知识自动化：智能产业的基础与关键

■ 文 / 王飞跃　王 晓　王 帅

就像工业时代必须依靠工业自动化一样，知识自动化将是发展知识时代智能产业的基础与关键。

时代的召唤：从知识自动化到智能自动化

近来，一部名为《西部世界》的美剧在学术界、技术界与影视界引发了激烈的争论：机器能否获得生命？它们能否获得智能？未来的人与机器将保持怎样的关系？剧中，所有的机器人接待员最终获得生命及智能，根据内置的机制与设定的“目标”，能够在面临不同境地时做出符合目标的决策。

当然，《西部世界》目前只是文学上对机器智能的梦想，但生命和智能的确一直是人类最美好、最重要的两类追求。让机器获得智能，一定程度上就是让机器根据输入的知识，借助智能算法，如当下流行的长短期记忆网络（LSTM）、深度神经网络（DNN）、卷积神经网络（CNN）、深度信念网络（DBN）等，来解决知识型工作中遇到的问题。归根结底，是让机器围绕特定的目标 / 任务，结合数据处理、知识提取、算法分析、模型构建等形成决策制定流程，实现知识自动化。

经过约 200 年的发展，人类社会基本完成了工业化建设，并从工业时代迅速向知识时代转移，智能产业随之崛起。就像工业时代必须依靠工业自动化一样，知识自动化将是发展知识时代智能产业的基础与关键。近年来，随着网络化的虚拟空间成为与现实化的物理空间平行的一个实实在在的新空间，数据成为这一空间中最为重要的“矿藏”资源。未来产业一定是围绕数据的处理、知识的加工、智能的自动化建设而成，就像围绕地下矿藏的挖掘、加工和制造形成的大型现代企业一样。在新的产业中，成百上千的算法被集成到一起，形成“数据清洗厂”“信息加工厂”“知识生成厂”，甚至“决策制定厂”，使得它们面对具体问题时具有深度知识的敏捷性，针对具体问题时具有深度分析的聚焦能力，同时具有自适应精准实时地向目标收敛的能力，实现智能的自动化。

知识自动化是时代的召唤，是人工智能 AI（Artificial Intelligence）通向智能自动化 AI（Automation of Intelligence）的必由之路。

知识自动化的核心：软件定义一切

近年来兴起的软件定义的网络（Software-defined networks，SDN）技术，可扩展成为构建“数据清洗厂”“信息加工厂”“知识生成厂”以及“决策制定厂”的一种有效手段。结合知识表示（Knowledge Representation）和知识工程（Knowledge Engineering），针对各类特定领域和问题，我们能够构建可计算、可重构、可编程的软件定义的对象（Software-defined Objects，SDO）、软件定义的流程（Software-defined Processes，SDP）、软件定义的系统（Software-defined Systems，SDS），进而搭建软件定义的“工厂实验室”，甚至“社会实验室”，进行复杂问题和决策的计算实验。

基于软件定义知识自动化的“工厂实验室”或“社会实验室”，可根据实际输入的数据作为小数据或训

练数据，通过 SDO、SDP 和 SDS 等，使常识、经验、猜测、假定、希望等形式化，并使其组织、过程、功能等软件化，变为可操作、可试验、可评估的流程和系统，进而实现知识自动化系统的构想、设计、实施、运营、管理与控制。这种以软件定义为基础，利用计算实验把物理世界、心理世界里的小数据变成大数据，然后通过人工智能、机器学习、认知学习、交互学习，像化工厂提炼各种各样的化工原料一样，炼成针对具体问题的小知识、小定律，就是要实现从牛顿的“大定律小数据”到默顿的“大数据小定律”之升华，为智能企业以及智能产业的发展奠定技术基础。

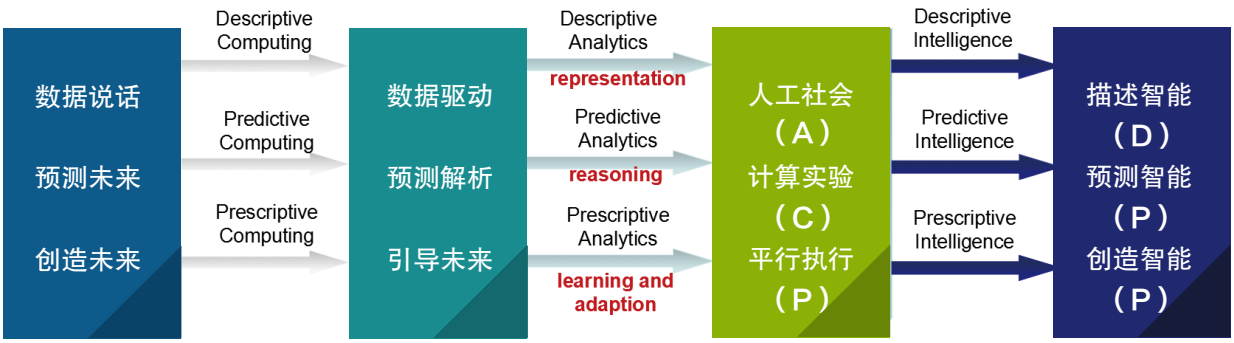
从牛顿到默顿：描述、预测、引导的交融

由于“人”与机器、流程、系统的深度耦合，并且人的行为具有动态性、实时性、自组织性、突变性、高度复杂性、虚实交互性等特点，人机复杂系统极易表现出显著的不定性、多样性、复杂性（Uncertainty，Diversity，Complexity，简称 UDC）特征。同时，这类系统面临着巨大的“建模鸿沟”问题。随着复杂程度的增加，系统逐渐地从简单的物理系统向大型的信息系统，再向复杂的社会系统过渡，所涉及的关键信息也从物理信号，到商务信号，再到社会信号。系统的行为越来越难以理解，因而也难以被精确地刻画，相应的建模方法也从解析式的数学模型到仿真模型，再到描述型的人工模型。但是，实际行为与模型行为之间的差别也越来越大，以至形成“建模鸿沟”的客观现象。当复杂性提高的时候，目标跟现实的差距甚至无法跨越。

无法跨越，还要跨越，这就是矛盾。使用传统的方式无法跨越，就需要我们转变思维，从传统的“牛顿系统”思维转换到“默顿系统”思维。“牛顿系统”是指系统行为遵循牛顿定律的系统。牛顿定律泛指可以通过解析的方式精确地描述系统行为的各类物理、化学、生物等传统意义上的科学定律和公式，当然也包含经典的牛顿三大定律等。“默顿系统”是指系统行为遵循美国社会科学家罗伯特·金·默顿提出的默顿定律的系统。默顿定律是指默顿的自我实现定律，即由于信念和行为之间的反馈，预言直接或间接地促成了自己的实现。

对于“默顿系统”，建模的首要任务变为根据希望的目标去描述并设计能够有效地影响或指导系统行为的默顿定律。大数据以及其中所蕴含的社会开源信号可被用于“制造”默顿定律。西方管理学界有两句名言，其一为现代质量工程的奠基人戴明所说，“除了上帝，其他任何人都必须用数据说话”；其二为提出“知识工人”和“信息社会”概念的现代管理之父德鲁克所说，“预测未来最好的方法，就是去创造未来”。简言之，就是“数据说话”“预测未来”和“创造未来”。系统首先必须以可描述、可实验、可执行的手段完成从数据、信息、知识到智慧的解析，而基于 ACP 的平行智能，即通过人工社会或组织（Artificial societies/organizations）、计算实验（Computational experiments）和平行执行（Parallel execution）的有机组合，为沿此方向的有效尝试。其基本思路为：利用人工社会对复杂企业和社会单元、过程及系统进行建模，实现描述智能；通过计算实验对复杂企业和社会场景进行分析和评估，达到预测智能；借助平行执

基于 ACP 实现描述、预测、引导的交融



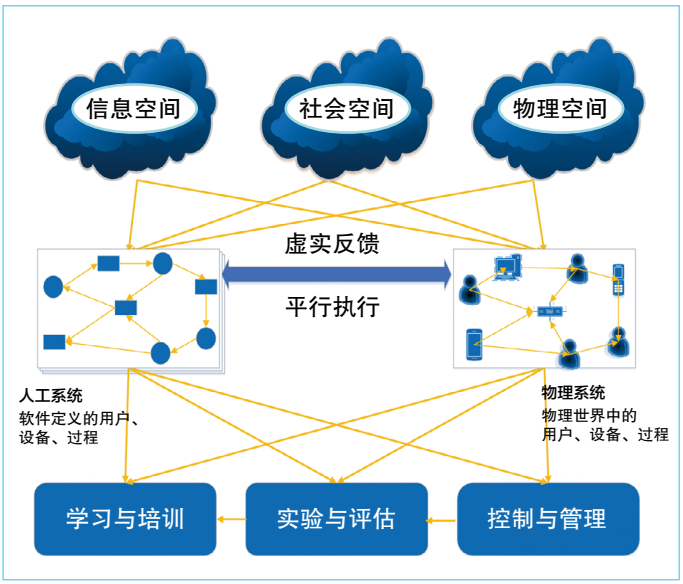
行对复杂问题进行引导和管理，从而直接或间接地影响自由意志，改变行为模式，进而通过实际系统与人工系统的平行互动，引导实际系统运行在希望的目标之下。

从 CPS 到 CPSS：虚实一体的平行智能

按照科学哲学家波普尔的观点，世界由三部分组成：第一部分的物理世界、第二部分的心理世界和第三部分的人工世界。使用物理学上的 3 个术语对其特征进行定义，则分别是：能量（Energy），对应物理世界；熵（Entropy），信息熵对应心理世界；纠缠（Entanglement），对应人工世界。从地表到地下资源，农业和工业社会已全面地开发了我们的物理自然世界和精神心理世界，保障了人类的生存和发展。互联网、物联网、云计算、大数据、区块链等理念和技术的出现以及人工智能、机器人、无人驾驶等技术的再次风靡，预示并已经开始了人类向人工世界的进军，核心任务就是深度开发数据和智力资源。解放智力，让数据资源、知识体系和社会智慧成为建设智能时代的原料和动力，人类才能得以进入一个崭新的“智业”社会。为此，我们必须从传统的信息物理系统（CPS）转向以人为本、面向物理世界和网络空间融合的社会物理信息系统（CPSS）。

研究知识自动化的主要动机之一是面向 CPSS 系统，解决复杂系统中 UDC 特征向智能系统中灵捷、聚焦、收敛（Agility，Focus，Convergence，简称 AFC）特性的转化问题。为此，我们需要将知识自动化嵌入到基于 ACP 的平行智能框架和流程之中，将虚拟的网络空间变成我们解决复杂问题的新的、另一半空间，同自然的物理空间一起构成求解复杂问题之完整的“复杂空间”，从而突破传统理念、方法及资源的约束。

面向 CPSS 的平行智能基本框架



一定程度上，平行智能的使命就是借助信息化、自动化、智能化的技术与方法，化解复杂系统的 UDC 特征。利用虚实一体的平行智能，知识自动化可实现面对具体问题时具有深度知识的灵捷性，针对具体问题具有深度分析的聚焦能力，同时具有自适应精准实时地向目标收敛的能力。它的框架由 5 部分组成：一个物理系统，与一个或多个虚拟系统交互，平常可以用来学习和培训，“以万变应不变”；一旦遇到突发异常情况的具体问题，系统可以立即进行实验与评估，“以不变应万变”，进行管理与控制。

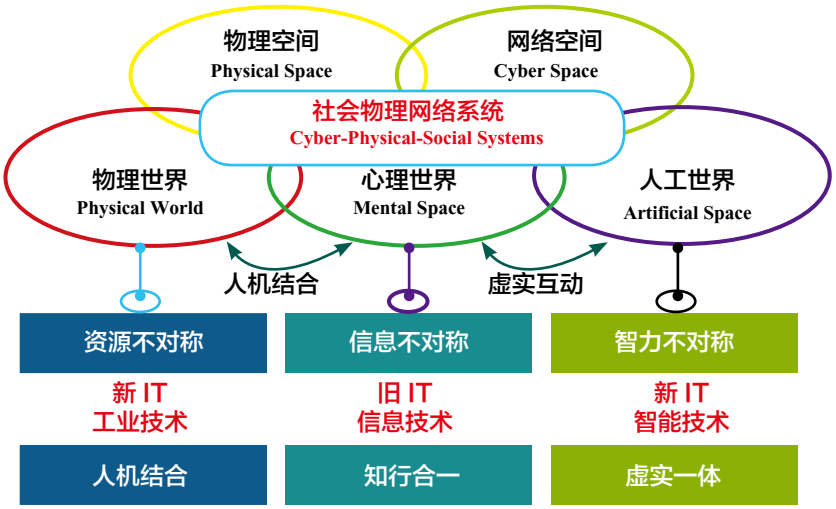
从平行科技到智能产业：新 IT 和工业 5.0

2016 年 3 月初，人工智能系统 AlphaGo 以 4:1 战胜人类围棋高手；年末，其升级版本“大师 Master”更以 60:0 横扫人类围棋群雄，在世界范围内引发了广泛的讨论与争议。计算机的胜利不仅大大提高了人们对以人工智能为代表的智能技术的信心，同时也为解决优化问题中的计算复杂性提供了一个现实的解决方案。就像邱奇－图灵论题（Church-Turning Thesis）假设所有“合理”的计算都可以用图灵机完成一样，或许现在我们又有了一个“AlphaGo 论题”：所有“合理”的复杂性问题，包括 NP-Complete 甚至 NP-Hard 问题，或许都可以用 AlphaGo 方法与结构处理。邱奇－图灵论题为我们带来了计算机与信息时代，“AlphaGo 论题”能否催生基于新 IT（Intelligent Technology，即智能技术）的新纪元？

如果“AlphaGo 论

题”成立，软件定义的组织（军队、企业、机构等）将成为必须和现实，通过知识自动化的集成，变成“组织围棋”，与物理形态的实际组织虚实互动，构成“平行组织”，产生“平行智能”，进而实现智慧型组织，最终走向智能产业和新 IT 的智能时代。像 AlphaGo 一样，平行组织可以通过“自我对打”在短期内提高能力并且在线学习监控。例如，平行军队可以进行数百场“战争”，平行企业可以积累数十年的“经营”经验，从而迅速对人员进行培训教育、对决策进行实验评估，使过去必须长期实践才能获得的经验和知识在短期内取得，最后实现对行动的闭环反馈式的监控与指导。

未来智能时代的“合一体”特征：人机结合、知行合一、虚实一体



平行产业 1.0 即为工业 5.0。此时 IT 也是平行的，包括了新 IT 的智能技术、旧 IT 的信息技术和老 IT 的工业技术。物理世界中，我们强调工业基础，此时需要“人机结合”；信息世界中，我们最终强调的是真正的“知行合一”；面向人工世界，我们要达到“虚实一体”，软件定义的你、人工人、人工组织、人工企业将变成第三世界的主体。每个时代都有一个时代的任务，农业时代的任务是克服血缘和资源不对称；工业时代的任务是克服发展资源与信息不对称；在智业时代，我们利用平行 IT，构造各种各样的 X5.0 式的智能系统，以此解决数据和智力的不对称。这就是今天我们发展人工智能、机器人、虚拟助手的原因。未来，很可能每个人一生下来，都会有他 / 她的专属平行机器人（硬件 + 软件），软件定义的机器人伴随人类生活，其时代任务就是弥补人与人之间智力的不对称，最终达到一个虚实互动，公开、公平、公正的平行智能社会。

迈向智慧社会和智能时代

我们知道，新学科、新技术、新产业出现的标志之一，就是各种各样的新名词所表示的新型社会基础设施的出现。今天，我们一谈到发达国家，首先会想到这个国家有高速公路，有飞机场、火车站等基础设施；未来，我们提到一个智能社会，一定会首先想到各式各样的 CPSS 与 X5.0 平行系统。

因此，智能产业中的智能系统一定是首先使用人工社会对物理系统进行描述，然后基于计算实验挖掘 CPSS 中的“默顿定律”并分析预测系统状态，最后平行执行引导系统朝着预期的方向运行。人工与实际虚实互动，平时以万变应不变，以游戏或博弈的方式，计算出、评估出企业的市场策略、企业的效率，增强企业运营的敏捷性；一旦出现异常，则以不变应万变，通过计算实验产生的大数据，针对异常情况下的具体问题进行个性化、智能化的决策，使得企业向既定的目标收敛。这样，未来的智能时代，一定是“合一体”平行智能系统：人机结合、知行合一、虚实一体。

王飞跃，中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室主任、研究员，中国自动化学会副理事长兼秘书长，国防科技大学军事计算实验与平行系统技术研究中心主任，中国科学院大学中国经济与社会安全研究中心主任，青岛智能产业技术研究院院长。

王晓，中国科学院自动化研究所助理研究员，青岛智能产业技术研究院平行工作室主任。

王帅，中国科学院自动化研究所在读博士研究生，研究方向主要为社会计算与平行管理。