] Wagner J, Kim J, Andre E. From physiological signals to emotions: implementing an comparing selected methods for feature extraction and classification [C]// *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. Paperback, Wiley: IEEE Computer Society Press, 2005: 940-943.
- [19] Kenji Mase. Recognition of facial expression for optical flow [J]. *IEICE Trans Special Issue on Computer Vision and Its Application*, 1991, E74(10): 3474-3483.
- [20] Li Hai-bo, Pertti Roivainen, Robert Forheimer. 3D motion estimation in model based facial Image coding [J]. *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, 15: 545-555.
- [21] Demetri Terzopoulos. Physically-based facial modeling analysis and animation [J]. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 1990, 1(2): 73-80.
- [22] Camurri A, Volpe G, De Poli G, et al. Communicating expressiveness and affect in multimodal interactive systems [J]. *IEEE Multimedia*, 2005, 12(1): 43-53.
- [23] Nicholson J, Takahashi K, Nakatsu R. Emotion recognition in speech using neural networks [J]. *Neural Computing and Applications*, 2000(9): 290-296.
- [24] Chang Hyun Park, Kwee Bo Sim. Emotion recognition and acoustic analysis from speech signal [C]// *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2003)*. New York: IEEE, 2003, 4: 2594-2598.
- [25] Gadanho S C. Emotion-triggered learning in autonomous robot control [J]. *Cybernetics and Systems*, 2001, 32(5): 531-559.
- [26] 宋亦旭, 贾培发. 人工情感及其应用 [J]. *控制理论与应用*, 2004, 21(2): 315-320.
SONG Yi-xu, JIA Pei-fa. Artificial emotion and its applications [J]. *Control Theory and Applications*, 2004, 21(2): 315-320. (in Chinese)
- [27] 王国江, 王志良, 杨国亮, 等. 人工情感研究综述 [J]. *计算机应用研究*, 2006(11): 7-11.
WANG Guo-jiang, WANG Zhi-liang, YANG Guo-liang, et al. Survey of artificial emotion [J]. *Application Research of Computers*, 2006(11): 7-11. (in Chinese)

(责任编辑: 杨 勇)