

瞰前沿

数字人与机器人，更加“通情达理”

王耀南 高 跃

编者的话

科技兴则民族兴，科技强则国家强。习近平总书记指出：“必须充分认识科技的战略先导地位和根本支撑作用，锚定2035年建成科技强国的战略目标，加强顶层设计和统筹谋划，加快实现高水平科技自立自强。”当前，新一轮科技革命和产业变革深入发展，以人工智能、量子科技、生命

科学、物质科学、空间科学、绿色低碳技术等为代表的前沿研究，不断取得新进展、新突破。即日起，每周六见报的“科技·新知”版就和读者见面了。这块版聚焦国内外前沿科技，以有趣视角解读科学新知，让我们一同在日新月异的科技里邂逅新知、遇见未来。

的涌现与进步，人工智能显著提升了复杂数据分析能力，能够提供更加个性化的情感沟通功能。

三是仿生化情感交互能力。要让数字人、机器人像人类一样与他人进行情感互动，人工智能不仅需要识别情感，还要以自然、流畅的方式表达情感。目前，尽管语音识别和生成技术已有突破，但机器人与人类的情感交流仍显生硬，缺乏深度情感的表达。为突破这一瓶颈，人工智能需要在情感数据处理的基础上，结合肢体动作、面部表情等多维度的表达，形成更加自然的情感交互。

突破之路：多技术协同发展是关键

在通往情智兼备的数字人和机器人研究中，多学科的研究和跨领域的技术研发起着至关重要的作用。情智兼备不仅要求机器人具备情感感知能力，还需通过多种技术手段实现情感的生成与表达，形成情感识别与反馈的闭环。要实现这一目标，多个技术领域必须协同发展，其中情感生成与表达、情感识别与反馈、多模态情感感知技术是关键。

情感生成与表达，让智能体更具人情味。情感生成与表达是指数字人和机器人通过特定方式表现出情感反应的能力。这一过程不仅仅是模拟人类的语音语调，还包括通过面部表情、肢体动作等多种方式进行情感的外化。在这方面，情感合成技术尤为重要。通过调节语调、语速、音量等参数，语音合成器能够生成带有情感色彩的声音。例如，当机器人要表达高兴的情绪时，其语调和语速会明显提高，而在表达悲伤时，语调和语速则会相应降低。这种情感化的语音生成技术，使机器人能够在与人类的互动中表现出更加自然和富有情感的反应。

情感识别与反馈，能精准捕捉并回应人类情感。情感识别技术使得机器人能够准确地捕捉人类的情感信号，并基于这些信号做出合适的情感反馈。自然语言处理技术的应用，让数字人、机器人能够理解和生成自然语言，从对话内容的分析中找出情感的线索。通过对用户的语言结构、语气以及关键词的分析，机器人不仅能够判断出用户的情绪，还能够适时地提供情感支持。例如，当用户遇到问题时，机器人能够通过语言和语气的变化，表达出关切与安慰。

多模态情感感知，让情感识别更加全面准确。通过结合语音、图像等多种感知数据，人工智能可以获得更加精准的情感信息。例如，通过同步分析用户的语音语调与面部表情，机器人能够从多个维度捕捉到情感的细节。这样的信息融合极大地提高了情感识别的准确性和可靠性，为情感反馈提供了更为全面的数据支持。结合多模态感知数据，构建更为复杂的情感模型是当前研究重点。例如，当用户的面部表情和语音语调一致时，系统可以识别出用户的愉悦情绪；而当面部表情

和语音语调呈现愤怒时，系统能够迅速判断用户的情绪变化并应对。

应用前景：医疗护理、教育与企业服务

情感智能技术的广泛应用前景令人期待，特别是在医疗护理、教育和企业服务等领域，已展现出巨大的潜力。

在医疗护理领域，情智兼备的机器人在照护老年人、孤独症患者等方面具有极大的优势。通过面部表情识别与语音分析技术，机器人有望实时感知患者的情感变化，为其提供情感支持，帮助缓解孤独感和焦虑感。在孤独症患者的干预中，情智兼备的机器人可以通过互动游戏等方式帮助患者提高社交能力，促进情感认知。一个典型案例是日本软银公司的 Pepper 机器人在养老院中的应用。Pepper 不仅能够进行基础的护理工作，还可以与老人进行情感互动，通过讲故事、聊天和做游戏等方式，提高老人的情感体验，实现更人性化的养老陪伴。

在教育领域，虚拟教师通过情感智能技术，能够识别学生的情感状态，动态调整教学内容和方式。例如，当学生表现出困惑或疲惫时，虚拟教师可以通过增加互动环节或安排休息时间来激发学生的学习兴趣。通过情感分析，虚拟教师可以保持学生的高参与度。美国的一些学校已经开始使用情感智能虚拟教师进行在线教学。这些虚拟教师能够通过面部表情和语音分析，实时了解学生的情绪状态，调整教学策略，提高学习效率。

在企业服务领域，情感智能技术的应用能够显著提升客户体验和满意度。通过分析客户的情感状态，企业能够精准调整服务策略。例如，在客户咨询中，机器人可以根据客户的情感反馈，来调整语气和服务态度。

未来，随着技术的不断发展与突破，情智兼备的数字人和机器人将不再是科幻小说中的存在，而将成为现实生活中的重要伙伴。随着跨学科合作的深入，情智兼备机器人将进一步缩短智能体与人之间的情感距离，推动社会各领域的智能化进程，为人类生活带来更温暖、更智能的服务。

（作者分别为中国工程院院士、中国图象图形学学会理事长，中国图象图形学学会情感计算与理解专业委员会常委、清华大学长聘副教授。赵思成对本文亦有贡献）

唠『科』

时间，熟悉又抽象，看不见摸不着，又无处不在。从“立表见影，视影知时”的日晷到“弦轮密运，机巧精妙”的机械钟，再到“量子振荡，稳定精准”的原子钟，乃至被称为“宇宙灯塔，太空时钟”的脉冲星计时系统……纵观人类发展史，计时工具不断更替，计时技术持续演进。

那么，我们说的“准时”，究竟以何为准呢？

计时原理先后经历了“天体运动—物理现象—机械振动—压电效应—量子跃迁—射电脉冲”等“进化”过程。20世纪60年代以前，世界时(UT)作为基准时间被广泛应用，它是基于地球自转运动测量的时间。20世纪60年代以后，利用量子跃迁频率确定的时间标准——原子时(AT)应运而生。从此，国际上应用原子时取代天文时重新定义时间基本单位“秒”。

世界时的时刻对应太阳在天空中的特定位置，反映地球在空间旋转时自转的角度和地轴方位。但是地球自转不均匀等特性，使得世界时的秒长大致呈逐年变长的趋势。原子时能够满足对时间间隔均匀性的要求，但它的时刻却没有具体的物理含义。因此，为了兼顾人们对时刻和时间间隔的测量应用需要，定义了“协调世界时”(UTC)，它是采用原子时的秒长，利用原子时的均匀性，通过闰秒，保证时刻与世界时在一定程度相符的时间尺度。1972年，国际上规定“协调世界时”成为新的国际标准时间，并沿用至今。

随着现代社会的发展，人们对秒以下的时间细分提出了越来越多的需求，产生了毫秒、微秒、纳秒、皮秒、飞秒、阿秒、仄秒等，这就是精密时间。精密时间包含了“时间间隔”和“时刻”两个要素，其中“时间间隔”主要利用原子时测量。原子时由原子钟提供，原子钟的计时精度非常高，可以达到几千万年甚至几十亿年不差1秒。

原子钟为什么这么准？量子物理研究表明，微观世界中原子可以在不同能态之间转换。转换过程中，原子会吸收或释放电磁波，电磁波频率与能态之间的能量差成比例关系，非常稳定。利用它控制电子振荡器或激光器的频率，输出可以实际应用的频率电磁波信号，对电磁波振荡周期计数，就可以形成时间信号的输出，从而实现自然界最精准的时钟——原子钟。在过去半个多世纪里，原子钟的计时精度大约每7年就会提升一个数量级，这一趋势还在继续。正是得益于此，时间成为目前测量精度最高的物理量，精度可达到阿秒(10⁻¹⁸秒)量级，甚至更高。

人们对时间测量和应用的研究带动了科技的进步。如今，我国科学家已成功研制出氢原子钟、小型铯束原子钟、冷原子喷泉基准钟、冷原子喷泉守时钟、冷原子铷光钟、冷原子铯光钟、钙离子光钟以及世界上体积最小的芯片原子钟等，应用相关原子钟实现了中国自主产生、保持的国家标准时间——“北京时间”，能够运行6000万年不差1秒。

时间的作用远比我们想象的重要。今天，精密时间应用范围非常广泛，涵盖基础研究、工程技术应用、国家安全以及国防民生等诸多方面。

在卫星导航方面，时间信息的生成与保持、时间频率信号的测量与同步是卫星导航系统最关键的基础技术。用户的位置和速度信息是通过测量时间获得的。百万分之一秒(1微秒)的时间测量误差，就会导致定位误差300米。目前卫星导航系统的时间测量精度需要达到十亿分之一秒(1纳秒)量级。

对于航天科技，构成测控网的测控中心、各测控站、测量站之间必须保持优于微秒级的时间同步，深空测量等要求站间时间同步达到纳秒级；一些前沿科学实验，如相对论验证、引力波探测、物理常数测量等，其精度都直接取决于时间频率测量的最高精度。

对于金融经济，国际国内银行间的实时结算，证券期货和股票市场的集合竞价、成交，互联网金融、区块链金融都需要严格的时间同步及可信时间认证，电子商务对时间同步的要求优于100毫秒。

在社会生活中，高精度时间频率同步已成为“国家综合立体交通网”建设中的关键技术之一；电力运行调度系统要求全电网保持高精度时间同步，在同一个电厂或变电站内，所有系统的时间同步要求是优于1毫秒；第五代移动通信(5G)网络核心设备对时间同步精度要求优于100纳秒。

（作者为中国科学院国家授时中心主任，本报记者吴月辉采访整理）

准时，究竟以何为准

张 首 刚

近年来，人工智能发展迅猛，大模型、强化学习、超图计算和情感计算等新技术不断取得突破，引领了从工具化到智能化再到情智化的跃迁。这一趋势不仅驱动着产业升级，更催生了新一代具有情智兼备特征的智能体。

党的二十大报告提出，“以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，坚决打赢关键核心技术攻坚战。”具有情智兼备特征的智能体，即能够感知环境，进行学习和推理，并能通情达理地采取行动，实现特定目标的自主系统。情智兼备的数字人和机器人作为人工智能的重要发展方向，正逐步成为科技创新的前沿。它们不仅代表了人工智能向更加人性化、智能化的方向发展，也为智能体与人类的深度互动提供了新机遇。基于此，中国图象图形学学会推荐的“情智兼备数字人与机器人的研究”问题入选中国科学技术协会2024十大前沿科学问题。

情智兼备：认知与情感的完美融合

情智兼备融合了认知智能和情感智能，代表了全新的智能演进方向。这样的智能体不再是冰冷的计算机程序，而是具有情感、理解和关怀的存在，能够与人类建立更加亲密和深入的联系。认知智能让机器人具备如人一般思考和解决问题的本领，而情感智能则赋予了机器人进行情绪识别、情感表达和情感共鸣的能力。例如，在心理健康辅导中，情智兼备的智能体可以通过语音语调分析和表情识别来感知用户的情绪波动和心理状态。

从数字人与机器人的科研进展来看，国际上的头部科技企业知名高校在多模态情感识别、情感生成与交互、情感计算专用芯片与硬

件方面已经有了一定的突破。例如，谷歌和微软研究团队开发了多模态情感识别系统，表现出色；麻省理工学院和斯坦福大学正在积极开展跨学科合作，结合心理学、神经科学和计算机科学，深入研究情感计算的理论和应用；谷歌的 Gemini 模型等已经在情感生成方面取得了显著进展。

国内在情感计算算法方面也取得了显著进展，特别是在多媒体信息处理、语音和文字情感识别等领域。许多研究机构和高科技企业，如清华大学、哈尔滨工业大学及厦门大学等，正在构建大规模的情感数据集，支持情感计算模型的训练和优化。研发面向多类开放场景的情感计算方法及工具。国内的科技公司，如科大讯飞和小米，相继推出了具有情感交互功能的智能客服机器人；百度和阿里巴巴等公司开发了多模态情感识别系统，在实际应用中提供高效的情感识别和生成服务。此外，还有一些初创公司和研发团队也正在探索情智兼备技术在教育和医疗领域的应用，开发出情感教育助手和陪伴机器人，提升用户的满意度和服务质量。

三大挑战：情绪感知、个性化分析与仿生化交互

尽管我国在情感智能领域取得了众多进展，但在实现“情智兼备数字人与机器人”的过程中，仍有三大难题亟待解决。

一是多模态情绪感知能力。人类情感的感知是通过多个感官的交织与互动实现的，然而目前的数字人或机器人往往只能依赖单一感官(如语音或面部表情)进行情感识别，在多模态数据的高效融合、多源异构数据一致性和时间同步方面还存在挑战。如何实现跨模态情感表达的整合，如何在有限的资源下平衡模型复杂度和准确性仍是一个难点。

二是个性化情智分析能力。人的情感表达具有个体差异，同样的表情或语句在不同个体、不同语境下的解读可能存在本质区别。因此，人工智能需要具备个性化情智分析能力，能够根据个体差异进行精准识别，避免情感误读。随着大模型、强化学习和超图计算等新技术

趣科普

人形机器人知多少

人形机器人正以前所未有的广度和深度融入人类的生产生活，最新的人形机器人具备什么本领？让我们一同走近这些未来的“伙伴”。



波士顿动力公司的 Atlas

波士顿动力公司推出的人形机器人 Atlas，头部设计为类似环形灯的圆形屏幕，增强功能性的同时提升人机互动的体验。Atlas 可以完成从俯卧状态迅速起身、头部180度旋转等，平衡能力突出。Atlas 还配备了先进的人工智能和机器学习工具，可以更好地理解并执行复杂指令。



特斯拉发布的 Optimus

Optimus 是特斯拉发布的人形机器人原型机。2024年，特斯拉宣布有两台二代人形机器人 Optimus 进入特斯拉工厂进行电池分拣相关任务，其官方视频重点展示了 Optimus 的运控细节和精细化工作能力；在工厂“上岗作业”的 Optimus 可实现流水线搬运、分拣、操作熟练。



“青龙”人形机器人

“青龙”人形机器人是由人形机器人(上海)有限公司自主研发的全尺寸通用人形机器人开源版。机器人身高185厘米，体重80公斤，拥有高度仿生的躯干构造和拟人化运动控制，能够在负载40公斤的同时以每秒1米的速度行走，还支持敏捷避障等运动功能。



优必选的 Walker S1

优必选发布的工业人形机器人 Walker S1，在双耳处使用全景鱼眼相机，可以对周围环境和作业范围实现全方位感知。同时，Walker S1 的头部集视觉、灯语和语音交互于一体，能够通过不同方式实时精准显示自身的情况。资料来源：中国电子学会

学术眼

国际首个低能量强流高电荷态重离子研究装置通过验收

本报北京1月3日电（记者吴月辉）记者从中国科学院获悉：国家重大科研仪器研制项目——低能量强流高电荷态重离子研究装置，日前通过国家自然科学基金委员会组织的专家验收。

据介绍，这一装置由中国科学院近代物理研究所研制，是一种重离子加速器。重离子加速器用于加速比阿尔法粒子重的离子，通过加速器产生的接近光速的重离子束流，科学家可以探究微观世界一系列重要科学问题，不断拓展对物质世界的认知。同时，重离子加速器在新材料制备、疾病治疗等领域也被广泛应用。

该装置项目总负责人、中国科学院院士赵红卫介绍：“这是世界首个低能量强流高电荷态重离子研究装置。与当前国际上已建成或在建的重离子加速器相比，这一装置具有多功能、小型化的优势，在多学科交叉前沿基础研究和重要应用领域具有广阔应用前景。”

验收专家组认为，这一装置运行稳定，达到了设计指标。研发团队自主研发解决了一系列技术瓶颈问题，核心设备总体性能处于世界领先水平。

学术支持：中国科学技术协会
本版统筹：智春丽 肖 遥 董映雪
本版责编：陈圆圆 曹雪盟 陈世涸
版式设计：汪哲平