

人工智能无人系统最新发展趋势预测

郝 祁

摘 要：最新的深度学习技术不仅跨越式地解决了关于信号特征提取与模式识别的问题，其衍生技术在更深层次上极大地影响了知识获取、知识表达以及知识运用这些经典人工智能领域。无人系统应用广泛，包括无人机、无人艇、无人驾驶车辆等。但是由于其应用场景过于复杂，目前都没有能够实现完全脱离人工操作的智能化系统。此外，无人系统的集群运行对体系协同性和时间紧迫性要求更高，更加迫切需要实现每个单元的高度智能化和自主化。现有的人工智能技术能够推进无人系统的智能化，但如何实现高度自主化的无人系统仍是一个巨大的技术难题。本文将系统地介绍以深度学习为核心的人工智能技术将如何提高无人系统的智能性，同时也将面临怎样的巨大技术挑战。

关键词：人工智能 深度学习 无人系统 趋势预测

一、人工智能与机器学习

学习和进化是人类智能的两大来源和动力。从计算机诞生的时刻起，人们就希望使用机器来模仿人类的计算、记忆、交流、思考的能力。机器学习一直是人工智能研究的焦点之一，其目标是使用机器来模拟人类的学习行为。机器学习包括监督学习、非监督学习和增强学习三大类，介于监督学习和非监督学习之间还有弱监督学习。监督学习利用大量的标注数据建立知识模型，进行预测与决策。非监督学习无需标注数据，通过先验知识来估算数据的内在结构进而建立知识模型。增强学习更接近人类的学习过程，通过与环境的不断交互、试错来建

立最佳的行为策略。

近年来，深度学习作为机器学习的一个重要方向，吸引了学术界和工业界的大量关注，在计算机视觉、语音识别、自然语言处理等很多方面取得了惊人的成果。在无人系统领域，深度学习也有着广泛的应用，如基于监督学习的目标检测、基于非监督学习的三维测量估计和基于增强学习的自动驾驶决策等。目前，深度学习主要基于深度神经网络结构，相较于早期的神经网络结构，其最大的特点在于隐含层的大大增多，利用多层次、复杂模型实现对大量数据特征的抽象与表达。主要的深度神经网络结构包括卷积神经网络、循环神经网络和深度置信网络等。

卷积神经网络最突出的特点是利用多层卷积与池化运算很好地模拟了人类神经元对视觉刺激的反馈，使得网络具有多尺度、局部感知的特点；最后通过全网络连接来实现整个图像的特征泛化和表达。因此，卷积神经网络在图像分类、目标检测和追踪等任务中有着优秀的表现。循环神经网络利用反馈机制使得网络可以描述一个时间序列里的动态和瞬态的特征，因而这类网络被广泛应用于语音识别和机器翻译等领域。长短期记忆神经网络是一种特殊的循环神经网络，强调对关键时序数据和状态的记忆、对不重要数据与状态的遗忘，适合处理和预测时间序列中间隔和延迟较长的重要事件，例如连续的手写识别。深度置信网络是由特殊的神经元组而构成的深度模型。每一组神经元由一个显层和一个隐层构成，隐层能够提炼显层的数据特征。深度置信网络可以用于降低数据维度，实现自动编码机的功能。

机器学习所获取的知识模型分两大类：判别模型和生成模型。前者强调不同种类数据之间的区别；后者着重反映同类数据的相似度。生成对抗网络将两类模型结合到一起产生模拟数据：生成模型通过给定的结构信息来随机产生数据，判别模型将生成数据是否真实的判别结果回传给生成模型，来完成生成模型的学习。生成对抗网络可以利用深度学习网络来实现判别模型和生成模型。同样，深度增强学习

也利用深度神经网络来建立增强学习中的价值函数、状态转移函数或奖励函数等，从而实现从感知到决策的端到端学习，提高智能系统在动态环境中的自主学习能力。在机器学习中，先验知识的准确表达能够大幅度提高学习的功效，对非监督学习尤为重要。迁移学习是利用先验知识的一种重要方法。如果两个网络的数据或任务之间存在相关性，迁移学习可以将已经学习完成的模型参数（知识）迁移到新的模型来提高其学习效率。

二、无人系统及其应用

一般而言，无人系统是指无人干预、自主运行的复杂智能系统。对于无人机、无人艇、无人车而言，是指取消了人类的实地驾驶，通过远程操作或自主运作的人工智能系统。因此，无人系统具有可消耗性高、机动性强等特点，可代替人类执行大量危险、重复、枯燥的任务。其应用包括以下四大类：军事用途、监测巡逻、交通运输、服务娱乐。

通常，军事任务具有高度的危险性，是无人系统最先得到应用的领域。例如，无人机已经被广泛用于边境巡逻、敌我区域的侦察以及对敌目标的打击。现有的全球鹰和捕食者等无人机系统具有一定的自主功能，但大部分任务仍需人类驾驶员的远程操作。在工业、民用应用中，许多监测巡逻任务枯燥且耗时长，也有一定的危险性，是无人系统能够发挥作用的另一大领域。具体应用包括园区巡逻、电力巡线、水域检测、精准农业、自然环境勘探、灾难现场监测探索，等等。目前，简单的监测、测绘和巡逻可由无人系统自主完成，而高级一些的异常场景检测和未知领域探索均需人类用户的介入。

无人系统在交通运输领域的应用可以分为无人驾驶和无人物流运输两个方面。目前，无人驾驶巴士已经在几个国家的特定区域展开实际应用，而无人驾驶小汽车则正在公共路面进行大量实测，各大汽车

厂商纷纷推出各自的辅助驾驶模块。无人机和无人车及其编队正在进行货物远程运输的测试，一些物流公司则已经使用机器人进行智能仓储和分拣。在特定环境下的无人交通运输系统已经可以实现，但面对复杂的城市环境还需要进一步提高其智能化程度。作为消费电子产品，无人系统可以用于家政服务与休闲娱乐。扫地机器人可以实现针对不同地面的清洁工作；无人机可用于高空自动拍摄以及无人机群空中表演；水下机器人则可以作为潜水伴侣实现水下摄影、自拍等功能。无人系统在这个领域的应用更丰富多样，强调人机交互和用户体验。

总而言之，无人系统已经在人类的各个领域得到大量应用，然而自主性、智能性的不足仍旧是制约该技术应用的最大因素。高度自主化、智能化将是无人系统研究不断追求的目标。

三、无人系统的技术特点

绝大部分无人系统都可以分解为感知层、决策层和执行层，通过对外界的感知与理解来进行预测、规划、决策，并采取相应的行动。因此，虽然种类繁多、面对的环境也差异极大，无人系统的主要技术包括：环境建图，定位导航，目标识别与追踪，感知融合，任务、行为规划与运动决策，群体合作和人机交互。

对于无人系统而言，首先要理解周围的环境，并确定自身位置、姿态与地理环境的相互关系。不同的无人系统对环境建图的内容和精度要求不同，但都以获取环境的几何信息为主。无人系统的建图技术主要是通过卫星、图像与雷达来实现。在无人系统定位方面，虽然基于全球定位系统（GPS）的定位技术已经被广为应用，但精度问题使得普通 GPS 技术难以满足复杂任务的要求：许多任务需要定位精度达到厘米级别。改进的差分 GPS 技术可以提高定位精度，需要建设特别的基站。各类 GPS 信号都面临着信号覆盖的问题，如在遮挡、室内等环境中都无法应用。通过实时环境建图技术，可以实现高精度的局部

定位；除此以外，还可以通过惯性传感器、超宽带无线信号、声呐等技术实现定位。

要实现场景理解并进行自动驾驶决策，除了要对环境建图、获取环境的几何信息之外，还要对环境中的目标进行识别和追踪。这项技术通常需要对包含目标信息的传感器信号进行特征提取以进行识别，然后通过特征匹配和与环境几何关系的估计来不断追踪运动中的目标。识别技术的最高要求为像素级的图像语义分割，由此无人系统可以识别场景中出现的所有物体。为了实现复杂环境中高精度的定位导航以及目标识别追踪，必须采用多种传感器、通过融合多种不同的传感信号保证测量目标的高精度、准确度与稳定性。感知融合技术可分为多个层次，包括数据融合、特征融合以及模型融合。通过多层次的融合可以获得不同类型、高精度的信息：例如数据融合可以减少测量误差，特征融合可以提高识别精度，模型融合则可以提高对复杂场景的理解程度。规划与决策技术是无人系统对外界信息的反应。任务规划决定了任务的分解方式与先后顺序，行为规划决定了在特定外界参数下采用何种运动的规则，运动决策决定了无人系统的运动方向与幅度的执行量。这项技术涉及的通常是逻辑推理以及多目标与多约束的优化技术。

无人系统群体是无人系统的高级应用方式，具有工作效率高、抗干扰性强等特点，善于在各类环境下完成复杂任务。群体合作技术需要结合单体无人系统技术，群体信息传播技术、群体知识迁移技术、群体运动规划以及任务分配技术等，以实现多个无人系统的有机协作和整体任务效益的最大化。该技术的特点是自组织与可重构。无人系统与人类用户具有各自的强项：前者移动范围广、信息采集量大、计算能力强以及通信带宽高，后者善于对错综复杂的形势进行准确的判断、对不正常的情形产生合理的怀疑；通过双方的协同、交互可以完成更复杂的任务和实现更高的工作效率。人机交互技术的核心是用户信息感知、用户意图理解与可视化界面技术。该项技术要求无人系统

能够准确地捕捉用户表达的信息与意图，并将处理过程、疑点难题与执行结果高效、及时地反馈给用户，使得用户能够有效参与规划与决策过程。

四、无人系统的主要技术难点

针对以上所描述的无人系统技术特点，我们不难看出发展无人系统的技术难点与挑战：里程计、环境建图、高精度定位、实时规划、群体合作、虚实结合。

里程计是无人系统用于估计自身位置与姿态的运动轨迹，由此理解自身运动的几何信息，实现定位导航。现有的方法包括惯性、机械与视觉里程计等。惯性里程计和机械里程计容易累积漂移误差；而视觉里程计需要对周围环境进行测量来反推自身的运动信息，测量精确稳定性不高而且同样具有漂移问题。结合视觉与惯性里程计可以消除一部分误差，但如何确保即时精度和消除长时漂移仍旧是难点。建图是无人系统对环境进行二维或三维的地图构建。通常的方法是采用雷达、声呐或相机进行深度信息的测量。对相机来说难点在于深度信息估计误差较大，而且对于缺乏纹理的表面难以进行像素或特征点匹配。对激光雷达来说，首先是无法记录环境的纹理信息，其次是激光扫描分辨率较低。这两者结合可以建立比较理想的地图，但如何融合多传感器以提高地图的精度和有效信息量仍是难点。通常的 GPS 定位精度不足并且难以覆盖所有区域，而无人系统在缺乏 GPS 的陌生环境下定位需要采用同步的定位与地图构建技术。然而这项技术只能实现局部定位，并且定位精度受无人系统的环境识别能力的约束。因此如何采用差分 GPS 定位（或 5G 通信网络定位）并融合视觉与激光雷达、里程计等多种传感器实现高精度的环境识别与全局定位是一大难点。

无人系统的运动、行为与任务规划是一个多目标多约束的优化问

题。现有的规划方法或者计算量巨大或者难以实现全局最优，并且灵活性不高，难以应付突发状况。因此如何有效利用分布式计算（包括云端计算、边缘计算资源）实现更接近全局最优的实时规划是一个难点。无人系统的群体技术可分为集中式和分布式两种。集中式技术统一处理群体的信息，利于管理和实现，但对集中基站的计算能力和个体的通信资源有较大消耗，效率不高。分布式技术则强调群体耦合关系的解除，采用局部计算资源和分布式信息传播方法，实现效率更高的协作方案。如何迁移个体的独特知识去帮助其他个体更快地执行任务，是群体协作技术一个重要的难点。采用深度学习技术可以大大提高无人系统的智能程度，然而深度学习通常要求海量的训练数据。仅仅通过物理实验采集的数据量难以满足训练要求，因此需要借助虚拟技术来获取更多的仿真数据。系统仿真在无人系统的设计中也越来越重要。如何使虚拟数据具有和现实数据媲美的仿真度，如何通过结合虚拟环境和物理实验平台来实现无人系统的训练与测试，是无人系统技术实现快速迭代的难点之一。

五、基于深度学习的无人系统关键技术研究

无人系统的主要技术难点包括感知融合、任务与运动规划、群体合作等。这些技术难点都可以通过各种深度学习的方法来克服。

感知融合需要通过相机、雷达、惯性传感器等设备，将无人系统自身以及所处的环境与场景转换为能够使其所理解的知识，包括轨迹估计、三维环境建模、同步定位建图以及目标识别与追踪。轨迹估计的实现方法分为特征法和光流法两种。在基于特征法的运动估计中，使用多层卷积神经网络方法提取信号的特征信息，利用匹配的特征点来估算无人系统的运动轨迹。在基于光流法的运动估计中，先使用卷积神经网络提取出相邻图像光流信息，利用光流定位来估算无人系统的运动轨迹。此外，使用循环神经网络融合视觉、雷达与惯性传感器

数据，能够更准确地估计出无人系统的运动轨迹。

三维环境建模需要实现从二维数据到三维信息的转换。使用神经网络来计算三维信息的方法可以分为两类。一种是监督学习方法，使用二维图像、相机方位以及对应的三维信息作为训练数据，实现稳定的三维信息和相机方位变化的输出；另一种是非监督学习方法，从三维投影几何一致性的角度出发训练神经网络，分别来预测三维信息和相机方位变化信息。同步定位建图要求无人系统对自身定位并且同时建立环境地图。无人系统可以使用数据的语义分割来建立语义地图，或者建立局部的三维点云地图。基于深度学习的语义分割通过卷积神经网络提取数据特征，将得到的特征通过特殊的操作产生粗糙的分割图信息，结合轨迹信息建立地图信息。另外，通过使用长短期记忆网络，将早期建图过程中出现的特征信息以及当前出现的特征信息进行组合优化，实现地图的精度校准与无人系统位置的准确估计。在目标的识别与追踪中，无人系统可以利用卷积神经网络，准确快速地学习出目标的外观、形状等特征，并且通过各个网络层之间的连接，利用长短期记忆层实现特征的结构化的表达，准确定位对目标的注意力，结合模型的回归学习，实现快速的目标识别与追踪。

无人系统使用运动规划技术在不同环境中进行自主移动与避障，最终到达目的地。首先，无人系统通过深度学习模型对周边环境进行感知，建立环境模型。然后，使用强化学习模型，对当前可能采取的运动进行预测与判断，对正确的运动决策不断加大权重，结合长短期记忆网络，使得整个网络能够记忆之前的运动决策，从而快速确定运动的方向与速度。在与对手竞争的情况下或者在动态环境下，无人系统还需要使用任务规划技术来高效完成任务。第一步，根据已有的场景与决策信息、使用卷积神经网络训练出一个实时策略网络（高速低精度）和离线策略网络（低速高精度）；策略网络能够在给定系统与环境状态下，计算下一时刻采取不同行动的概率。初始化一个价值网络，该网络能够对策略网络所生成的多步行动计划进行评价。第二步，

将实时策略网络与离线训练好的策略网络进行对弈，利用增强学习来修正当前的实时策略网络参数，得到增强的实时策略网络。第三步，利用离线的策略网络与第二步所得到的增强实时策略网络进行对弈，生成多步行动计划并随机生成下一时刻的行动直到到达终点状态之一，并获得一个反馈，利用反向传递更新价值网络，再判断行动计划是否正确的概率。无人系统结合基于深度学习的运动规划与任务规划这两种技术，通过与外界的交互、试错，不断提高对竞争对手或者变化场景的理解，从而作出正确的决策。

现有的无人系统群体合作也可以采用增强学习的方法来提高通信和合作的效率，但是学习效率受限制于群体数量，群体数量越大，学习效率越低。因此，可以利用平均场增强学习的方法突破群体数量的限制。该方法强调了群体内的单个个体之间的信息交互可以通过单个个体与总体的平均值交互来近似，从而使得个体之间的交互得到增强：个体最佳策略的学习取决于总体的动态，而总体的动态则根据个体策略的模式而变化。

六、未来智能无人系统发展趋势

通过以上对人工智能技术、无人系统技术单独以及二者相结合的分析，我们可以对未来智能无人系统的发展趋势做出以下的预测。

(1) 以深度学习技术为核心的人工智能崛起是计算科技与数据积累的必然产物，具有准确标注的数据集成已经为深度学习成功的关键。因此，数据自动标注技术应运而生。使用自动化工具等对收集来的图像、数据进行语义标记以形成可供计算机学习的优质数据，本质上就是将人类先验知识注入人工智能无人系统。其主要发展趋势有以下两个特点：标注过程运用机器学习的算法，利用少量标注数据来自动标注大量数据，将人工重复劳动降到最低；标注界面显而易见地友好，让人工标注的操作尽可能简便和符合直觉。此外，利用生成对抗网络产生

大量模拟数据，通过迁移学习充分使用在其他领域的标注数据，基于增强学习不断提高自动标注数据的准确率，都将成为发展人工智能无人系统的核心技术。

(2) 对于无人系统而言，复杂场景与极端环境的数据最为重要。然而，通过常规的物理实验往往难以获得这些不常见的数据。因此，具有高度真实感的模拟仿真平台对于人工智能无人系统而言变得至关重要。这个平台不仅可以通过各类三维模型可视化并检验所采集到的真实世界实验数据，还能够生成大量的仿真数据来训练无人系统的智能。所有的仿真数据都有完整、精确的标注，还可以模拟各类复杂场景与极端环境；仿真数据可以与实验数据混合在一起，来训练、提高、检验、评估无人系统中所使用的感知融合、场景理解、规划决策、控制执行等算法。特别是对于开发成本、运行复杂度高的群体无人系统而言，模拟仿真平台的作用更是无可替代。真实世界采集的数据与模拟仿真数据需要具有高度的一致性，因此仿真平台不仅需要充分运用各种物理模型来模拟真实世界与工程系统，还需要大量使用增强学习、生产对抗网络以及迁移学习框架来不断完善、丰富模拟仿真数据。

(3) 在智能无人系统的测试、评估、改进的过程中，再完美的模拟仿真平台都不能替代真实的物理实验。这需要研究、开发数字与物理高度一体化平台。每一个物理单元、部件、功能都要拥有相应的数字化个体；数字个体可以通过快速迭代来提升物理元件的功能；物理元件的实验性能可以不断反馈来改进数字个体的结构与组成。两者之间拥有大量的前馈与反馈回路，多层次的信息高度耦合，从而实现人工智能无人系统的快速性能检验与设计迭代。

(4) 无人系统拥有大量的高精度传感器，所采集的实验数据大多是高维度的，生成速度非常高，保存时间特别长。因此，需要大力发展各类智能数据降维、压缩的技术来降低对系统存储、通信与计算性能的要求。例如，针对自动驾驶汽车所使用的激光雷达、相机等传感器，需要对获取的传感数据进行关键特征提取以及特定场景下不同种

类数据的融合，从而大大降低数据的维度，提高数据计算速率，增强系统的稳定性、灵活性、安全性。可见，未来无人系统的各种传感数据、网联交换数据、云端存储数据都将面临基于结构、特征以及内容的智能压缩；不完整、相互矛盾的数据要尽快修补与调整；过时的数据要及时清理与更新。

(5) 由于要应对各类复杂场景，无人系统对相关通信与计算的实时性要求非常高。虽然各类并行计算芯片的运算速度日新月异，并特别针对神经网络计算进行性能优化，但是由于深度学习相关的计算复杂度非常高，因此在智能无人系统广泛运用深度学习技术仍然有很大的挑战性，对研究新型的压缩计算技术的需求十分紧迫。如何对深度学习的计算模型进行高度简化但并不牺牲太多的性能，如何巧妙地运用先验知识设计相对简单的深度学习模型，都将成为发展智能无人系统的关键问题。此外，如何通过先进的通信技术，充分利用无人系统内、地基、云端的各类分布式计算资源实现多计算任务的实时调度与资源管理，也将成为研究的重点。

(6) 无人系统的智能水平无论如何发展，都不能完全替代人类的智能，因此大力开发人机交互技术、实现混合智能系统将是未来无人系统发展的一个重要趋势：通过双方的协同、交互来共同完成更为复杂的任务和实现更高的工作效率。人机交互技术的核心是用户信息感知、用户意图理解与可视化界面技术，要求无人系统能够准确地捕捉用户表达的信息与意图，并将处理过程、疑点难题与执行结果高效、及时地反馈给用户，使得用户能够有效参与规划与决策过程。同时人类用户通过注意力引导、浸入式的交互方式，协助无人系统对错综复杂的形势进行准确的判断、对不正常情况进行及时的关注。

(7) 无论是大量准确标注数据集，还是具有高度真实感的模拟仿真平台都不能让无人系统完全地学习到真实世界的各种场景与复杂环境。一个真正具有人工智能的无人系统需要在一个开放环境中进行学习，通过非监督学习、增强学习与迁移学习，针对众多新生事物、

复杂场景、异常目标进行数据收集与知识总结。同时，利用知识网络对其他智能体的知识体系进行知识转移，在与人类用户中的协同工作中不断提高智能水平。这一个过程应该不局限于机器学习中的训练过程，应该是贯穿智能无人系统的整个生命周期。开放学习、终身学习技术是对机器学习技术的自然延伸，也是人工智能无人系统发展的终极目标。

商
海
印
書
館