

主管单位 中国科学技术协会
主办单位 中国自动化学会
编辑出版 中国自动化学会办公室



关注官方微信



关注官方微博

主 编 | 郑南宁 CAA 理事长、中国工程院院士、
西安交通大学教授

副 主 编 | 王飞跃 CAA 监事长、中国科学院自动化
研究所研究员

杨孟飞 CAA 副理事长、中国科学院院士、
中国空间技术研究院研究员

陈俊龙 CAA 副理事长、欧洲科学院院士、
华南理工大学教授

编 委 | (按姓氏笔画排列)

丁进良 王 飞 王占山 王兆魁 王庆林

王 坛 邓 方 石红芳 付 俊 吕金虎

乔 非 尹 峰 刘成林 孙长生 孙长银

孙彦广 孙富春 阳春华 李乐飞 辛景民

张 楠 张 俊 陈积明 易建强 周 杰

赵千川 赵延龙 胡昌华 钟麦英 侯增广

姜 斌 祝 峰 高会军 黄 华 董海荣

韩建达 谢海江 解永春 戴琼海

刊名题字 | 宋 健

地 址 | 北京市海淀区中关村东路 95 号

邮 编 | 100190

电 话 | (010) 8254 4542

传 真 | (010) 6252 2248

E-mail: caa@ia.ac.cn

<http://www.caa.org.cn>

印刷日期 | 2020 年 6 月 15 日

印 数 | 5000 册

发行对象 | 中国自动化学会会员及自动化领域科技工作者

本刊声明

◆ 为支持学术争鸣, 本刊会登载学术观点彼此相左的不同文章。来稿是否采用并不反映本刊在学术分歧或争论中的立场。每篇文章只反映作者自身的观点, 与本刊无涉。

主编的话

此前，全国人民共同度过了一个最漫长的冬季；而今，我们终于迎来了这繁花盛开的六月。这个特殊时期显示了科学技术所拥有的强大能量和光明前景，我们早已进入移动互联网时代，正在进入自动化及人工智能时代。

为深入贯彻习近平总书记关于统筹推进疫情防控和经济社会发展工作重要指示精神，全面落实中国科协关于科技经济融合工作总体部署，中国自动化学会积极开展“抗击疫情·CAA在行动系列讲座”，为广大科技工作者搭建在线服务平台。自“云讲座”开讲以来，已陆续邀请了四十余位专家学者进行在线报告分享，从科学与美到社会物联网，从智慧教育到多智能体，从回声状态网到疫情对行业影响，累计上万人次参与了线上直播与互动。通过“云讲座”方式，力图突破学术交流活动受制于空间和时间的困境，为广大科技工作者提供一个更加便捷和直观的在线交流平台。

本期通讯专刊继续聚焦“CAA云讲座”，分享了清华大学贾庆山副教授《信息物理融合能源系统中事件驱动的学习与优化方法》、中国科学院自动化所魏庆来研究员《离散时间自学习最优控制：原理、发展与应用》、中国信息通信研究院云计算与大数据研究所孙明俊主任《人工智能助力疫情防控》等文章。

在此向贡献稿件的各位专家学者表示衷心的感谢，希望本刊专题能为读者了解自动化与人工智能相关领域的发展提供一定的借鉴。



郑南军



特稿 / Special Contribution

004 理事长郑南宁院士：暖心、令人振奋的讲话给了我们前进的力量

学者风采 / Scholars

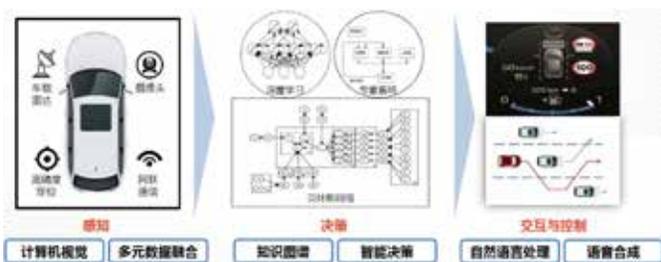
046 写入国际自控联白皮书！东北大学柴天佑院士团队为国际自动化发展提供“中国方案”

云课堂 / Cloud Classroom

- 007 信息物理融合能源系统中事件驱动的学习与优化方法 / 贾庆山
- 016 离散时间自学习最优控制：原理、发展与应用 / 魏庆来
- 029 人工智能助力疫情防控 / 孙明俊

观点 / Viewpoint

- 050 智能无人系统：新一代人工智能重要成果及其应用 / 吴澄 张涛
- 053 尽快将新知识、新技术融入工程学科人才培养方案 / 钱锋
- 054 脑机融合技术或许会成为未来人工智能的一个热门方向 / 蒲慕明
- 058 建设创新型国家，亟需培养大量创新型专业人才 / 易建强



P033



P063



P073



P073

学会动态 / Activities

- 069 中国自动化学会科技专家服务团
组织召开中广核工程有限公司专场科技成果视频
鉴定会
- 070 三学会联合召开“疫情下的生物信息学”线上学
术研讨会
- 072 贡献科技智慧 促进成果转化
——杜彦良院士团队受邀莅临深圳自动化学会，与
会员企业交流研讨
- 074 成都自动化研究会举办工业机器人专场研讨会

科普园地 / Science Park

- 059 读研秘技七：高徒出名师
- 063 读研秘技八：泡泡糖与脱口秀
- 066 读研秘技九：讨论班与综合科研能力

形势通报 / Voice

- 075 中国科协 2020 年服务科技经济融合发展行动方案
- 077 2020 年“全国科技工作者日”致辞 / 万钢 怀进鹏
- 078 北京市加快新型基础设施建设行动方案（2020-2022）



P074

4月22日下午，习近平总书记来到西安交通大学，走进交大西迁博物馆，参观交大西迁的创业历程和辉煌成就展，亲切会见了14位西迁老教授，对交大西迁64年来的成就给予充分肯定，对西迁精神给予高度赞扬。即日起，西安交通大学官网主页开设“牢记总书记嘱托”专栏，讲述交大人用实干践行总书记嘱托的奋斗故事。全体交大人会将荣耀化为巨大动力，以强烈的政治担当、扎实的工作作风、实在的成果业绩“在未来的新时代的历史进程中为中华民族立下卓越的贡献。”

理事长郑南宁院士： 暖心、令人振奋的讲话给了我们前进的力量

2020年4月22日，这一天注定成为交大历史上值得纪念的重要时刻，习近平总书记在百忙之中莅临交大参观西迁博物馆、看望西迁老教授并发表重要讲话。

总书记在看望西迁老教授时深切地谈到，“我了解西安交大，我曾在陕西上山下乡，经常路过西安，知道有一所赫赫有名的大学，是上海搬过来的。”总书记这句话让我们在交大学习和工作的师生员工们倍感暖心。总书记对西迁精神给予肯定，他说“西迁精神的核心是爱国主义，精髓是听党指挥跟党走，交大人真正做到了与党和国家、与民族和人民同呼吸、共命运。党叫干啥就干啥，打起背包就出发。”抚今

追昔，思索未来。总书记的讲话让我们重温交通大学的这段西迁历史，豪迈的激情岁月仿佛就在昨天。

1956年，在周恩来总理的亲自主持下，在彭康校长的精心组织和领导下，第一批西迁师生员工和家属从上海徐家汇踏上西去的专列。这当中既有著名教育家、教授，也有讲师、助教、管理职员、技术员，甚至包括炊事员、理发师、花工等后勤服务人员。他们有的把自己的工厂、洋房卖掉，捐献给国家，举家西迁；有的辞别久病的父母，只身踏上西迁的征程。他们从繁华的上海，来到地处西部的黄土地，开始了艰难的创业历程。在迁校以及新

校建设发展过程中，师生员工艰辛备尝，顾大局、讲奉献，艰难险阻勇于克服。西迁的交大师生在工作和生活中那些平凡但可歌可泣的事迹，铸就了“胸怀大局，无私奉献，弘扬传统，艰苦创业”的西迁精神丰碑。交大的西迁不只是物理空间和办学地域的改变，面对艰苦的环境和办学条件，更为重要的是，在“向科学进军”的号召下，西迁后短短几年间就创建了一批新的专业和学科，如自动控制、计算机、无线电、应用物理、力学、核能技术等，这对我们今天进行学科建设仍然有着重要的指导意义。交大的西迁使中国西部地区出现了一所知名的高水平大学——西安交通大学，

也成为国家调整高等教育战略布局的成功范例。正是祖国和民族命运的感召，交通大学的师生员工上演了中国高等教育史上把一所大学成功搬迁并发展壮大的史诗性一幕。交大的西迁历史深刻地表明，艰苦的环境孕育了发展的机遇，更何况我们今天有了在国内外堪称一流的创新港大环境，我们没有理由不把西安交通大学建设成世界一流大学。

成就伟大的事业，需要伟大的精神。西迁的历史，西迁的文化，西迁的精神，已经演绎成西安交通大学精神和文化的丰富内

涵，为我们带来历久弥新的教育和启迪，成为激励我们创建世界一流大学的精神力量。

西安交通大学的建设和发展始终得到各方面的关心和支持，从周恩来总理亲自主持和关心交通大学的西迁，到今天习近平总书记莅临交大看望西迁老教授。总书记说，现在60多年过去了，这已经有历史结论的事情。西安交大起到了重大的作用，对西部大开发、对全国的经济发展布局，培养了很多人才，做出了很大的科技贡献。不忘初心、牢记使命，老教授们感触很深。我们

也要继续发扬西迁精神，把西安交大办好。在当前的情况下，“两个一百年”奋斗目标、西部大开发战略、“一带一路”倡议都是历史机遇，老师们、同学们要再接再厉。总书记暖心、令人振奋的讲话既是对交大过去成就的肯定，也是对交大未来的期望。

总书记还说到，当前防控疫情也是一个历史机遇，化危为机。重大的历史进步都是在一些重大的灾难之后。我们这个民族，就是在艰难困苦中历练成长起来的。新冠疫情让我们充分认识到，这场人类共同面对的重大公共卫生



郑南宁院士（右二）与学生在一起

事件，将会改变世界的经济形态和地缘政治，带来产业结构的变革。后疫情时代，我们正面临着整个世界的重大变化，这是挑战，更是机遇。中国的知识分子素来有一种“天下兴亡匹夫有责”的气质，我们新时代知识分子正面临世界百年未有之大变局，“以身报国”依旧是我们的使命和担当。

1986年春天，我从国外留学归来不久，在我国模式识别领域著名学者、西迁教师宣国荣教授的带领下，我们在自动控制专业计算机控制教研室的基础上创建了西安交通大学在人工智能领域第一个专职科研机构——人工智能与机器人研究所。宣老师也是我在1978年读硕士研究生时的指导教授。在建所初期他在科学研究方面对于我们的指导，以及他那种艰苦奋斗精神的感召，为我们今后的发展打下了很好的基础。

人机所在34年的发展过程中，一直秉承并以实际行动弘扬践行着西迁精神，面向国家重大需求，聚焦人工智能重大科学前沿问题和应用基础理论瓶颈，加强多学科的深度交叉融合，已成为中国人工智能领域科学研究与人才培养的引领者之一。多年来，人机所培养了一大批人工智能领域的优秀毕业生，取得了一系列重大的科研成果，同时也形成了独特的团队文化。彭康校长提出著名的“三活跃”，即思想活跃、学习活跃、生活活跃，在人机所师生中深入人心，也是学生精神风貌的集中体现。人机所拥有一支团结协作意识强、工作有激情、学术能力突出的教师团队。此次疫情期间，人机所团队针对新冠肺炎疫情防控和治疗中的痛点问题，迅速调整研究策略，凝聚科研抗疫力量，组织和指导团队开展疫

情发展与传播规律的智能预测、疫情防控恶劣环境下无人移动平台系统等抗疫科研攻关，为战胜疫情、对接国家重大需求做出我们的努力。

总书记的讲话振奋人心、总书记的期望犹在耳畔，“我完全相信我们的交大人，在西部的同志们，一定会在未来的新时代的历史进程中为中华民族立下卓越的贡献。”幸福是奋斗出来的，培养优秀的学生、追求事业的成功，在中华民族伟大复兴的历史进程中，能够贡献自己的力量，是我们教师人生中最大的幸福。○

（作者系中国工程院院士、西安交通大学电子与信息学部人工智能学院教授、中国自动化学会理事长
郑南宁）

来源：西安交通大学



“抗击疫情 CAA 在行动云讲座”是中国自动化学会在疫情期间推出的公益活动，对广大科技工作者免费开放。“云讲座”自开讲以来，共邀请了四十余位报告人为大家带来精彩的线上分享。从科学与美到社会物联网，从智慧教育到多智能体，从回声状态网到疫情对行业的影响，共计万余人次参与了线上直播与互动。本期栏目为大家分享在历次“云讲座”中报告人的精彩内容，以飨读者。

信息物理融合能源系统中事件驱动的学习与优化方法

文 / 清华大学 贾庆山

导读：3月17日，清华大学自动化系贾庆山副教授做客“CAA云讲座”，为大家带来一场题为“信息物理融合能源系统中事件驱动的学习与优化方法”的精彩报告。约400人在线观看了讲座直播并参与探讨。

当今社会，日益增长的能源需求和可持续发展矛盾突出，能源系统的整体规划和优化运行是节能减排最重要的途径之一。在以城市能源互联网、智能建筑等为代表的信息物理融合能源系统中，信息流、能源流深度融合。这为实现多

种能源综合互补、供需匹配，提高系统的整体能效水平，同时提升用户的舒适体验，均提供了巨大的机遇。但此类系统的综合优化一般涉及在多个时间和空间尺度上的动态过程。比如在城市能源互联网中，在供能一侧，风能与太阳能等新能源的发电量每分钟均可能发生较大幅度的变化，且有逐时、逐日等不同时间尺度的发电预测模型，有单台设备、风电场等不同时间尺度的发电预测模型。在用能一侧，电动汽车的出行需求也有较大的不确定性，有逐时、逐日等不同时间尺度

的预测模型，有停车场、城区、城市等不同空间尺度的预测模型。如何综合利用多个尺度的模型，实现系统整体性能的优化，具有重要的实际意义，也有巨大的科学挑战。

据统计，美国建筑运行能耗占社会总耗能41.7%，我国建筑运行能耗占比为19%，且仍在上升。时下，中国日益增长的能源需求与可持续发展矛盾突出。《十三五规划纲要》明确指出“必须坚持节约资源和保护环境的基本国策，坚持可持续发展”。煤耗节能空间如表1所示，整体规划和优化运

表1 煤耗节能空间 (Guan 2017)

行业	节能空间计算依据	总煤耗节能空间
发电	发电优化调度节能空间3-5%，发电占总煤耗50%	2.0%
楼宇供能	楼宇能源系统总节能空间15-25%，楼宇能耗占总能耗35%，其中电耗68%	3.0%
高耗能企业	高耗能企业能源系统节能空间10-15%，高耗能企业占总能耗40%，其中煤耗70%	3.5%
供需配合	通过需求形影与负载控制，改变不同时段的边界能耗，以节约总能耗供给	2.0%
总计	10.5% (相当于每年节约标准煤3.5-4亿吨)	

行能源系统是节能减排最重要的途径之一。有效的措施是，在能源供应侧，充分利用可再生新能源，实现“水火风光”协调配合，需求侧提效节能、供需配合，进而构建信息流和能源流深度融合的新一代能源系统。

然而，供需协同优化与随机匹配过程中有一系列需要面对的挑战。常见挑战有维数灾、模型灾和多阶段，特殊挑战有高不确定性（风力发电含高不确定性）、多层次目标函数、多时空尺度关联耦合等。解决此类问题需要借力基于物联网、大数据和云计算的人工智能技术，其关键是决策。如图1为经典的马氏决策过程模型，即给定当前状态后，当前的决策与历史上的状态和行为无关。如何求解马氏决策过程？常用方法是通过仿真或计算评估给定策略的性能，再通过不断迭代最终得到最优策略。常用算法有两类：策略迭代和值迭代。满足马氏性时，对最优策略的搜寻只需要考虑马氏策略即可。

事件驱动的学习与优化方法为策略优化问题提供了新的思路。事件是一组状态转移对构成的集合 $e = \{ (s, s') \}$ ，事件可用于聚集状态；对于大规模系统， $|S| = O(e^n)$ ， $|E|$ 可能随问题规模增加仅按线性速度增大，或者保持为常数。事件驱动的

决策本质上是部分可观马氏决策过程 (PODMP)，事件驱动的强化学习 (Event-based Reinforcement Learning, eRL) 是核心求解方法。

下面通过对比说明强化学习方法的基本思想与优点 (图2)。蒙特卡洛方法通过从给定事件出发的多条样本轨道来评估给定策略在该事件出现后的平均性能。其评估精度随每条样本轨道的长度以及总样本轨道的数量而提升。这一方法在工程中常用，但是需要有仿真模型。强化学习方法可以采用单条样本轨道，通过适当的剪裁，可近似看成是从不

同事件出发的多条样本轨道。当单条样本轨道长度增大时，也可以获得给定策略在不同事件出现后的平均性能。强化学习方法的好处是只需要单条样本轨道即可，因而可以通过布设传感器获得。

可以进一步将深度学习与强化学习相结合。因为即使所观测的历史数据再丰富，已经经历过的历史样本轨道只是所有可能样本轨道中相当小的比例。因而需要估计在没有出现过的 (事件，行为) 对上给定策略的性能。深度神经网络提供了一种这样的估计器 (图3)。

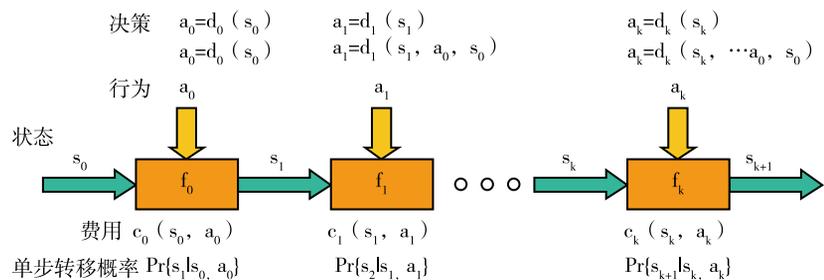


图1 马氏决策过程模型

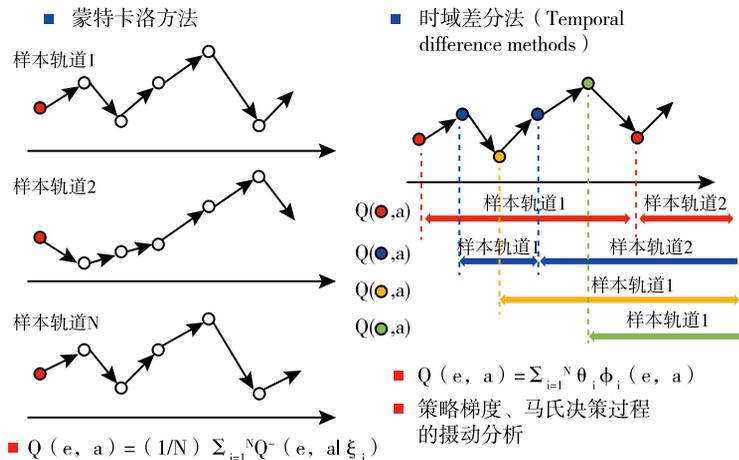


图2 蒙特卡洛方法与时域差分法

下面介绍事件驱动的优化与学习方法的三个典型应用。

一、建筑多能源系统

建筑多能源系统在生活中已有诸多应用，如图 4 所示，比如具有学习能力的温控器 NEST、集成末端控制、清华 HMI 系统（见图 5）等。供需协调可以提升能效与舒适度。

1. 基于局部信息的暖通空调整体优化

利用暖通空调各房间末端物理设备相似关系；基于相邻房间空气湿、热耦合及墙体传热模型；提出基于局部信息的时间驱动暖通空调整体优化方法，优化流程如图 6 所示。

2. 关联随机优化

针对关联随机优化，核心问题有多能源关联运行控制策略无法有效搜索，需求高不确定性，关联耦合定量关系不明。如图 7 所示。

有两种主流解决思路（见图 8）：估计人员分布，引入人员分区停留模型消除累积误差；建立多系统综合仿真模型，引入基于物理空间的解耦提升仿真速度。

利用人员停留模型，将基于红外、监控视频的估计误差消除 50%。长期运行后，常规方法估计值因误差累积而发散，新方法估计值收敛（Jia et al. 2015）。

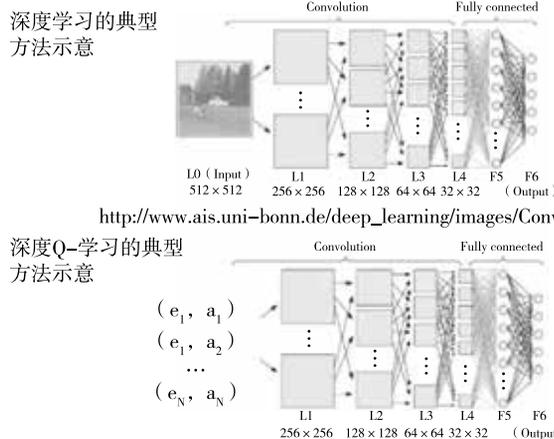


图 3 深度学习和深度 Q-学习的典型方法示意

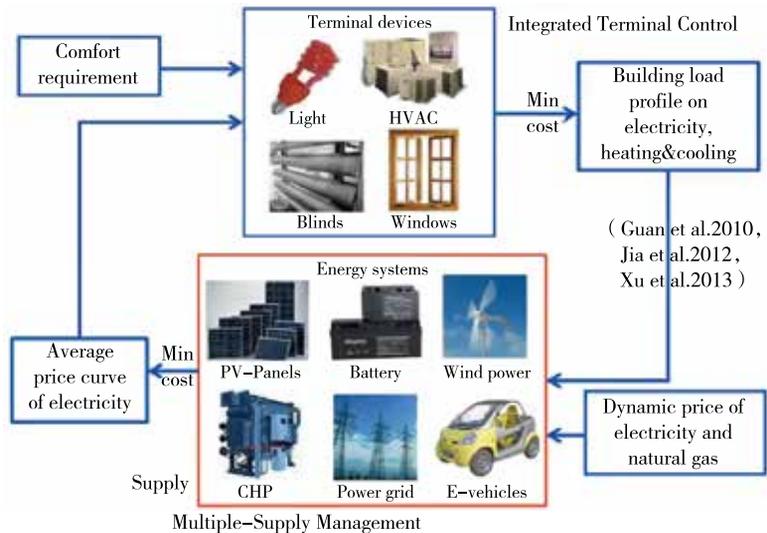


图 4 建筑多能源系统

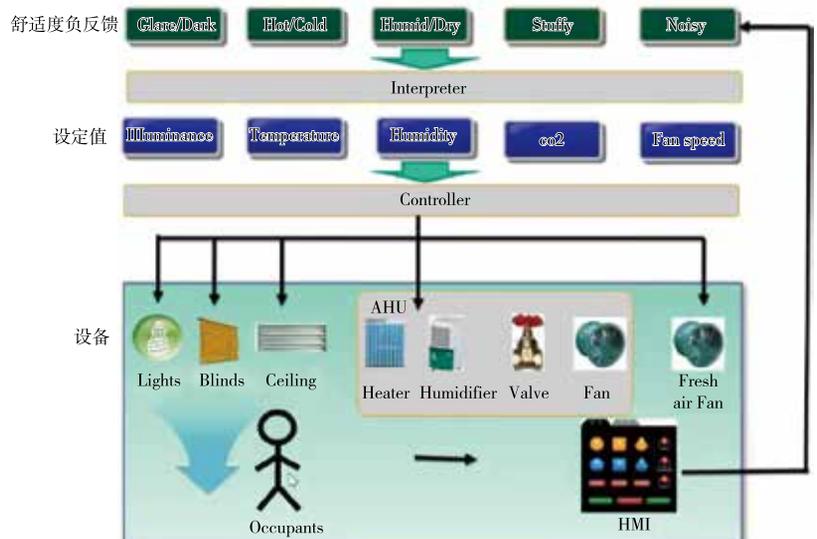


图 5 智能大厦 (iBuilding)

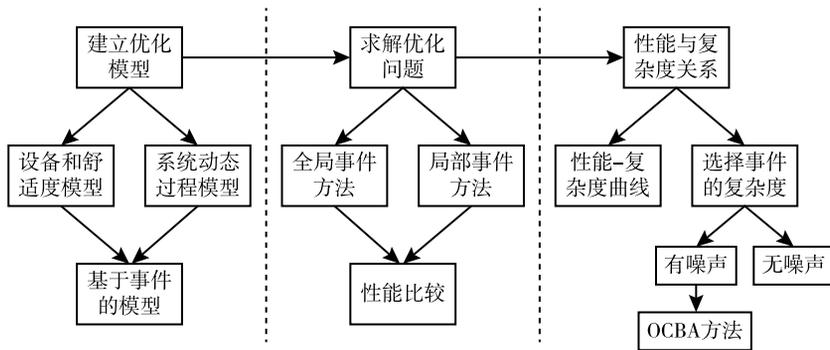


图6 优化流程

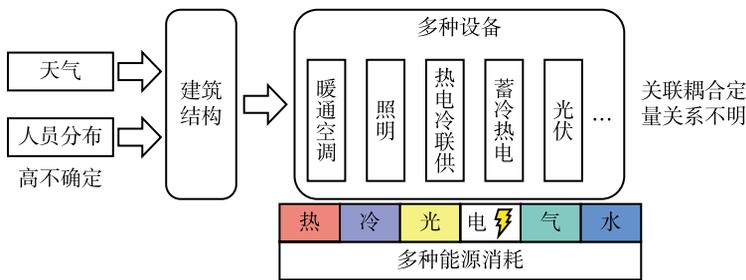


图7 核心问题分析

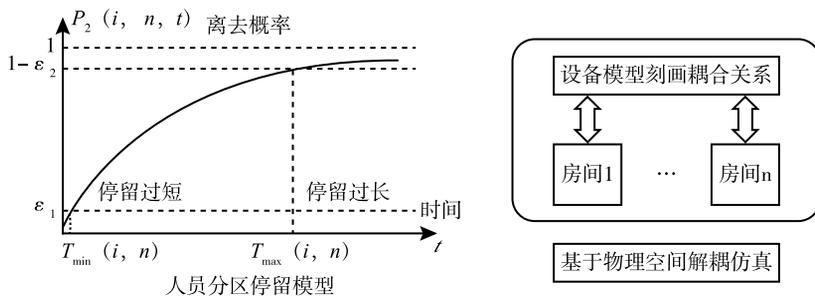


图8 关联随机优化解决思路



图9 建筑群多能源系统

关键技术授权发明专利“根据建筑物区域人数分布对能源设备进行控制的方法”。某实际建筑，使用国际公认建筑能耗模拟软件 DeST 测评，新方法策略比最优策略能耗高 0.3%，计算时间仅为其他方法的 2% (Sun et al. 2015)。关键技术获授权发明专利“基于用户舒适感的室内环境集成控制系统及方法”。

二、建筑群多能源系统

建筑群多能源系统中每栋建筑都是 iBuilding，连接成为微电网，如图 9 所示。

简约策略优化有以下核心问题：多栋建筑联合运行控制策略无法有效搜索，维数灾；策略空间组合爆炸，策略复杂度与性能关系不明。现有的两种常见方法（图 10）不能量化处理策略复杂性与策略性能之间的权衡。

我们的解决思路（图 11）：利用问题结构压缩搜索空间，分析保优压缩充分与必要条件；量化事件驱动策略的复杂度与性能关系引入迭代估计方法 (Jia 2011, 2013)。

建筑无线传感器网络需在电池供电下长期监控。常规周期性通信模式能耗与精度难以两全。而事件驱动通信可保障精度，动态调整通信间隔，为能耗与精度提供量化权衡 (Wu et al. 2013)，模型与效果如图 12 所示。

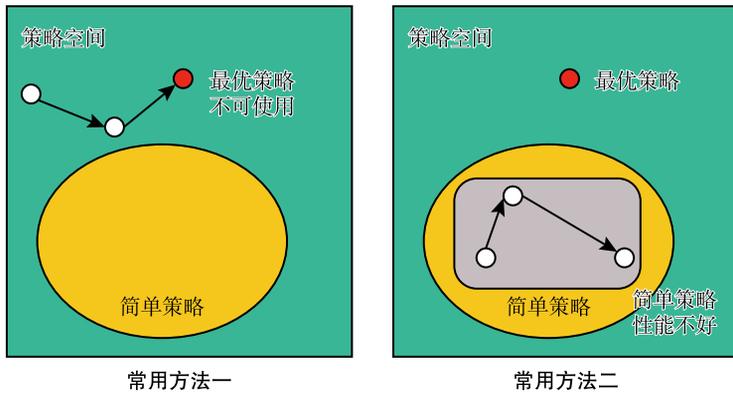
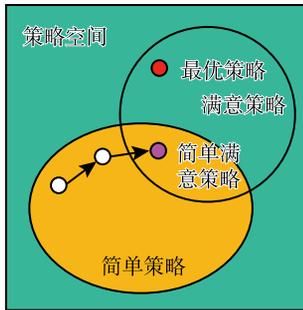


图 10 简约策略优化方法



系统性搜索简约满意策略

$$\frac{T_i}{T_j} = \frac{\frac{\sigma_i^2 \mu_i}{\delta_{b,i}^2}}{\frac{\sigma_j^2 \mu_j}{\delta_{b,j}^2}} \frac{\text{噪声}}{\text{信号}} = \frac{\text{仿真评价噪声}}{\text{真实性能差异}}$$

迭代评估复杂度与性能关系

图 11 简约策略优化解决思路

$$\gamma k = \begin{cases} 0, & \text{if } \|\varepsilon k\|_\infty \leq \delta \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

用参数 δ 控制事件触发频率和估计精度

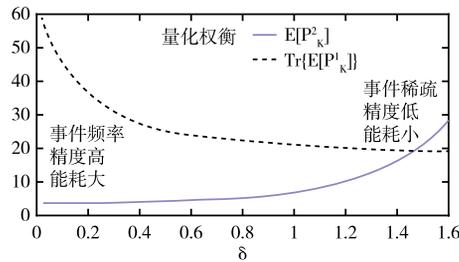


图 12 模型与效果



图 13 城市多能源系统

三、城市多能源系统

城市多能源系统也是时下的一个特别热门的研究方向，如图 13 所示。

1. 建筑风力发电与电动汽车充电需求的随机匹配

在北京机场测量高度 55 米时平均风速 3.6m/s，而电动汽车年均耗电量 2.580kWh/ 辆（14, 700km）。如果在每栋 50 米以上建筑物顶端安装直径 22 米的风力发电设备，若能随时存储、取用，则足以支撑 55000 辆电动汽车供电。但如果没有这样特别大的储能设备，就需要通过随机优化调度来匹配新能源发电与电动汽车充电之间的关系。随机匹配问题面临着挑战，首先在单个时间点，风力发电与电动汽车充电需求之间应保持平衡（图 14）；其次，在一个时间段上，电动汽车的充电曲线应匹配风力发电曲线（图 15）。

风力发电量波动性大，标准差可能达到均值的 20%。电动汽车的充电需求也有很大随机性。现有研究提出了不同时间或者空间尺度上的风力发电预测模型（图 16）（姜兆宇等 2019），但是综合使用多种模型提升预测精度的研究比较少。电动汽车的行程可以通过统计数据建模。

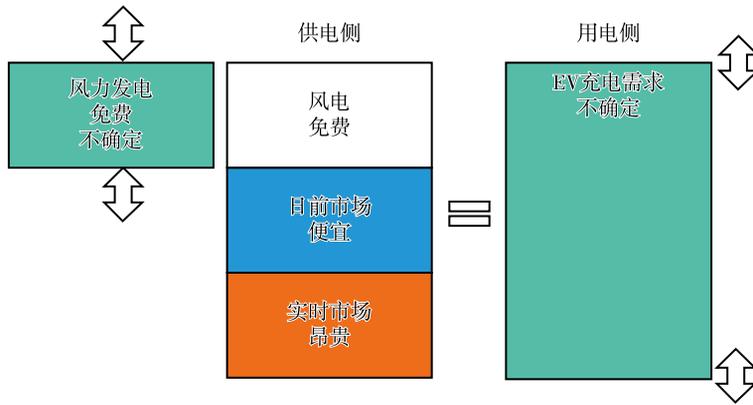


图 14 单阶段供需匹配

求解风力发电与电动汽车充电随机匹配策略优化的基本思路：首先将电动汽车充电需求聚集后与风能匹配，然后在电动汽车之间分配充电量。对应的数学模型如图 17。在上层问题使用事件驱动的强化学习求解，在下层问题使用模型预测控制求解。

此外，采用最短剩余充电负荷优先准则，按照充电的迫切度对车辆排序。采用图 17 所示参数对应的数值算例测试上述方法的性能。

我们对比了贪婪策略、单时间尺度充电策略和多尺度优化的策略。多尺度优化的策略不仅提升了对风能的利用率，而且降低了总充电成本（表 2）。

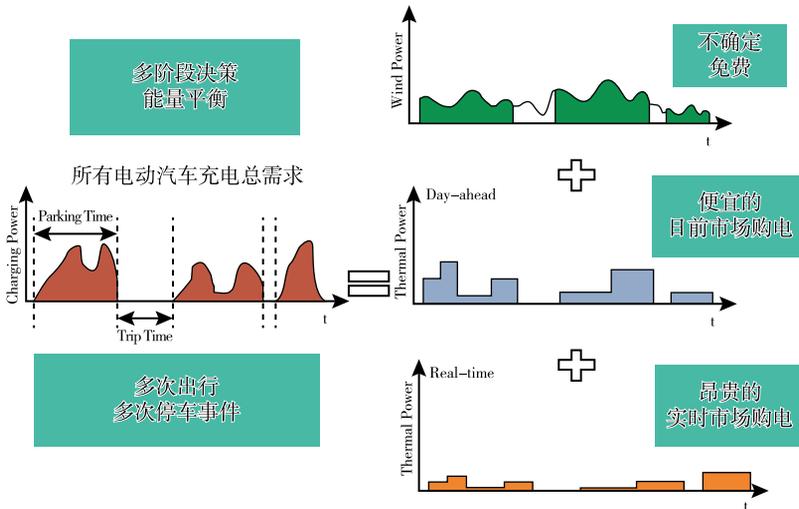


图 15 多阶段供需匹配

表 2 充电费用

策略	日前费用 (RMB)	实时费用 (RMB)
贪婪策略	-	7031.8
单时间尺度策略	1592.4	3671.3
多时间尺度策略	1592.4	1691.0

策略	总费用 (RMB)	匹配度
贪婪策略	7031.8	0.2969
单时间尺度策略	5263.7	0.4148
多时间尺度策略	3286.4	0.5118

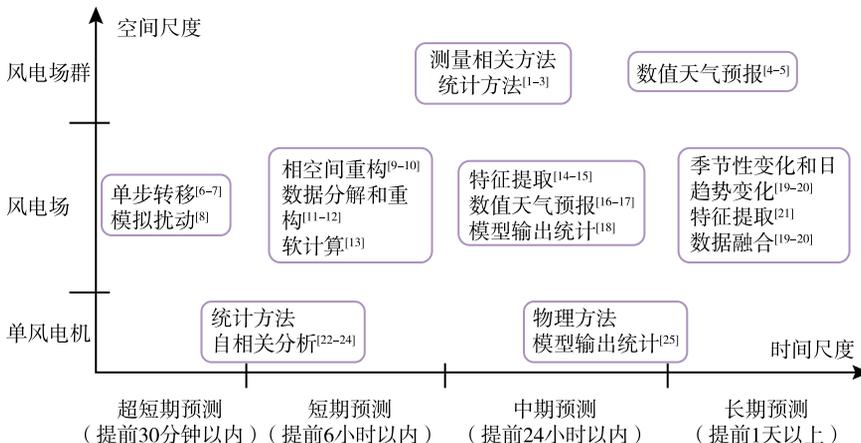


图 16 风能预测

以上方法已经被推广到如下情形：

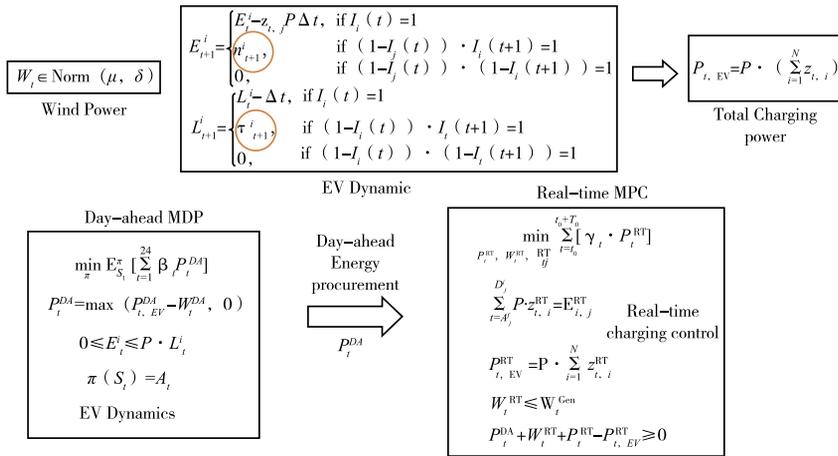


图 17 问题模型

■ 微网参数设置

- EV: 电池容量60kWh, 充电功率3kW^[8]
- 1000EVs
- 风力数据来源: Alberta Electric System Operator^[9]
- 风能: 正态分布 (标准差: 均值的10%)

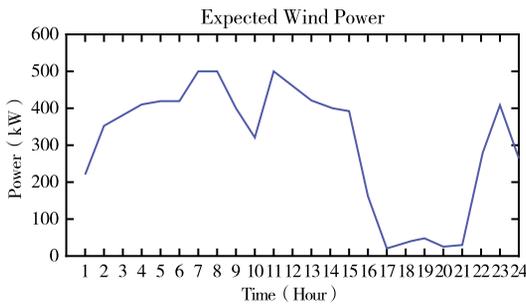
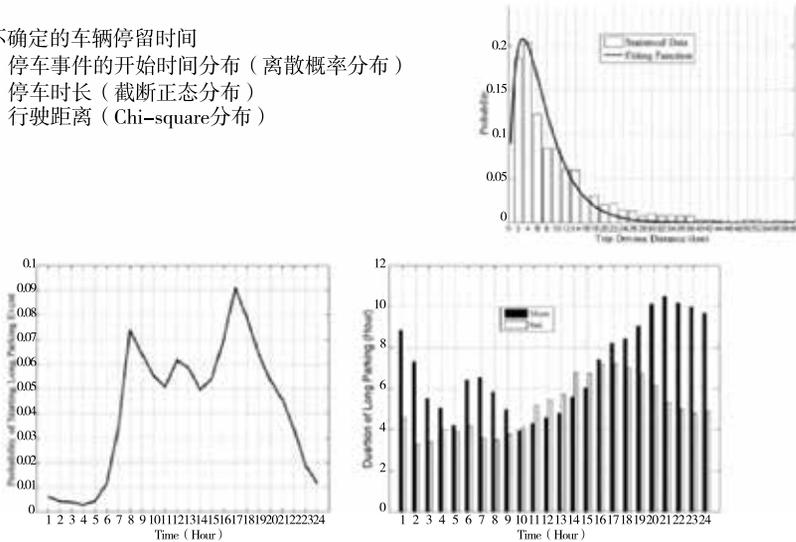


图 19 问题分析

[8] BYD e6. [online]. Available: <http://www.byd.com/na/auto/e6.html>. (2015-8-17)
 [9] Alberta Electric System Operator Website. [online]. Available: <http://www.aeso.ca/gridoperations/20544.html>. (2015-8-17)

■ 不确定的车辆停留时间

- 停车事件的开始时间分布 (离散概率分布)
- 停车时长 (截断正态分布)
- 行驶距离 (Chi-square分布)



Data source: <http://mspace.lib.umanitoba.ca/handle/1993/3997>. (2015-8-17)

图 18 算例

- 具有太阳能和共享储能设备的建筑群微电网 (Zhang and Jia 2018)
- 具有不确定风能的鲁棒随机优化 (Huang et al. 2018)
- 面向共享电动汽车的充电优化
- 分布式全局优化 (Yang et al. 2019)

2. 多尺度策略优化

城市多能源系统协同运行控制策略存在无法有效搜索、多尺度、仿真评价耗时长、局部供需匹配能力不明等问题。如图 19 所示。

解决思路 (图 20): 综合多个尺度的仿真模型, 引入最小时空单元; 局部供需随机匹配。

在某城市多能源系统案例 (Huang et al. 2017), 采用典型气象及出行数据模拟, 多尺度方法提高风电使用率 23%, 降低电动汽车充电费用 37%。

综上所述, 可持续发展的国家战略要求能源供应与需求两侧协同优化、随机匹配; 信息流、能源流深度融合的信息物理融合系统 (CPES) 是安全节能优化调度的基础; 事件驱动的学习与优

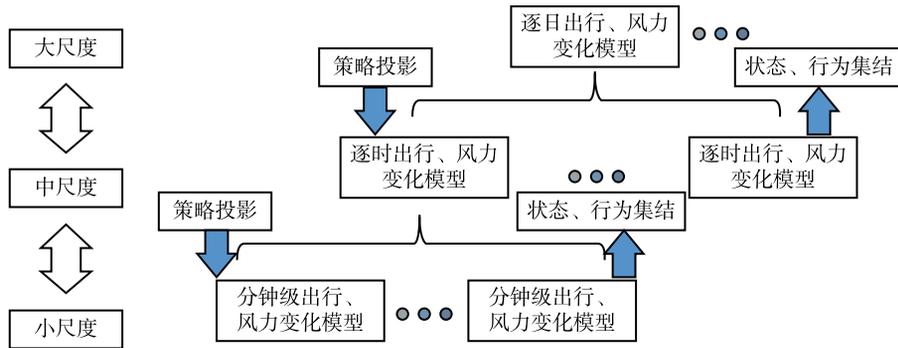


图 20 解决思路

化方法可处理大规模、分布式能源与电动汽车、建筑物等柔性显著节能潜力，且可提高电网稳定性，提高系统舒适性。○

文献综述:

- [1] (Guan 2017) Guan, X., Keynote Speech, the 1st IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration, Beijing, China, Nov. 26-28, 2017.
- [2] (Huang et al. 2017) Huang, Q., Jia, Q.-S., and Guan, X., "A multi-timescale and bi-level coordination approach for matching uncertain wind supply with EV charging demand," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 694-704, April 2017.
- [3] (Huang et al. 2018) Huang, Q., Jia, Q.-S., and Guan, X., "Robust scheduling of EV charging load with uncertain wind power integration," IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 9, No. 2, pp. 1043-1054, Mar. 2018.
- [4] (Jia 2011) Jia, Q.-S., "On state aggregation to approximate complex value functions in large-scale Markov decision processes," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 56, No. 2, pp. 333-344, Feb. 2011.
- [5] (Jia 2013) Jia, Q.-S., "Efficient computing budget allocation for simulation-based optimization with stochastic simulation time," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 58, No. 2, pp. 539-544, Feb. 2013.
- [6] (Jia and Wu 2018) Jia, Q.-S. and Wu, J., "On distributed optimization for supply demand coordination in cyber physical energy systems," the 14th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, Munich, Germany, Aug. 20-24, 2018.
- [7] (Jia et al. 2015) Jia, Q.-S., Wang, H., Lei, Y., Zhao, Q., and Guan, X., "A decentralized stay-time based occupant distribution estimation method for buildings," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 1482-1491, Oct. 2015.
- [8] (Sun et al. 2015) Sun, B., Luh, P. B., Jia, Q.-S., and Yan, B., "Event-based optimization within the Lagrangian relaxation framework for energy savings in HVAC systems," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 1396-1406, Oct. 2015.

- [9] (Wu et al. 2013) Wu, J., Jia, Q.-S., Johansson, K. H., and Shi, L., "Event-based sensor data scheduling: Trade-off between communication rate and estimation quality," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 58, No. 4, pp. 1041–1046, Apr. 2013.
- [10] (Yang et al. 2019) Yang, Y., Jia, Q.-S., Guan, X., Zhang, X., Qiu, Z., and Deconinck, G., "Decentralized EV-based charging optimization with building integrated wind energy," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 16, No. 3, pp. 1002–1017, July 2019.
- [11] (Zhang and Jia 2018) Zhang, Y. and Jia, Q.-S., "A simulation based policy improvement method for joint-operation of building microgrids with distributed solar power and battery," *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 9, No. 6, pp. 6242–6252, Nov. 2018.

作者简介



贾庆山，清华大学自动化系长聘副教授。分别于2002、2006年毕业于清华大学自动化系获得工学学士、博士学位，留校任教，2010年

升副教授。2015年任长聘副教授。分别于2006、2010、2013年任哈佛大学、香港科技大学和麻省理工学院访问学者。现任 *IEEE Transactions on Automatic Control* 副编辑，曾任 *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*、*Discrete Event Dynamic Systems – Theory and Applications* 副编辑。主要学术方向为网络化信息物理融合能源系统的优化理论与方法，特别在序优化及事件驱动优化方法的应用与发展方面做出了贡

献。发表三十余篇 IEEE 汇刊论文。先后获得国家自然科学二等奖（2009年、2018年）、国家自然科学基金优秀青年基金（2012年）、教育部自然科学二等奖（2013年）、中国自动化学会自然科学一等奖（2015年）、IEEE 国际自动化科学与工程年会最佳论文奖（2015年）、英国运筹学协会 Tocher 奖（国际期刊 *Journal of Simulation* 2015年–2016年最佳论文奖）。

离散时间自学习最优控制：原理、发展与应用

文 / 中国科学院自动化所 魏庆来

导读：3月20日，中国科学院自动化研究所研究员魏庆来做客“CAA云讲座”，为大家带来一场题为“离散时间自学习最优控制：原理、发展与应用”的精彩报告，300余人在线观看了讲座直播并参与探讨。报告主要介绍了基于自适应动态规划（Adaptive Dynamic Programming, ADP）的非线性系统自学习最优控制方法的基本原理、研究进展以及应用。自适应动态规划由美国学者 P. J. Werbos 首次提出，以最优性原理为基础，融合人工智能的先进方法，是解决大规模复杂非线性系统智能优化控制问题的方法。自适应动态规划基于增强式学习原理，采用非线性函数拟合方法逼近动态规划的性能指标，模拟人通过环境反馈进行学习的思路，有效地解决了动态规划“维数灾”的难题，近年来被认为是一种非常接近人脑智能的学习控制方法。

一、自适应动态规划理论

对于离散时间的非线性控制系统 $x_{k+1}=F(x_k, u_k)$, $x \in X \subset R^n$, $u \in A \subset R^m$, x 表示状态, u 是控制动作。给出性能指标函数 $J(x_k) = \sum_{i=k}^{\infty} U(x_i, u_i)$, U 是给定的效应函数, 我们期望性能获得最优。Bellman 最优性方程是一个递归方程, 可由动态规划 (dynamic programming, DP) 算法求解, 通过求解该方程可以找到最优值函数和最优策略。根据 Bellman 的最优性原理, 从 t 时刻开始的最优成本的求解如公式 (1)。 t 时刻的最优控制 $u^*(t)$ 是达到这个最小值的 $u(t)$, 求解公式如公式

(2)。动态规划适用于很多工程问题, 如逆向数值过程 (时间逆向、未知函数 J), 计算复杂度随着变量的数量呈指数增长 (只适用于实践中的小问题)。

$$J^*[x(t), t] = \min_{u(t)} \{U[x(t), u(t), t] + \gamma J^*[x(t+1), t+1]\} \quad (1)$$

$$u^*(t) = \arg \min_{u(t)} \{U[x(t), u(t), t] + \gamma J^*[x(t+1), t+1]\} \quad (2)$$

1961年, Bellman 提出在求解动态最优化问题时需要利用逆向归纳法基于状态变量的每一个值进行计算, 当状态变量的数量很多时, 需要计算的频次是幂次增加的。然而在向量计算的问题中, 随着维数的增加, 计算量会呈指数倍增长, 即维数灾难 (Curse of Dimensionality) 问题。

1977年, 美国学者 Paul J. Werbos 首次提出了自适应动态规划 (Adaptive/Approximate Dynamic Programming, ADP), 又叫近似动态规划, 是人工智能和控制领域发展而交汇形成的新兴学科。ADP 是一种新的非线性优化方法, 该方法融合了强化学习和动态规划的思想, 模拟人通过环境反馈进行学习的思路, 被认为是一种非常接近人脑智能的方法, 该方法有效地解决了动态规划“维数灾”的难题。因此,

ADP 是一种适合于解决复杂非线性系统优化控制的新方法。同年, Prokhorov 和 Wunsch 讨论了启发式动态规划 (Heuristic Dynamic Programming, HDP), 双启发式动态规划 (Dual Heuristic Programming, DHP) 和全局双启发式动态规划 (Globalized Dual heuristic Programming, GDHP) 的设计, 并提出了 ADP 的实现方法与训练步骤。

ADP 是利用函数近似结构, 来逼近动态规划方程中的性能指标函数和控制策略, 使之满足最优性原理, 进而时间向前 (Forward-in-time) 获得最优控制和最优性能指标函数。ADP 一般包括三个部分: 动态系统 (dynamic system)、评价执行函数 (critic performance index function) 环节、执行/控制 (action/control) 环节, 每个

环节均可由神经网络来代替。其中动态系统 (或称为被控对象) 对应于建立的模型, 执行/控制环节用来近似最优控制策略, 评价执行函数环节是基于 Bellman 最优性原理进行参数更新, 评价网络和执行网络的组合成了一个智能体。执行/控制作用于动态系统, 评价执行函数由动态系统产生奖励或是惩罚作用来影响。执行/控制环节输出控制动作, 评价执行函数的输出是基于贝尔曼最优性原理的代价函数值, 即以输出代价函数值最小为目标调整执行/控制环节使其输出动作近似最优。自适应动态规划原理图如图 1 所示。

二、迭代自适应动态规划理论

2.1 迭代自适应动态规划基本思想

若要解出传统 Bellman 方程 (3) 中的 $V(x_k)$, 可以考虑一个代数方程 $V=f(v)$, 用迭代法

$V_{i+1}=f(v_i)$ 求解这个方程。如果上面的迭代是收敛的, 则从任意初始值 V_0 开始。

$$V(x_k) = \min_{u_k} \{ U(x_k, u_k) + V(x_{k+1}) \} \quad (3)$$

2.2 迭代自适应动态规划分类

迭代自适应动态规划分为两类: 值迭代自适应动态规划方法 (Value iterative adaptive dynamic programming) 和策略迭代自适应动态规划方法 (Policy iterative adaptive dynamic programming)。

值迭代自适应规划, 每一个当前状态 s , 对每个可能的动作 a 都计算一次采取这个动作后到达的下一个状态的期望价值。看看哪个动作可以到达的状态的期望价值函数最大, 就将这个最大的期望价值函数作为当前状态的价值函数, 循环执行该步骤, 直到价值函数收敛。选择初始值迭代函数 $v_0(\cdot) = 0$ 。定理 1: 对于 $i=0, 1, 2, \dots$, 求解控制率公式 (4), 同时更新值函数 (5)。迭代过程如图 2 所示。2008 年, Frank Lewis 和他的合作者证明了值迭代学习的收敛性和单调性 (单调非增有上界) (Al-Tamimi, A., Lewis, F. L., & Abu-Khalaf, M. (2008). Discrete-time nonlinear HJB solution using approximate dynamic programming: Convergence

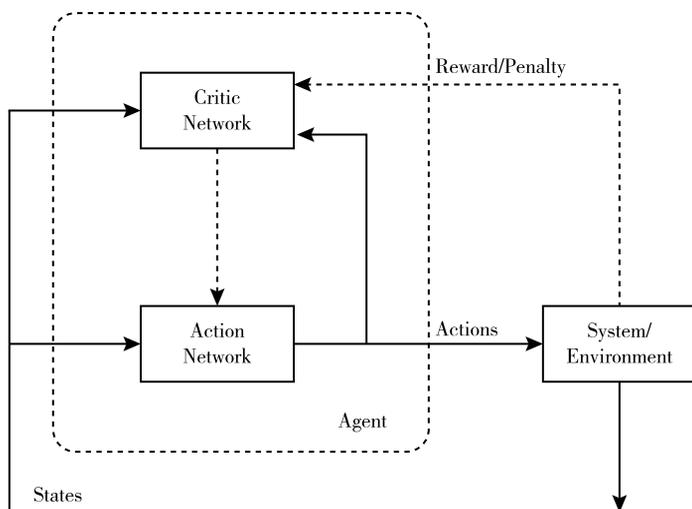


图 1 自适应动态规划原理图

proof. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 38 (4), 943-949.)。

$$v_i(x_k) = \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_i(x_{k+1})\} \quad (4)$$

$$V_{i+1}(x_k) = U(x_k, v_i(x_k)) + V_i(F(x_k, v_i(x_k))) \quad (5)$$

$$V_0 \rightarrow v_0 \rightarrow V_1 \rightarrow v_1 \rightarrow V_2 \rightarrow v_2 \rightarrow V_3 \rightarrow \dots$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{i=0} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{i=1} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{i=2}$

图2 值迭代过程

策略迭代自适应动态规划初始于一个给定的容许控制率 $v_0(x_k)$ ，对于 $i=0, 1, 2, \dots$ ，可通过如下两式进行迭代。构建性能指标函数满足 GHJB 方程 (6)，获得迭代控制 (7)。2014 年，我和刘德荣教授证明了策略迭代学习的稳定性、收敛性和单调性 (单调非增有下界) (Liu, D., & Wei, Q. (2014). Policy iteration adaptive dynamic programming algorithm for discrete-time nonlinear systems. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 25(3), 621-634.)。

$$v_i(x_k) = U(x_k, v_i(x_k)) + V_i(F(x_k, v_i(x_k))) \quad (6)$$

$$V_{i+1}(x_k) = \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_i(x_{k+1})\} \quad (7)$$

三、自适应动态规划进展

3.1 广义值迭代自适应动态规划

对于 $i=0$ ，设初始性能指标函数 $v_0(x_k) = \psi(x_k)$ ，初始迭代控制率公式 (8)，性能指标函数计算为公式 (9)。

$$V_0(x_k) = \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_0(x_{k+1})\} \quad (8)$$

$$V_1(x_k) = U(x_k, v_0(x_k)) + V_0(F(x_k, v_0(x_k))) \quad (9)$$

对于 $i=1, 2, \dots$ ，广义迭代 ADP 算法在公式 (10) 和公式 (11) 两者之间进行迭代。

$$v_i(x_k) = \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_i(F(x_k, u_k))\} \quad (10)$$

$$V_{i+1}(x_k) = \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_i(F(x_k, u_k))\} \quad (11)$$

对收敛性进行分析，定理 2：假设猜想 1-4 成立，对于 $i=0, 1, \dots$ ，令 $V_i(x_k)$ 和 $v_i(x_k)$ 以 (8) — (11) 表示。若定理成立，则迭代性能指标函数 $V_i(x_k)$ 收敛于最优性能指标函数 $J^*(x_k)$ ，如公式 (12)。

$$\lim_{i \rightarrow \infty} V_i(x_k) = J^*(x_k) \quad (12)$$

$$\left(1 + \frac{\underline{\delta}-1}{(1+\gamma^{-1})^i}\right) J^*(x_k) \leq V_i(x_k) \leq \left(1 + \frac{\bar{\delta}-1}{(1+\gamma^{-1})^i}\right) J^*(x_k)$$

并得到以下两个推论：

Corollary 1. Suppose Assumptions 1-4 hold. For $i = 0, 1, \dots$, let $V_i(x_k)$ and $v_i(x_k)$ be obtained by (1) - (5). If for $\forall x_k \in \mathbb{R}^n, V_1(x_k) \leq V_0(x_k)$. holds, $\forall i = 0, 1, \dots$, then

$$\begin{cases} V_i(x_k) \geq V_{i+1}(x_k) \\ V_i(x_k) \geq J^*(x_k) \end{cases} \quad (13)$$

Corollary 2. If for $\forall x_k \in \mathbb{R}^n, V_1(x_k) > V_0(x_k)$ holds $\forall i = 0, 1, \dots$, then

$$\begin{cases} V_i(x_k) \leq V_{i+1}(x_k) \\ V_i(x_k) \leq J^*(x_k) \end{cases} \quad (14)$$

对稳定性进行分析如下

Lemma 1. Suppose Assumptions 1-4 hold. For $i = 0, 1, \dots$, let $V_i(x_k)$ and $v_i(x_k)$ be obtained by (5) - (9). Then, $\forall x_k \in \mathbb{R}^n$, there exists a finite i that makes

$$|V_i(x_k) - J^*(x_k)| < c \quad (15)$$

hold, where $c > 0$ is an arbitrary given positive number.

定理 3：对于 $\forall x_k \in \mathbb{R}^n$ ，当不等式 (15) 成立，则在迭代控制律 $v_i(x_k)$ 下，非线性系统 (1) 的状态一致渐近有界 (UUB) 稳定，其中 $i=0, 1, \dots$ 。

如何获得渐近稳定的控制律？定理 4 和定理 5 给出两种方法。

Theorem 4. For $i = 0, 1, \dots$, if

$$V_{i+1}(x_k) \leq V_i(x_k) \quad (16)$$

holds then we have the nonlinear system (1) is asymptotically stable under the iterative control law $v_i(x_k)$.

Theorem 5. For $i = 0, 1, \dots$, if

$$V_{i+1}(x_k) - V_i(x_k) \leq U(x_k, v_i(x_k)), \quad (17)$$

then we have the nonlinear system (1) is asymptotically stable under the iterative control law $v_i(x_k)$.

Proof. According to (25), we have

$$(V_{i+1}(x_k) - V_i(x_k)) - (V_i(x_k) - V_{i-1}(x_k)) \leq 0.$$

Then, we can get

$$\begin{aligned} & (V_{i+1}(x_k) - V_i(x_k)) - U(x_k, v_i(x_k)) \\ & \leq V_i(x_k) - V_{i-1}(x_k) - U(x_k, v_{i-1}(x_k)) + U(x_k, v_i(x_k)) \end{aligned}$$

which obtains

$$V_i(x_{k+1}) - V_i(x_k) \leq V_{i-1}(x_{k+1}) - V_{i-1}(x_k) + U(x_k, v_{i-1}(x_k)).$$

As $V_i(x_k) - V_{i-1}(x_k) \leq U(x_k, v_{i-1}(x_k))$ holds, we can get

$$V_i(x_{k+1}) - V_i(x_k) \leq 0.$$

如果 $v_i(x_k)$ 是稳定的, 那么 $v_{i+1}(x_k)$ 还是稳定的吗? 定理 6 和定理 7 给出两种方法。

Theorem 6. If $v_{i-1}(x_k)$ is stable, $i=1, 2, \dots$,

and if the iterative performance index functions satisfy

$$V_i(x_k) \geq \frac{1}{2}(V_{i+1}(x_k) + V_{i-1}(x_k)), \quad (18)$$

then we have $v_i(x_k)$ is stable.

Theorem 7. If $v_i(x_k)$ is stable, and if

$$V_{i+1}(x_k) + V_{i+j}(x_k) \geq V_{i+j+1}(x_k) + V_i(x_k), \quad (19)$$

then we have $v_{i+j}(x_k)$ is stable.

考虑如下的扭摆系统, 仿真结果如图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 所示。

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \omega, \\ J \frac{d\omega}{dt} = u - Mgl \sin\theta - f_d \frac{d\theta}{dt}. \end{cases}$$

θ : 速度, ω : 角速度, $J = \frac{4}{3}$: 转动惯量, $g=9.8$;

$M = \frac{1}{3}$: 质量; $l = \frac{2}{3}$: 摆半径; $f_d = 0.2$: 摩擦系数。

Initial value functions $\tilde{\Psi}^j(x_k) = x_k^T \tilde{P}_j x_k, j=1, 2, 3, 4.$

$\tilde{P}_1 = 0$;

$$\begin{aligned} \tilde{P}_2 &= \begin{bmatrix} 0.52 & -0.26 \\ -0.26 & 0.8 \end{bmatrix}; \quad \tilde{P}_3 = \begin{bmatrix} 10.30 & -7.61 \\ -7.61 & 5.74 \end{bmatrix}; \\ \tilde{P}_4 &= \begin{bmatrix} 27.82 & 4.93 \\ 4.93 & 7.53 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

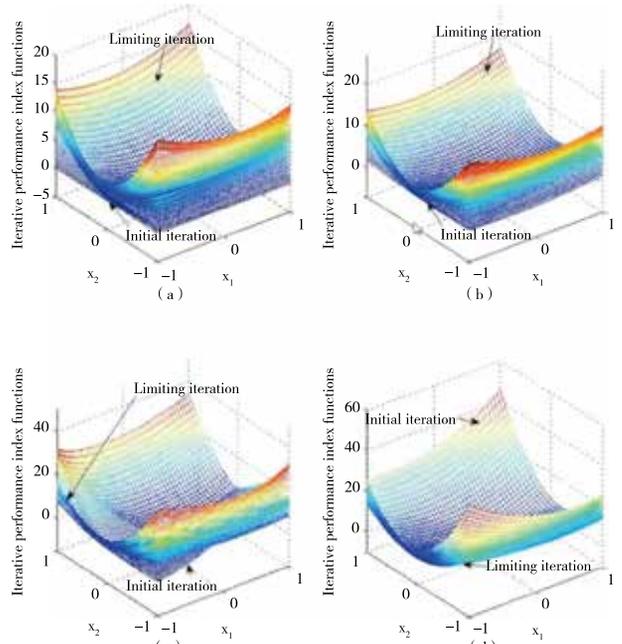


图 2 值迭代函数对比

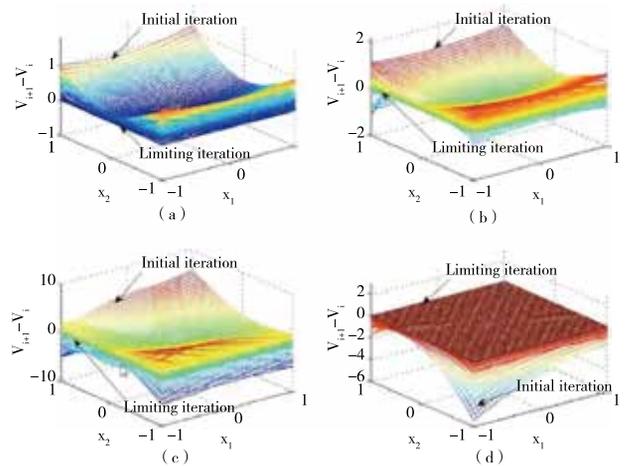


图 3 误差函数对比

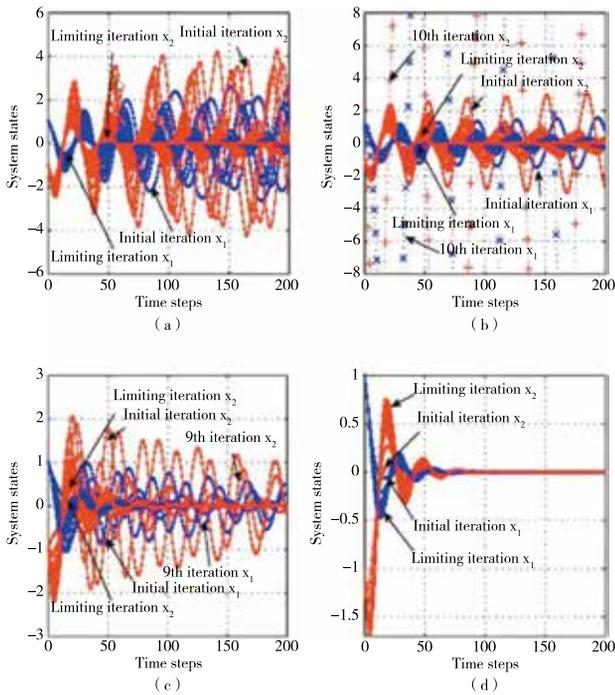


图 4 状态函数对比

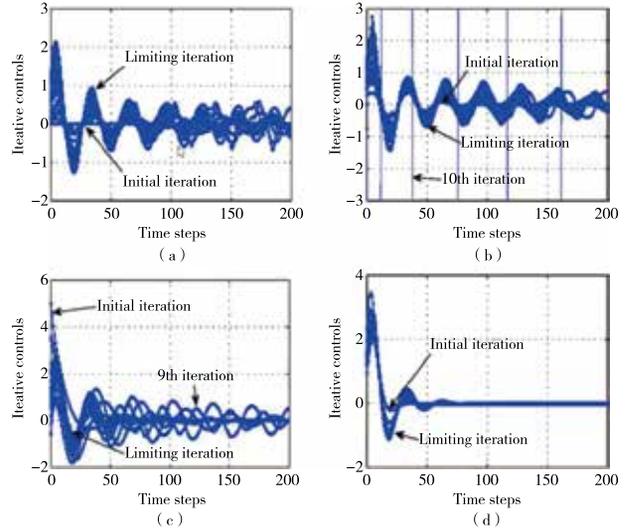


图 5 控制函数对比

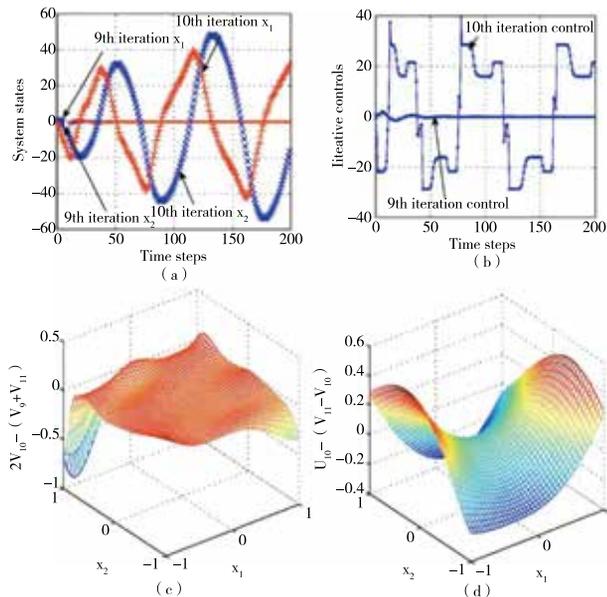


图 6 结果对比

3.2 广义策略迭代自适应动态规划

针对如下离散时间非线性系统，广义策略迭代自适应动态理论如下：

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k) \quad (1)$$

where $x_k \in \mathbb{R}^n$ is the state and $u_k \in \mathbb{R}^m$ is the control vector. Let x_0 be the initial state.

The performance index function for state x_0 under the control sequence $\underline{u}_0 = (u_0, u_1, \dots)$ is defined as

$$J(x_0, \underline{u}_0) = \sum_{k=0}^{\infty} U(x_k, u_k), \quad (2)$$

where $U(x_k, u_k) \geq 0$, for $\forall x_k, u_k$, is the utility function.

Assumptions:

- The system is controllable.
- The system state $x_k = 0$ is an equilibrium state of system under the control $u_k = 0$, i.e., $F(0, 0) = 0$.
- The feedback control $u_k = u(x_k)$ satisfies $1 u_k = u(x_k) = 0$ for $x_k = 0$.
- The utility function $U(x_k, u_k)$ is a positive definite function.

*These assumptions are mild and not strong.

According to Bellman's principle of optimality,
 – the optimal control $u^*(x_k)$ at time k is the $u(x_k)$
 that achieves this minimum, i.e.,

$$u^*(x_k) = \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + J^*(x_{k+1})\}. \quad (3)$$

– the optimal performance index function satisfies
 the following Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) equation

$$J^*(x_k) = \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + J^*(x_{k+1})\}. \text{Very difficult to solve}$$

$$= U(x_k, u^*(x_k)) + J^*(F(x_k, u^*(x_k))). \quad (4)$$

广义策略迭代自适应动态规划推导过程如下:

Policy iteration.

- For $i=0$, let $v_0(x_k)$ be an admissible control law.
- The performance index function can be constructed by

$$V_0(x_k) = U(x_k, v_0(x_k)) + V_0(F(x_k, v_0(x_k))). \quad (1)$$

- Then we can obtain the initial iterative control law

$$v_1(x_k) = \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + V_0(x_{k+1})\} \quad (2)$$

For $i=1, 2, \dots$, policy iteration algorithm will iterate between the following equations.

- Update the iterative performance index function

$$V_i(x_k) = U(x_k, v_i(x_k)) + V_i(F(x_k, v_i(x_k))). \quad (3)$$

- Obtain iterative control law

$$v_{i+1}(x_k) = \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + V_i(x_{k+1})\}$$

$$= \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + V_i(F(x_k, u_k))\} \quad (4)$$

Value Iteration.

For $i=1, 2, \dots$, value iteration algorithm will iterate between the following equations.

- Obtain iterative control law

$$v_i(x_k) = \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + V_i(x_{k+1})\}$$

$$= \arg \min_{u_k \in \mathbb{R}^m} \{U(x_k, u_k) + V_i(F(x_k, u_k))\} \quad (5)$$

- Update the iterative performance index function

$$v_{i+1}(x_k) = U(x_k, v_i(x_k)) + V_i(F(x_k, v_i(x_k))). \quad (6)$$

Generalized Policy Iteration.

F. L. Lewis, IEEE CIS Magazine 2009

Expressions

- Let $\{N_1, N_2, \dots\}$ be an arbitrary sequence,

- $N_i \geq 0, i=1, 2, \dots$, is an arbitrary nonnegative integer.
- Let j_1 increase from 0 to N_1
- Let j_i increase from 0 to N_i

We update the performance index function by

$$V_{1, j_1+1}(x_k) = U(x_k, v_1(x_k)) + V_{1, j_1}(F(x_k, v_1(x_k))) \quad (7)$$

where

$$V_{1,0}(x_k) = \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_0(x_{k+1})\}$$

$$= U(x_k, v_1(x_k)) + V_0(F(x_k, v_1(x_k))) \quad (8)$$

Define the iterative performance index function

$$V_1(x_k) = V_{1, N_1}(x_k). \quad (9)$$

For $\forall i = 2, 3, \dots$, the generalized policy iteration algorithm can be expressed by two iteration procedures.

***i*-iteration (policy improvement):**

$$v_i(x_k) = \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_{i-1}(x_{k+1})\}$$

$$= \arg \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_{i-1}(F(x_k, u_k))\}. \quad (10)$$

***j*-iteration (policy evaluation):**

$$V_{i, j_1+1}(x_k) = U(x_k, v_i(x_k)) + V_{i, j_1}(F(x_k, v_i(x_k))) \quad (11)$$

where the iteration index j_i increases from 0 to N_i and

$$V_{i,0}(x_k) = \min_{u_k} \{U(x_k, u_k) + V_{i-1}(x_{k+1})\}$$

$$= U(x_k, v_i(x_k)) + V_{i-1}(F(x_k, v_i(x_k))). \quad (12)$$

Define the iterative performance index function

$$V_i(x_k) = V_{i, N_i}(x_k). \quad (13)$$

广义策略迭代与值迭代与策略迭代之间的关系如图 7 所示。

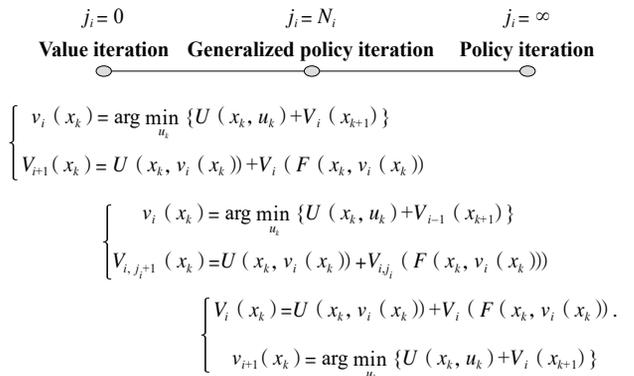


图 7 广义策略迭代与值迭代与策略迭代之间的关系

广义策略迭代自适应动态规划有如下两个定理：

Theorem 1

Let $v_0(x_k)$ be an arbitrary admissible control law. For $i = 0, 1, \dots$, let the iterative control law $v_i(x_k)$ and iterative performance index function $V_{i, j_{i+1}}(x_k)$ are obtained by GPI. Let $\{N_1, N_2, \dots\}$ be an sequence, where $N_i \geq 0$, for $i = 1, 2, \dots$, is an arbitrary non-negative integer. Then, we have the following properties.

(i) For $i = 1, 2, \dots$ and $j_i = 0, 1, \dots, N_i$, we have

$$V_{i, j_{i+1}}(x_k) \leq V_{i, j_i}(x_k).$$

(ii) For $i = 1, 2, \dots$, let j_i and $j_{(i+1)}$ be arbitrary constant integers which satisfy $0 \leq j_i \leq N_i$, and $0 \leq j_{(i+1)} \leq N_{(i+1)}$, respectively. Then, we have

$$V_{i+1, j_{(i+1)}}(x_k) \leq V_{i, j_i}(x_k).$$

Theorem 2

For $i = 1, 2, \dots$ and $j_i = 0, 1, \dots, N_i$, let the iterative control law $v_i(x_k)$ and iterative performance index function $V_{i, j_{i+1}}(x_k)$ be obtained by GPI.

Then, for $i = 1, 2, \dots$, the iterative control law $v_i(x_k)$ is admissible.

下面给出一个仿真应用，仿真结果如图 8、图 9、图 10 所示。

- We now examine the performance of the developed algorithm in a torsional pendulum system.
- The dynamics of the pendulum is given as follows

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1x_{2k} + x_{1k} \\ -0.49 \times \sin(x_{1k}) - 0.1 \times f_d \times x_{2k} + x_{2k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.1 \end{bmatrix} u_k$$

- Let the utility function is expressed as

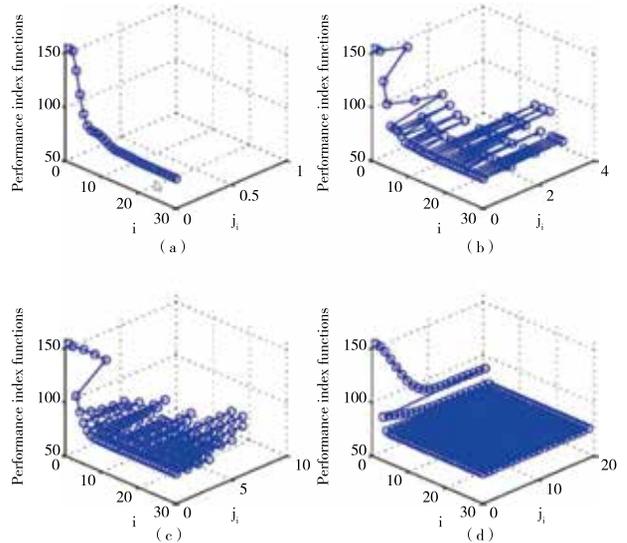
$$U(x_k, u_k) = x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k$$

where $Q = R = I$ and I denotes the identity matrix with suitable dimensions.

- We choose four different iteration sequences

$$\{N_i^\gamma\}, \gamma = 1, 2, 3, 4.$$

- $N_i^1 = 0, \forall i$
- $0 \leq N_i^2 \leq 4, \forall i$
- $0 \leq N_i^3 \leq 10, \forall i$
- $N_i^4 = 20, \forall i$



(a) $j_i=0, \dots, N_i^1$. (b) $j_i=0, \dots, N_i^2$. (c) $j_i=0, \dots, N_i^3$. (d) $j_i=0, \dots, N_i^4$.

图 8 性能指标函数对比

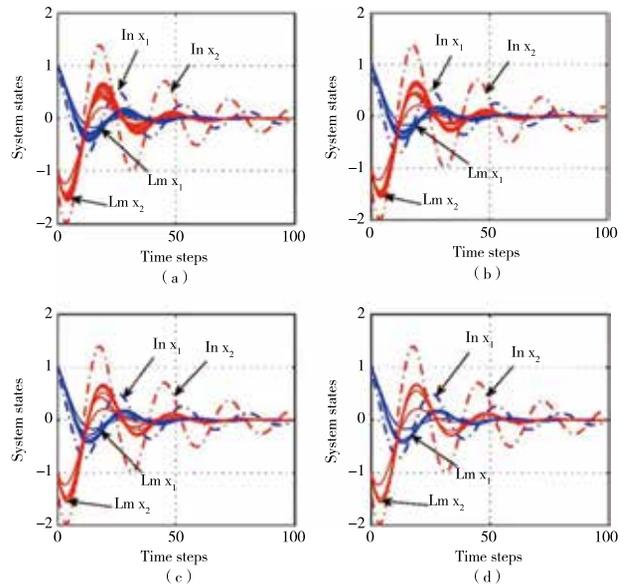


图 9 状态策略函数

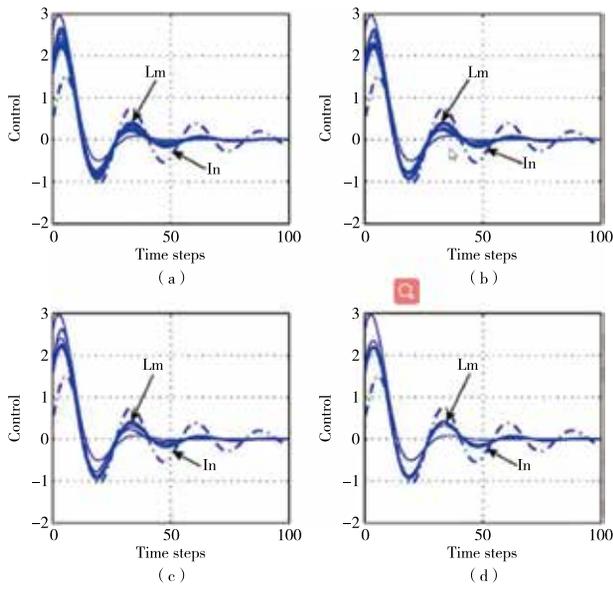


图 10 控制策略函数

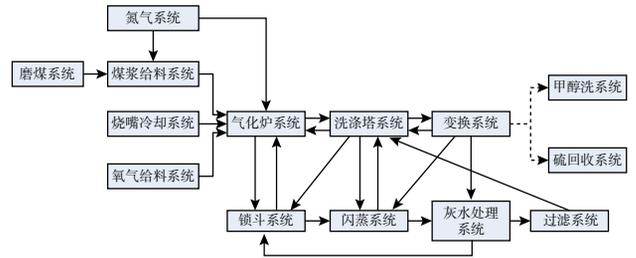


图 11 煤制甲醇生产过程（气化车间）

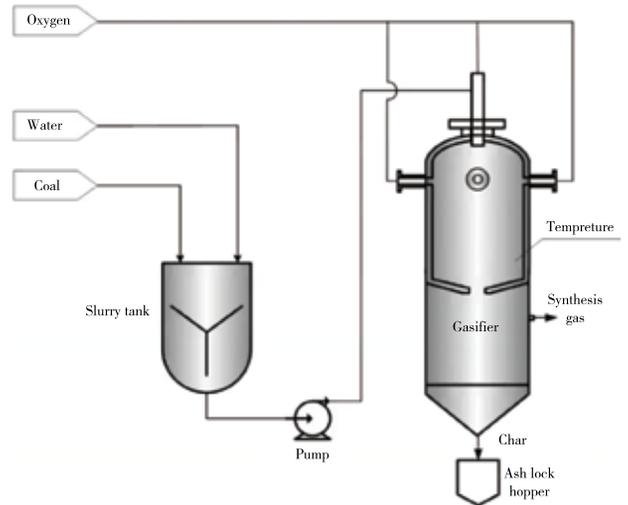


图 12 煤气化过程流程图

四、自适应动态规划应用

4.1 工业生产优化控制

新奥集团 60 万吨煤制甲醇生产过程优化，图 11 为煤制甲醇生产过程（气化车间），图 12 为煤气化过程流程图，图 13 为气化炉控制系统接口界面。

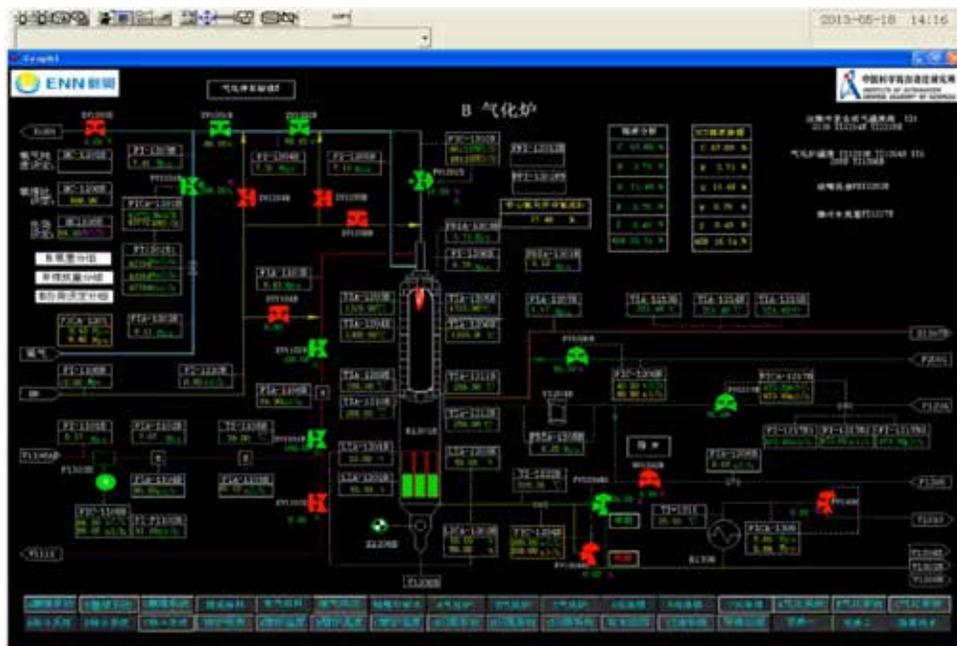


图 13 气化炉控制系统接口界面

问题描述：针对煤气化过程构建问题模型，控制目标是将气化炉炉温控制在额定的温度。

◎ Suppose that the composition of coal contains carbon(C),hydrogen(H),oxygen(O),char(Char), which is expressed by

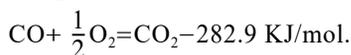
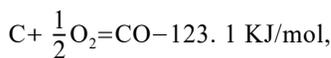
$$\text{Coal} \rightarrow \theta_1(k)C + \theta_2(k)H + \theta_3(k)O + \theta_4(k)\text{Char},$$

where $\sum_{i=1}^4 \theta_i(k) = 1$. Let

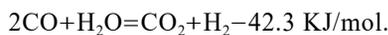
$$\Theta(k) = [\theta_1(k), \theta_2(k), \theta_3(k), \theta_4(k)]^T$$

denote the coal quality function.

◎ The coal gasification reaction can be classified into two phases. The first phase is coal combustion reaction, which is expressed by



The other phase is water-gas shift reaction



◎ Let $x(k)$ be the reaction temperature and let $T(k)$ denote the reaction equilibrium coefficient. Then we have the following empirical formula

$$T(k) = \frac{n_{CO_2} \cdot n_{H_2}}{n_{CO} \cdot n_{H_2O}} = \left(\frac{202.362}{x(k) - 635.52} \right)^{0.921914}$$

◎ Let the temperature be $x(k)$.

Define control input as

$$u(k) = [P_{\text{coal}}(k), P_{\text{H}_2\text{O}}(k), P_{\text{O}_2}(k)]^T.$$

The system output can be defined as

$$y(k) = [R_{\text{co}}(k), R_{\text{CO}_2}(k), R_{\text{H}_2}(k), R_{\text{H}_2\text{O}}(k), R_{\text{Char}}(k)]^T.$$

The coal gasification control system

$$x(k+1) = F(x(k), u(k), \Theta(k)),$$

$$y(k) = G(x(k), u(k), \Theta(k)).$$

基于数据的建模和属性

◎ Define the ideal BP network based model

$$x(k+1) = W_{m1}^{*T} \sigma_1(z(k)) + \varepsilon_{m1}(k),$$

$$y(k) = W_{m2}^{*T} \sigma_2(z(k)) + \varepsilon_{m2}(k).$$

The BP network model

$$\hat{x}(k+1) = \hat{W}_{m1}^T(k) \sigma_1(z(k)),$$

$$\hat{y}(k) = \hat{W}_{m2}^T(k) \sigma_2(z(k)).$$

◎ By a gradient-based adaptation rule,

the weights are updated as

$$\hat{W}_{m1}(k+1) = \hat{W}_{m1}(k) - l_{m1} \sigma_1(z(k)) \bar{x}^T(k+1),$$

$$\hat{W}_{m2}(k+1) = \hat{W}_{m2}(k) - l_{m2} \sigma_2(z(k)) \bar{y}^T(k), \quad (1)$$

where

$$\bar{x}(k+1) = \hat{x}(k+1) - x(k+1)$$

$$= \tilde{W}_{m1}^T(k) \sigma_1(z(k)) - \varepsilon_{m1}(k),$$

$$\bar{y}(k) = \hat{y}(k) - y(k)$$

$$= \tilde{W}_{m2}^T(k) \sigma_2(z(k)) - \varepsilon_{m2}(k).$$

◎ Theorem 1. Let the NN weights be updated by (1).

Then the system identification error $\bar{x}(k)$ is

asymptotically stable and the error matrices $\tilde{W}_{m1}(k)$

and $\tilde{W}_{m2}(k)$ both converge to zero.

◎ Construct Θ network to identify the coal quality.

Let the ideal coal quality NN be

$$\Theta(k) = W_{\Theta}^{*T} \sigma(z_{\Theta}(k)) + \varepsilon_{\Theta}(k),$$

where $z_{\Theta}(k) = [x^T(k), x^T(k+1), y^T(k), u^T(k)]^T$.

The output of coal quality NN is

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{W}_{\Theta}^T(k) \sigma(z_{\Theta}(k)).$$

Train the Θ network by

$$\hat{W}_{\Theta}^{j+1}(k) = \hat{W}_{\Theta}^j(k) - l_{\Theta} \sigma(z_{\Theta}(k)) \tilde{\Theta}^j(k).$$

系统转换

◎ Let the model NN based output be expressed by

$$x(k+1) = \hat{F}(z(k)) + \varepsilon_{m1}(k).$$

◎ In real world, we can only

$$\hat{z}(k) = [x(k), \hat{u}(k), \hat{\Theta}(k)]^T.$$

According to mean value theorem, we have

$$x(k+1) = \hat{F}(x(k), \hat{u}(k), \hat{\Theta}(k)) + \nabla(\zeta_u) \varepsilon_u(k) + \nabla(\zeta_\Theta) \varepsilon_\Theta(k) + \varepsilon_{m1}(k).$$

◎ For ideal state n , we have

$$\eta = F(\eta, u_d(k), \Theta(k))$$

Obtain the ideal control by

$$u_d(k) = F_u(\eta, \eta, \Theta(k)).$$

Let the tracking and control errors be defined as

$$e(k) = x(k) - \eta,$$

$$u_e(k) = u(k) - u_d(k).$$

◎ Hence we can get the regulation system

$$e(k+1) = \bar{F}(e(k), u_e(k), \hat{\Theta}(k)) + w(k),$$

where

$$\bar{F}(e(k), u_e(k), \hat{\Theta}(k)) = \hat{F}((e(k) + \eta), (u_e(k) + \hat{u}_d(k)), \hat{\Theta}(k)) - \eta,$$

and

$$w(k) = \nabla(\zeta_u) \tilde{\varepsilon}_u(k) + \nabla(\zeta_\Theta) \tilde{\varepsilon}'_\Theta(k) + \varepsilon_{m1}(k) + \nabla(\tilde{\zeta}_u) \tilde{\varepsilon}_u(k).$$

denotes the disturbance.

迭代 ADP 算法

◎ Define the iterative performance index function

$$J(e(0), u_e(0), w(0)) = \sum_{k=0}^{\infty} (e^T(k) A e(k) + u_e^T(k) B u_e(k) - w^T(k) C w(k)).$$



◎ Discrete-Time HJI equation

$$J^*(e(k)) = U(e(k), u_e^*(e(k)), w^*(e(k))) + J^*(e(k+1)).$$

Tamer Başar

University of Illinois at Urbana-Champaign

Member of the National Academy of Engineering (of the USA)

Fellow IEEE, Fellow IFAC

[1] T. Başar and P. Bernhard, *H ∞ -Optimal Control and Related Minimax Design Problems: A Dynamic Game Approach (Second Edition)*. Boston, MA: Birkhauser, 1995.

◎ Let the initial performance index function $\hat{V}_0(e(k)) \equiv 0$.

For $i = 0, 1, \dots$, let

$$\omega_i(e(k)) = \arg \max_{w(k)} \{U(e(k), u_e(k), w(k)) + V_i(e(k+1))\},$$

$$\hat{v}_i(e(k)) = \arg \min_{u_e(k)} \{U(e(k), u_e(k), \omega_i(k)) + V_i(e(k+1))\} + \rho_i(e(k)).$$

and

$$\hat{V}_{i+1}(e(k)) = U(e(k), \hat{v}_i(e(k)), \omega_i(e(k))) + \hat{V}_i(e(k+1)) + \pi_i(e(k)).$$

◎ Theorem 2. The iterative performance index

function $\hat{V}_i(e(k))$ is uniformly convergent to a bounded neighborhood of the optimal performance index function. $J^*(e(k))$, i.e.,

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \hat{V}_i(e(k)) = \hat{V}_\infty(e(k)) \leq \tau \left(1 + \frac{\gamma(\tau-1)}{1-\gamma} \right) J^*(e(k)).$$

神经网络构建, 如图 14 所示。

4.2 智能微电网优化控制

智能住宅能源系统由电网、住宅负荷、电池系统(包括电池和正弦波逆变器)、电源管理单元(控制器)组成。智能住宅及其能源系统如图 15、16 所示。

智能住宅能源系统的储电池有三种运作模式:

- 1) 充电模式: 当住宅负荷较低且电价低廉时, 电网直接向住宅负荷供电, 同时对电池进行充电;
- 2) 空闲模式: 在电池电量保持固定的情况下, 电网在一定时间内直接向居民负荷供电;
- 3) 放点模式: 电池在住宅负荷高、电费昂贵的时段供应住宅负荷。

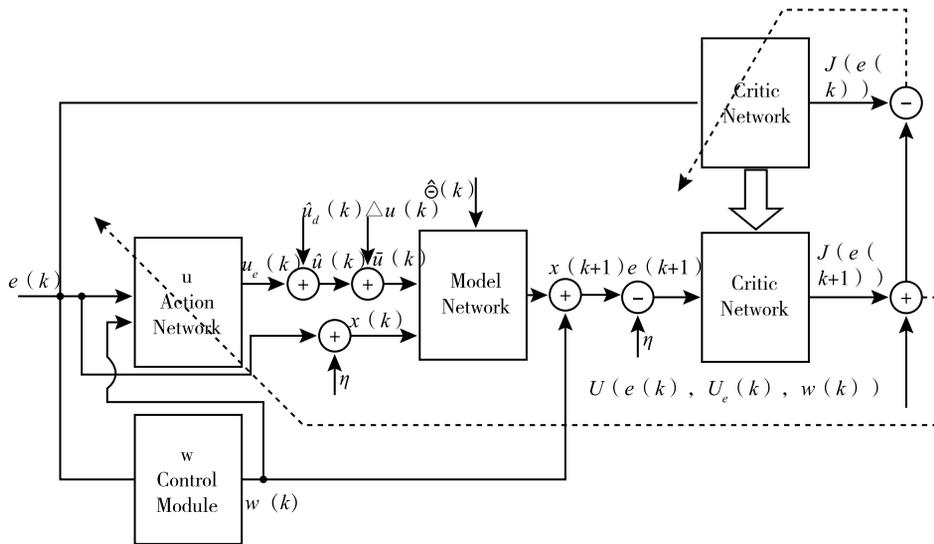


图 14 迭代 ADP 算法神经网络模型的构建

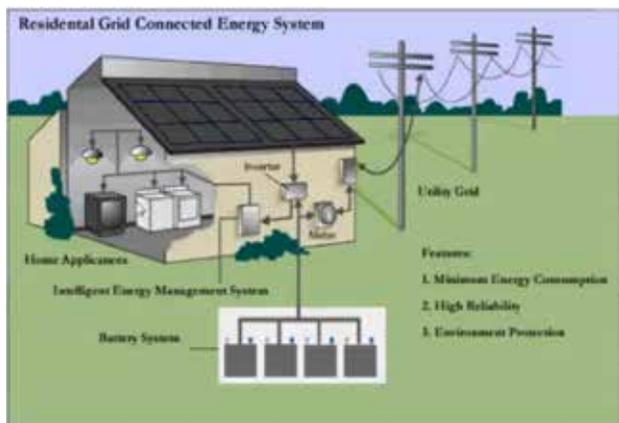


图 15 智能住宅

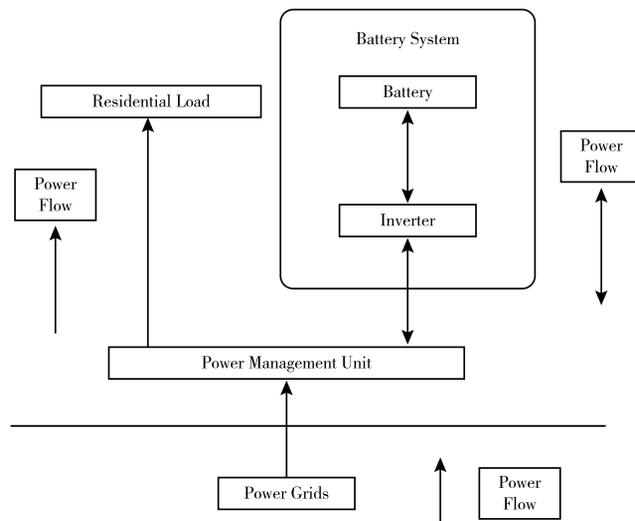


图 16 智慧住宅能源系统

问题描述:

Let E_{bt} be the battery energy. The battery model can be expressed as

$$E_{b(t+1)} = E_{bt} - P_{bt} \times \eta(P_{bt}), \quad (1)$$

where P_{bt} is the battery power output at time t .

- $P_{bt} > 0$ denotes battery discharging.
- $P_{bt} < 0$ denotes battery charging.
- $P_{bt} = 0$ denotes that the battery is idle.

Let the efficiency of battery charging/discharging be derived as

$$\eta(P_{bt}) = 0.898 - 0.173 |P_{bt}| / P_{rate}, \quad (2)$$

where $P_{rate} > 0$ is the rated power output of the battery.

控制电池的目标是最小化电网的总成本，使电池的储存能量接近储存极限的中间值，充分避免电池的充电 / 放电，定义电池的性能指标函数为公式 (3)。

$$\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t (m_1 (C_i P_{gt})^2 + m_2 (E_{bt} - E_b^o)^2 + r (P_{bt})), \quad (3)$$

where C_i is electricity rate and P_{gt} is the power from grid

The system formulation is denoted as

$$x_{t+1} = F(x_t, u_t, t) = \begin{pmatrix} P_{Lt} - u_t \\ x_{2t} - u_t \eta(u_t) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

where $x_{1t} = P_{gt}$, $x_{2t} = E_{bt} - E_b^o$, $u_t = P_{bt}$ and $x_t = [x_{1t}, x_{2t}]^T$

Let $M_t = \begin{bmatrix} m_1 C_i^2 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$. Performance index function is

$$J(x_0, \underline{u}_0, 0) = \sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t U(x_t, u_t, t), \quad (5)$$

where $U(x_t, u_t, t) = x_t^T M_t x_t + r u_t^2$.

The optimal performance index function can be defined as

$$J^*(x_t, t) = \min_u \{J(x_t, u_t, t) : u_t \in \mathcal{U}_t\}, \quad (6)$$

Define the optimal Q function as $Q^*(x_t, u_t, t)$,

Which satisfies

$$\min_{u_t} Q^*(x_t, u_t, t) = J^*(x_t, t) \quad (7)$$

The optimal Q function satisfies the following equation

$$Q^*(x_t, u_t, t) = U(x_t, u_t, t) + \gamma \min_{u_{t+1}} Q^*(x_{t+1}, u_{t+1}, t+1). \quad (8)$$

对偶相互作用 Q 学习的推导如下:

Assumption. The residential load P_{Lt} and the electricity rate C_i are periodic functions with the period $\lambda = 24$ hours.

Let $k = \varpi \lambda$. Then, we have

$$\bullet P_{Lt} = P_{L(t+\theta)} = P_{L\theta} \text{ and } C_i = C_{k+\theta} = C_{\theta}.$$

Define u_k as the control sequence from k to $k+\lambda-1$.

We can define a new utility function

$$\Pi(x_k, u_k) = \sum_{\theta=0}^{\lambda-1} \gamma^{\theta} U(x_{k+\theta}, u_{k+\theta}, \theta) \quad (9)$$

Let $\tilde{\gamma} = \gamma^{\lambda}$. We have

$$Q^*(x_t, u_k) = \Pi(x_k, u_k) + \tilde{\gamma} \min_{u_{k+\lambda}} Q^*(x_{k+\lambda}, u_{k+\lambda}), \quad (10)$$

In the developed algorithm, two iterations are introduced, which are external iteration (i -iteration) and internal iteration (j -iteration), respectively.

• i -iteration. Let $i=0,1,\dots$ be the external iteration index.

Let $\Psi(x_k, u_k)$ be a positive semi-definite function.

The initial Q function $Q_0(x_k, u_k)$ is defined as

$$Q_0(x_k, u_k) = \Pi(x_k, u_k) + \tilde{\gamma} \min_{u_{k+\lambda}} \Psi(x_{k+\lambda}, u_{k+\lambda}). \quad (11)$$

The iterative control law sequence u_0 can be computed as

$$u_0(x_k) = \arg \min_{u_k} Q_0(x_k, u_k). \quad (12)$$

The iterative Q function can be updated as

$$Q_i(x_k, u_k) = \Pi(x_k, u_k) + \tilde{\gamma} \min_{u_{k+\lambda}} Q_0(x_{k+\lambda}, u_{k+\lambda}). \quad (13)$$

For $i=1,2,\dots$, i -iteration will proceed between

$$u_i(x_k) = \arg \min_{u_k} Q_i(x_k, u_k) \quad (14)$$

The iterative control law sequence u_0 can be computed as

$$Q_{i+1}(x_k, u_k) = \Pi(x_k, u_k) + \tilde{\gamma} \min_{u_{k+\lambda}} Q_i(x_{k+\lambda}, u_{k+\lambda}) \\ = \Pi(x_k, u_k) + \tilde{\gamma} Q_i(x_{k+\lambda}, u_i(x_{k+\lambda})). \quad (15)$$

j -iteration. Let $j=0,1,\dots,23$ be the internal iteration index.

For $i=0$ and $j=0$, let the initial iterative performance index be

$$Q_0^0(x_k, u_k) = \Psi(x_k, u_k) \quad (16)$$

For $j=0,1,\dots,23$, j -iteration will proceed between

$$u_0^j(x_k) = \arg \min_{u_k} Q_0^j(x_k, u_k), \quad (17)$$

and

$$Q_0^{j+1}(x_k, u_k) = U(x_k, u_k, j) + \gamma \min_{u_{k+1}} Q_0^j(x_{k+1}, u_{k+1}) \\ = U(x_k, u_k, j) + \gamma Q_0^j(x_{k+1}, u_0^j(x_{k+1})) \quad (18)$$

j -iteration. For $\forall i=1,2,\dots$, we let

$$Q_i^0(x_k, u_k) = Q_{i-1}^{24}(x_k, u_k). \quad (19)$$

j -iteration will proceed between

$$u_i^j(x_k) = \arg \min_{u_k} Q_i^j(x_k, u_k), \quad (20)$$

and

$$Q_i^{j+1}(x_k, u_k) = U(x_k, u_k, j) + \gamma \min_{u_{k+1}} Q_i^j(x_{k+1}, u_{k+1}) \\ = U(x_k, u_k, j) + \gamma Q_i^j(x_{k+1}, u_0^j(x_{k+1})). \quad (21)$$

For $\forall i=0,1,\dots$, the iterative control law sequence is

$$u_i(x_k) = \{u_i^0(x_k), u_i^1(x_k), \dots, u_i^{23}(x_k)\}. \quad (22)$$

Theorem 1. For $i=0,1,\dots$, let $Q_{i+1}(x_k, u_k)$ and $u_i(x_k)$ be obtained by i -iteration (11) – (15). Then,

the iterative Q function $Q_i(x_k, u_k)$ converges to its optimum, i.e.,

$$\lim_{i \rightarrow \infty} Q_i(x_k, u_k) = Q^*(x_k, u_k). \quad (23)$$



作者简介



魏庆来，中国科学院自动化研究所研究员，博士生导师，复杂系统管理与控制国家重点实验室副主任，中国自动化学会理事，获得国家自然科学基金优秀青年基金。主要从事人工智能，自学习控制，平行控制，自适应动态规

划，智能控制，最优控制及其工业应用研究工作。目前发表/录用论文 120 余篇，SCI 论文 73 篇，出版专著 4 部，撰写图书章节 2 章。入选 2018 年全球高被引科学家。获得 *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* Outstanding Paper Award, *IEEE System, Man, and Cybernetics Society*, Andrew P. Sage Best Transactions Paper Award, 中国自动化学会青年科学家奖，亚太神经网络学会青年学者奖，2015 年张嗣瀛优秀青年论文奖等 10 余项奖励。共担任 11 本期刊编委，主

要包括 *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 《自动化学报》, 《控制工程》等。担任 IEEE CIS Beijing Chapter, Secretary。在 ICONIP 2018, ISNN2017, ICONIP 2017, WCICA 2016, WCCI2014 等 14 项国际相关领域学术会议上担任重要职务，现任中国科学院大学岗位教授，讲述《最优控制》《智能自学习系统优化与决策》课程。

人工智能助力疫情防控

文 / 中国信息通信研究院云计算与大数据研究所 孙明俊

导读：3月21日，中国信息通信研究院云大所人工智能部主任孙明俊做客“CAA云讲座”，为大家带来一场题为“人工智能发展趋势及在疫情中的应用”的报告，300余人在线观看了直播并参与探讨。报告介绍了目前人工智能技术发展趋势以及我国人工智能产业发展现状，疫情对于人工智能的中小企业的影 响分析及应对建议。

一、人工智能技术及发展趋势

当前，人工智能（AI）技术开始进入后深度学习时代，见图1。以深度学习为代表的AI技术在感知层面突破后开始演进，如图2所示。AI应用仍在追赶技术的步伐，并深入挖掘深度学习技术体系红利。投资规模降低、商业模式转变等多方面因素导致产业发展放缓。

虽然AI已经广泛用于日常生活中，但当前仍然处于弱AI阶段，强AI“道阻且长”。认知AI是实现强AI的必经之路，但缺乏突破，融合不同机器学习流派开始活跃，如图3所示。

2019年，基于深度学习的视觉、语音、自然语言处理等研究仍占据主流，人们开始聚焦技术的“理解”，见图4。

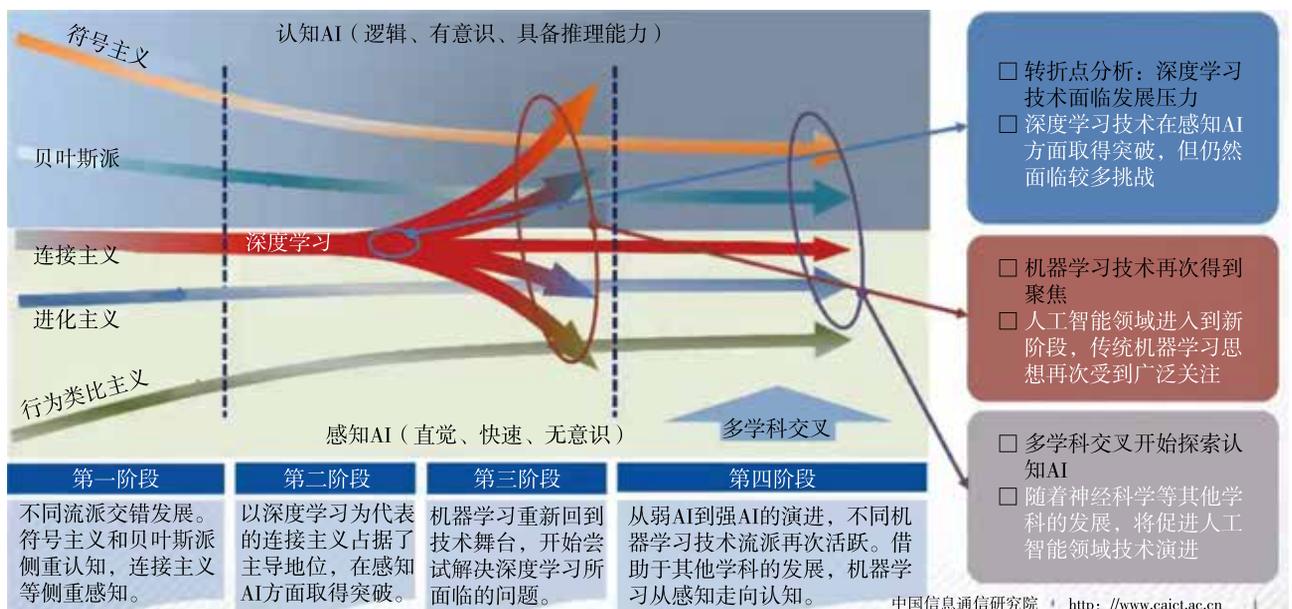


图1 AI技术开始进入后深度学习时代

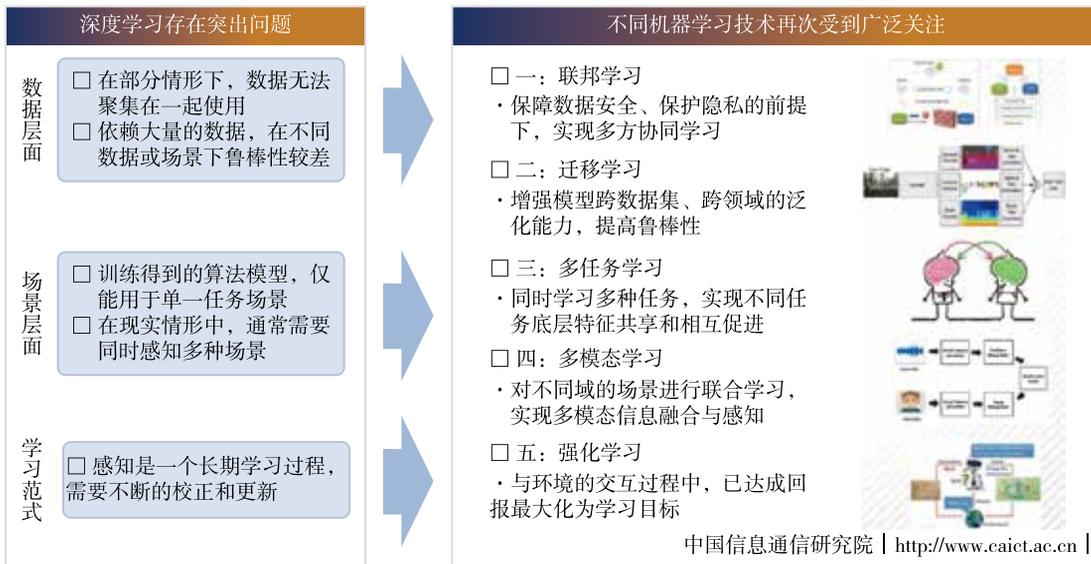


图2 深度学习吸收其他机器学习思想开始演进

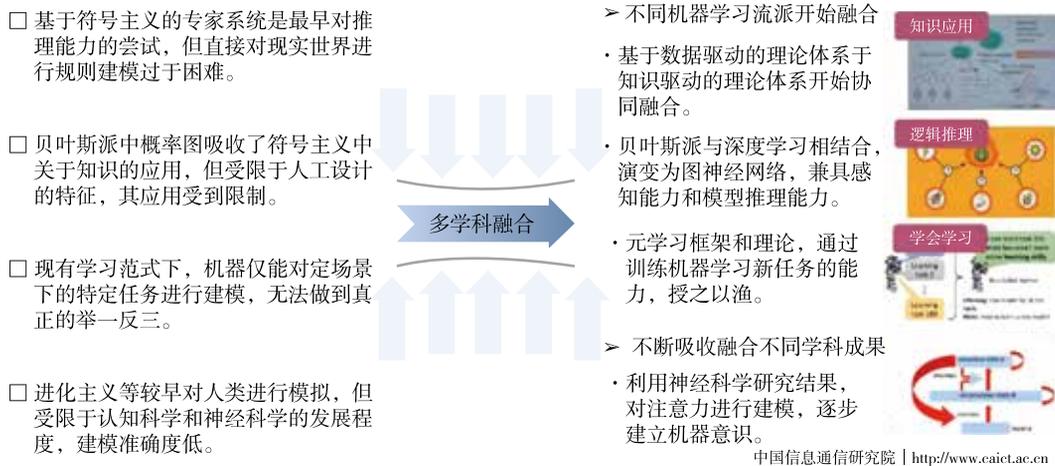


图3 认知领域受到重视，多种流派再次活跃



图4 应用技术进一步提升，“看、听、说”能力增强



图5 训练框架及专用芯片发展趋势

软件训练框架开始收敛，用于推断的专用芯片日益增多，如图5所示。

AI应用门槛将不断降低，人人可用的AI技术将深刻改变人类的生产生活。目前，AI研究持续火热态势，新技术和新算法百花齐放，对我国学术界及产业界贡献巨大。以深度学习为代表的AI技术将对传统ICT技术产业体系带来深远影响。应用领域不断扩大，弱AI服务应用大放异彩，但强AI技术突破还需时日。

二、我国人工智能应用及产业分析

我国AI产业生态初步形成。AI产业链的三个核心环节：上游是基础能力提供商，中游是服务及技术提供商，下游是应用提供商。但AI产业链的发展远远落后

于发达国家。

互联网企业在AI领域率先发力。互联网巨头通过调整公司架构，推动技术创新，构建产业生态，投资、收购AI领先企业来布局AI。百度发布了度秘和自动驾驶汽车，推出开源平台Paddle。腾讯发布了新闻撰写机器人Dreamwriter，并推出了优图等图像识别工具。阿里推出了人工智能平台DAPAI。

传统行业企业也开始利用AI进行转型升级。随着产业的升级和转型，IT巨头也借助AI推动智能化服务，提升企业的智能化水平。海尔以互联工厂智能制造为中心，打造开放生态系统。

初创企业爆发式出现。创新创业企业持续火热，在各行业领域抢占先机。在语音领域，有捷

通华声、思必驰等；在图像和视频领域，有旷视科技、商汤科技等；在芯片领域，有寒武纪、深鉴科技等。

但人才发展形势严峻，缺口需求迫切。据WRP预测，美国产业人才总量约是中国的两倍。基础层人才数量是中国的13.8倍。AI产业的发展需要复合型人才，现有人才多是单一的专业背景，距离实际问题还有一定的距离。

AI成为新型基础设施，见图6。加快5G、工业互联网、AI、物联网等新型基础设施建设，提升传统基础设施智能化水平，构建高速、智能、泛在、安全、绿色的新一代信息网络，形成适应数字经济与实体经济融合发展需要的信息基础设施体系，未来发展可期。

我国AI企业数量保持在全球第一梯队。截至2019年9月底全

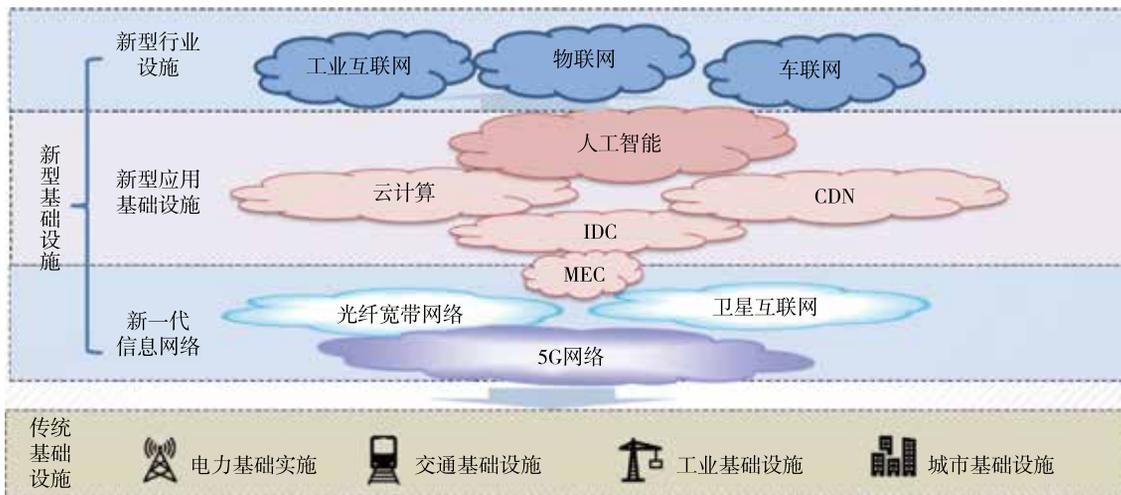


图6 新型与传统基础设施对比

全球活跃 AI 企业（总体上指对外提供产品、服务以及相关解决方案的企业）达 5526 家，其中 2010 年及之后成立的企业有 4207 家，中国大陆企业数量超过 1200 家，仅次于美国。我国 AI 专利授权量稳定增长。中国 AI 专利申请量全球占比超过 90%，授权量全球占比 40%。计算机视觉领域的申请量超过 5 万件，远超语音领域 1.1 万件和自然语言处理领域 1.5 万件。美国在各技术领域上的专利授权量上全面领先。我国顶级研究人才不足，全球 AI 学者数量 Top20 机构无一位于中国，11 家位于美国，除微软和谷歌外全部为高校。

AI+ 工业成为工业转型升级的助推剂。AI 对业领域具有巨大的赋作用。2018-2025 年全球制造业 AI 市场规模（亿美元），年 CAGR 超过 50%。AI 在各领域增加值总值（GVA）占比预测，制

造业增加值排名第一。如图 7 为四大技术（体系）聚焦十类工业场景。

AI+ 车联网车端的 AI 应用为自动驾驶提供全面支撑（如图 8 所示）。AI 深入自动驾驶感知、决策交互与控制的各个环节，已

成为公认核心关键技术。

AI+ 电信，已率先应用于网络运维，并逐步向管控领域发展（如图 9 所示）。在运维领域，AI 辅助节省大量人工，降本增效；在管控领域，AI 充分释放网络潜能，实现的灵活、高效和自动化。

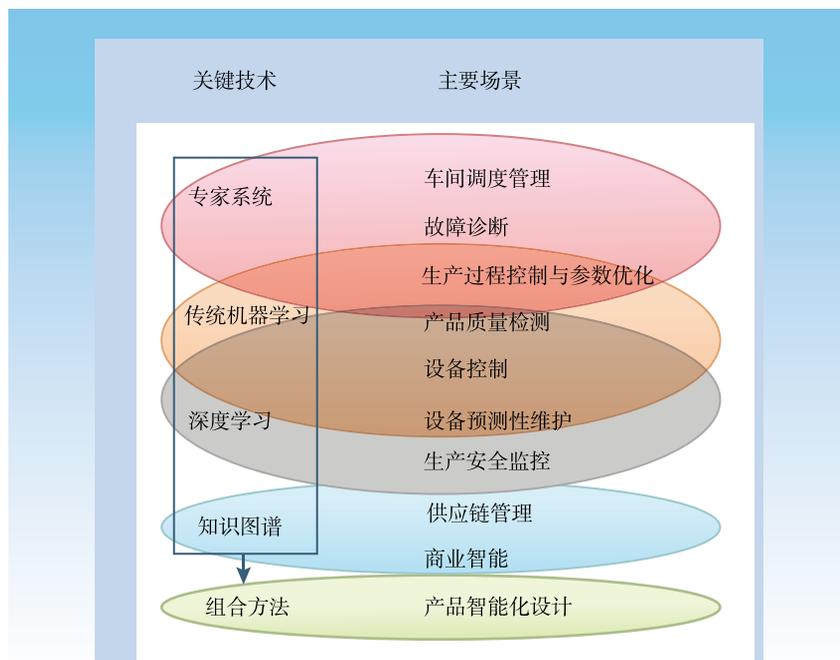


图7 四大技术（体系）聚焦十类工业场景

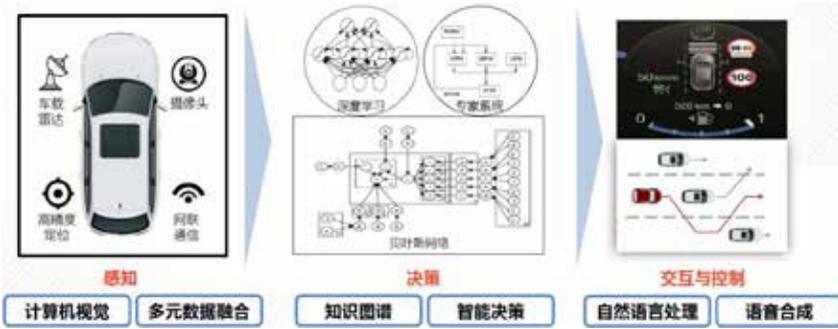


图8 AI+车联网



图9 AI+电信

三、AI 抗击疫情产品分析

人工智能技术全面渗透抗击疫情各环节。机器人、测温大数据分析成为抗疫使用最热产品。

AI 体温检测系统提供智能识别。AI 体温检测的关键在于红外体温。测温精度不足，仅可对人员进行初筛；受环境因素影响较大，远距离测温无法解决；测温精度修正成为 AI 未来的突破重点；相关技术和产品亟需制定标准规范。AI 技术在复杂环境下的远距离红外测温方向上仍需深耕。AI 测温系统产能不足，核心部件较国外存在差距。

AI 看片，辅助医生诊断看片。

当前医学影像处理中，肺结节检测等领域已经十分成熟，也是 AI 企业重要研究方向之一。得益于前期的积累，相关算法能够快速迁移应用与新冠肺炎疫情中。但是问题也很明显，各个医院的数据无法打通，且缺少有效标注数

据；肺部影像辅助诊断发挥的实际效用有限，无法指导治疗环节。

目前医学影像领域算法快速突破，算力持续增长，算法快速迭代，如何获取足够丰富且高质量的医疗数据成为提升诊断准确度的最关键因素。得益于深度学习算法的进步，图像识别能力不断提高，2015 年 Resnet 算法识别错误率已经低于人眼的识别错误率，标志着算法在图像领域已经达到初步实用阶段。GPU 作为高性能计算机集群协处理器，峰值性能优于 FPGA，在医学影像领域应用也越来越广泛。随着运算量的大幅度增加，为医疗影像商业化应用提供了强有力的支撑。高质量数据获取和标注能力是 AI 医学影像公司的核心竞争力。

我国医疗数据有数据量大、数据种类多、数据价值密度低等特征，但高质量数据获取难度大，高质量影像数据集中在少数三甲医院，缺乏有效的数据共享机制。

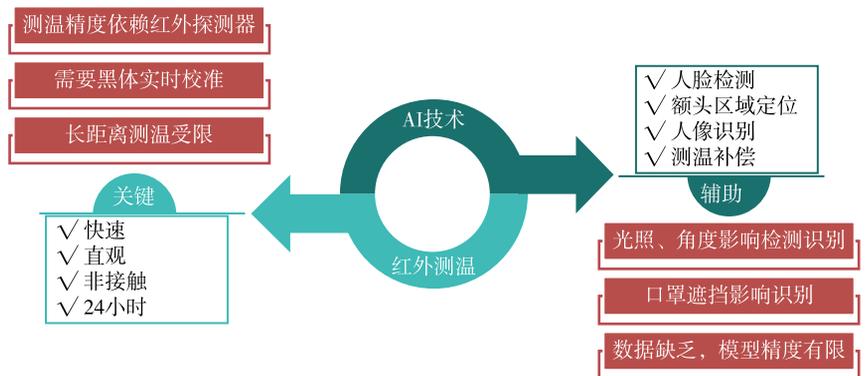


图10

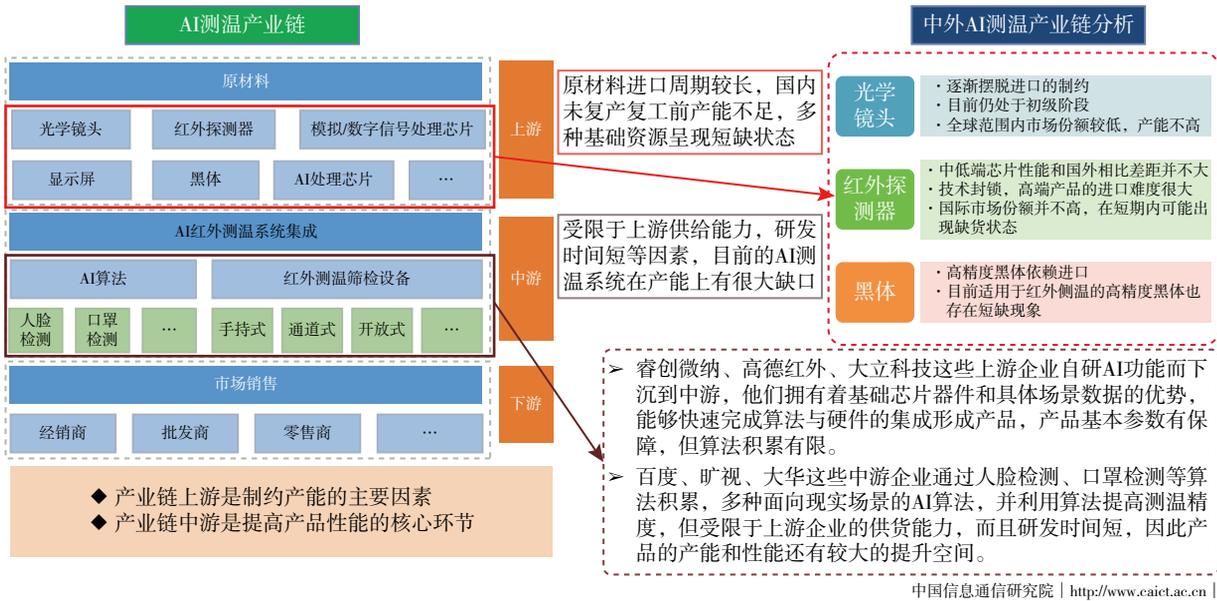


图 11

过往医学影像数据，特别是影像所对应的临床诊断报告信息，没有以正确的标准化的形式记录甚至存在缺失问题，对数据质量造成较大影响。数据标注成本高，数据处理中80%的时间都是在做数据预处理工作，标注的准确性关乎结果的准确性，训练的每张图片都需要经过专业人员标注，未来2-5年小样本学习在理论层面或将有所突破，但是短时间内数据的标注仍然需要耗费大量的

精力。影像数据的获取能力与标注能力已经成为AI医学影像公司的核心竞争力之一。国内外公司基本都处于收集影像数据的阶段，以不断丰富病种多样性和扩大影像数据规模，从而优化影像智能诊断的准确度。“AI+ 医疗影像”期待大数据引爆。

“AI+ 医疗影像”市场百花齐放，产业目前仍处于发展期，尚未出现占据绝对优势地位的领跑企业。无论是国内还是国外，互

联网巨头们都已经加快了在医疗人工智能领域的布局速度。在国外，IBM、谷歌和微软都已经布局多年。Facebook、苹果、亚马逊等巨头在人工智能领域也已经有长远考虑，不过他们还是主要布局在各自有竞争优势的行业，对于跨界应用于医疗行业的人工智能项目较少。在国内，BAT和科大讯飞为首的互联网巨头更看重医疗人工智能的市场，并且他们更倾向利用自身平台特点与优



图 12 肺部影像分析系统



图 13 主要技术

势的互联网技术来进行布局。挑战与前瞻：1) 缺标准：CNDA 尚无一例过审产品。目前已经有 多项医学人工智能产品向国家药品监督管理局 (CNDA) 进行申报三类器械，但没有一个被批准；2) 少人才：医疗人工智能发展亟需复合型人才。人工智能人才现在是短板中的短板，既懂医疗，又懂技术的复合型、战略型人才尤其短缺；3) 基础差：技术与数据两大基石尚待巩固。一方面，医疗影像设备市场仍然被极少数

的国际巨头所垄断着，仅仅西门子、通用电气、飞利浦三家就占据着 75% 的市场份额，而在高端领域，这一比例甚至超过 80% 之多。另一方面，在中国当前的医疗系统中，没有统一标准的临床结构化病历报告、医生手写病历不规范、临床用药、检查等细节缺失、患者离开医院后失访率高等各种原因造成健康医疗数据“误入误出”。

“听、说、写”- 智能外呼 / 在线机器人可以减少工作量。技

术框架如图 14 所示。

AI+NLP，具备认知能力方能更懂用户所言所想，层级划分如图 15 所示。国内总体呈现出重应用 / 轻创新的问题，AI+NLP “基础建设” 设施不全。优劣势明显。优势有：1) 技术链齐备：在基础层 / 技术层 / 应用层上均有所布局；2) 中文 NLP 技术：技术全面，对话系统、关键词识别、语义理解效果提升明显；3) 数据资源丰富：收益于庞大的用户群，可通过社交媒体收集相关文本、对话、翻

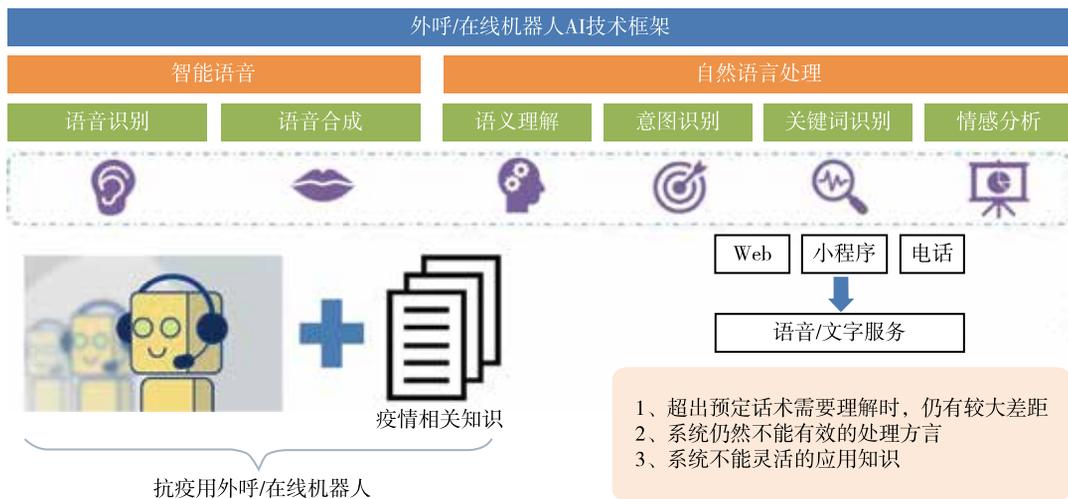


图 14 外呼 / 在线机器人 AI 技术框架



图 15 AI+NLP 层级

译数据。劣势有：1) AI 基础层技术储备不足；2) 高度依赖国外计算硬件，GPU、AI 芯片等；3) 模型算法自主研发能力欠缺，高度依赖国外开源技术；4) 数据标注和技术评价缺少统一的标准和规范。

AI+NLP 趋于全球化，中国技术 / 市场 / 数据各方因素利好数据各方因素利好。智能客服，以对话系统技术（见图 16）为核心的典型产业生态齐全，呈现出百花齐放态势。

AI+NLP 全球化趋势明显，国内技术成熟 / 市场庞大 / 数据丰富，客服产业迈在前列。麻省理工学院报告，在接受调查的 90% 的全球公司已将 AI 整合到客户服务和互动中，使得人工客服能够专注处理更高层次的任务。全球顾问 Gartner 研究：2020 年，约有 280 万的美国家客服坐席将发生重大改变，超过 85% 的客户互动将会在没有人工坐席的情况下处理。跨境零售集团玛莎百货运营人工智能

迅速处理客户投诉，该项技术已投入到集团所有的英国商店及它们的 13 家呼叫中心。迪拜国民银行采用亚马逊网络服务 AWS，用自然语言处理技术与客户进行交互，开发个性化的零售客户银行体验。

疫情影响下，人们对机器人的接受度和需求进一步升高。一方面这些机器人在开放环境下的能力仍然有限；随着使用增多，不可避免的安全性应该引起注意。对智能防控服务机器人产业链进行分析。智能防控服务机器人属医疗机器人子类医疗服务机器人类别。有配送运输，清扫消毒；移动跟随，引导带路；咨询问诊，对话传话等功能；有广泛采用新一代信息技术，集成了丰富的智能传感器，拟人化的活动交互能力等特点。随着智能服务机器人市场潜力加速释放，大量企业加入到激烈的市场竞争中，传统机器人厂商、科研院所、软件 / 科技巨头，智能机器人公司等多股力量开始向服务机器人领域汇聚。如图 17 所示。

智能防控服务机器人产业链主要包括上游的关键零部件、中游的软件与操作系统以及下游的产品集成与应用，如图 18 所示。在产业链上游，目前国外企业占据主导地位，国内厂商继续发力，核心零部件国产化的趋势逐渐显现。在产业链中游，主要为机器人提供核心软件，包括操作系统和 AI 核心技术。国内 AI 核心技术全球较为领先，智能语音语义、计算机视觉技术较好，操作系统和 AI 核心技术是提升用户体验，拉开产品差距的关键要素，在整个产业链中处于核心地位。在产业链下游，主要是集成上游提供的关键零部件和中游的核心技术，为机器人提供应用场景和服务能力，目前服务场景有限，有待进一步挖掘刚需市场。产业链开始往上游 - 下游模式过渡，下游企业在应用集成过程中也在不断创新，通过对 AI 核心技术的突破逐渐向产业链中游上探，中游企业也在往集成应用下探。



图 16 对话系统典型应用

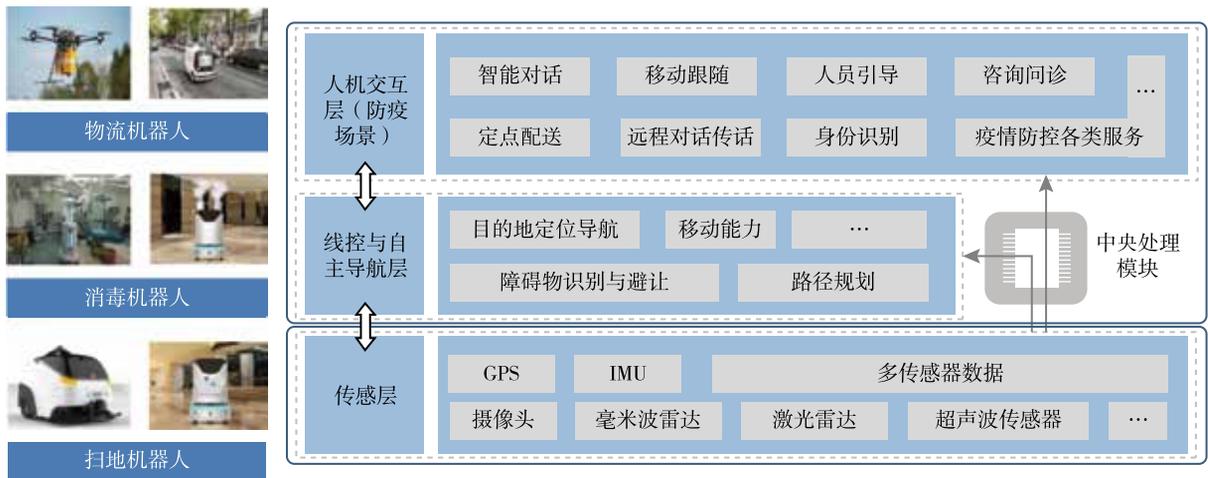


图 17 AI 赋能防控服务机器人

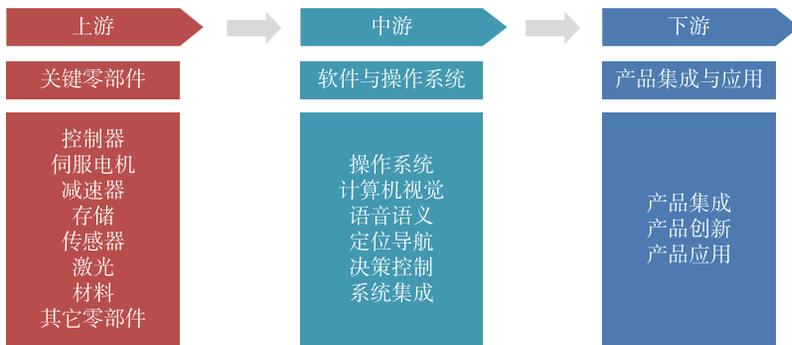


图 18 智能防控服务机器人产业链

AI 赋能协同办公系统，如图 19 所示，提升办公软件性能。AI 技术主要是让在线办公系统更加智能，提供更优质的用户体验。网络质量预测。用于动态调整网络拓扑、编码方式等，保证通信质量。人脸识别技术验证身份，提升会议系统的安全性。对视频质量进行动态改善，提升交流体验。利用语音识别和翻译技术，实现会议字幕生成和翻译。AI 在协同办公软件中可发挥的作用有待进一步挖掘。

国内在线办公起步较晚，但发展迅速且产业链条完整，如图 20 所示。国外在线办公软件起步较早，用户付费意愿较高。受到疫情影响，国内在线办公受到热捧，有望培养用户习惯，并形成可持续的商业模式。据国外机构 Apps Run The World 数据，2018 年排名前 10 位的全球协作软件供应商占全球协作整体市场的 55.7%，其中微软以占领 20.8% 的市场份额领跑市场，其次是思科、谷歌、LogMein 和

Slack。我国协同办公市场规模也呈逐年扩大趋势，据不完全统计，国内提供协同办公产品的企业约有 500 余家，2019 年产业规模达到 459.5 亿元。即时通讯：国内互联网公司技术和市场成熟；微信、钉钉、飞书、蓝信等处于领先地位。音视频会议：Zoom 和思科 Webex 占据龙头地位；国内飞书、钉钉等集成了会议功能，也有专注视频会议的随锐、全视通等。文档协同：微软凭借 office 软件在全球占据着先发优势；金山得益于 WPS office 的深耕，市场占有率逐步提高。办公 OA：国内办公 OA 历史较长，主要企业包括用友、SAP、金蝶、金和、致远互联、泛微等。适应国内习惯和需求，本土企业优势明显。

人工智能抗疫产品仍然面临的问题。由于缺乏规范标准的引导，

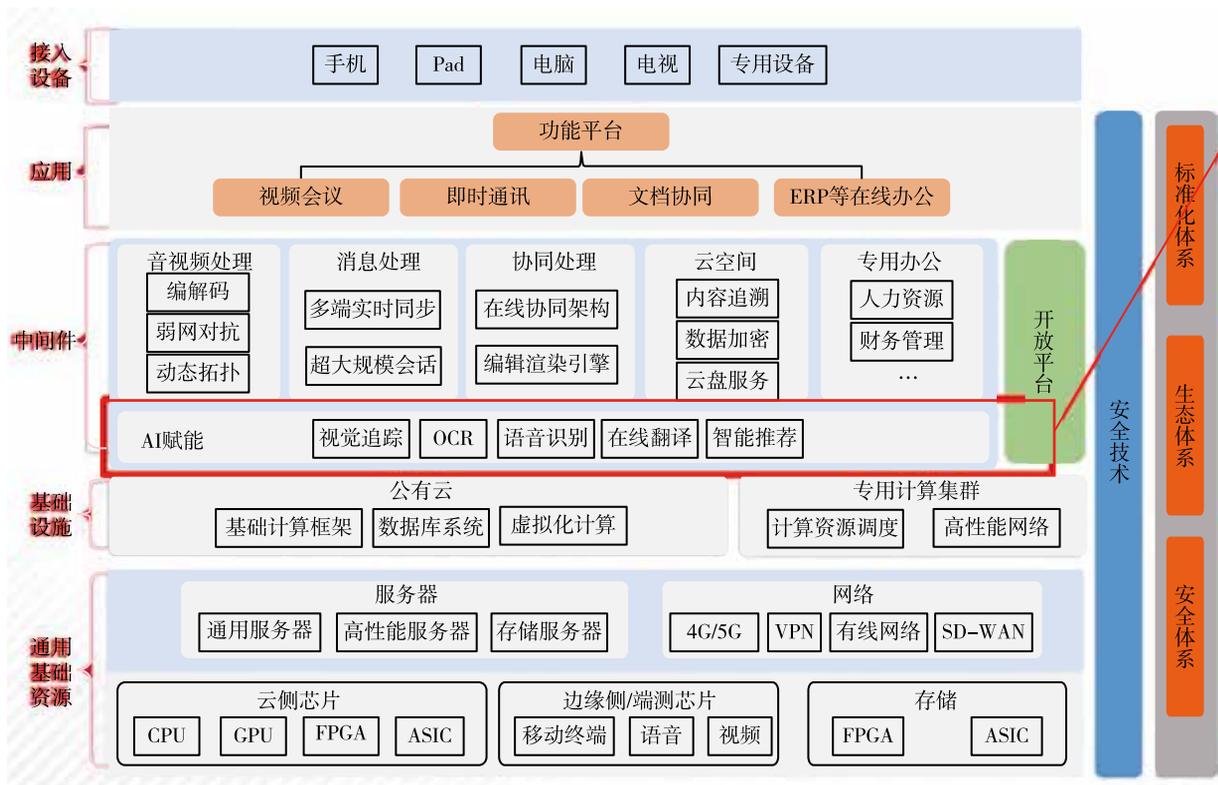


图 19 协同办公技术体系

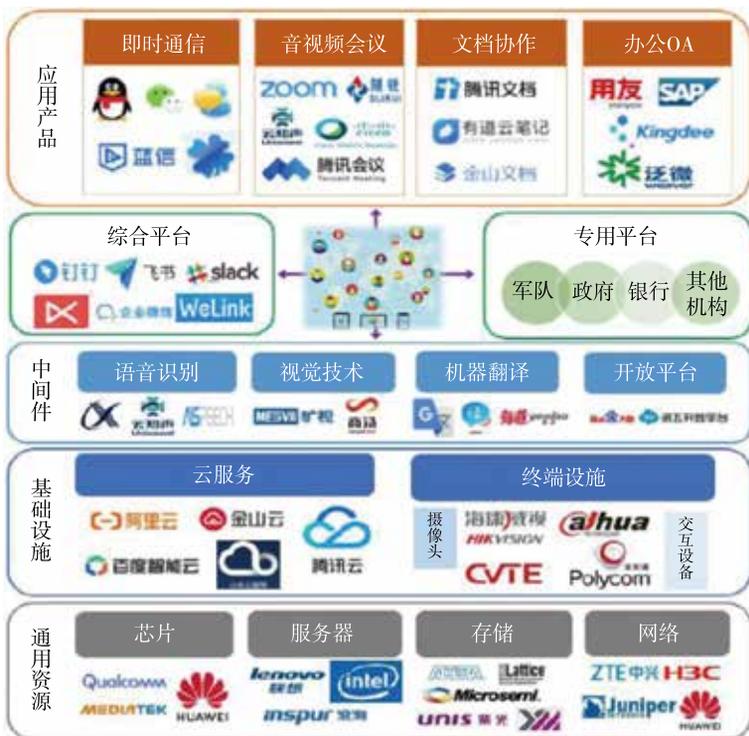


图 20 在线办公产业链

产品总体质量良莠不齐，存在着较高的应用风险，如 AI 体温测量误差过大可能导致病例漏检，服务机器人识别和推荐信息不准确，会发生误导用户采取错误防疫措施的危险。一方面部分优秀产品由于宣传不到位未能得到有效关注；另一方面企业扎堆推出大量同质化产品，忽视了部分场景下的需求。市场中缺少可供双方对接需求的权威平台。人工智能技术在有数据、有积累的场景能够快速形成落地产品，但在其他缺少行业数据的场景发挥作用有限，提供公共行业数据服务的需求日益增大。

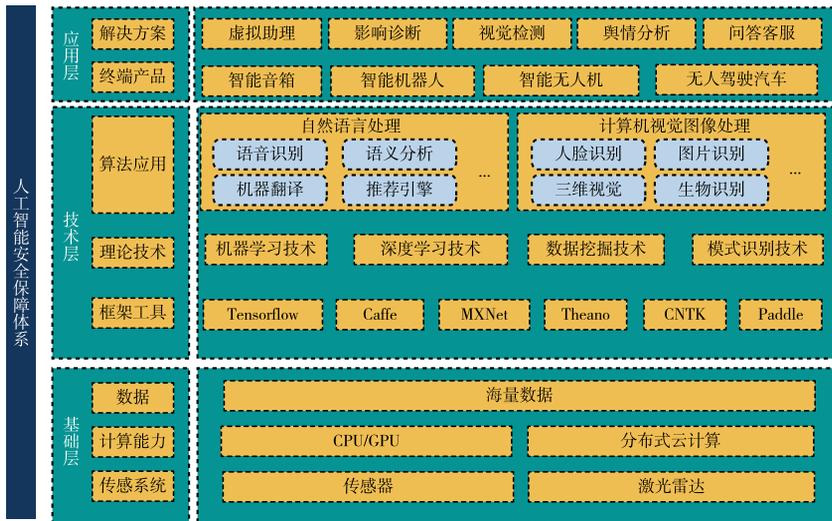


图 21 人工智能安全保障体系

部分领域已达到落地上用的水平。由于技术实力和成本等原因，市场上智能产品质量良莠不齐，甚至存在严重的安全漏洞等。针对人工智能产品的评估规范出台相对滞后，产业界需要第三方评估，进行规范和约束。为推动人工智能更好的赋能行业，增强用户采购和使用智能化产品的透明度，积极开展评测工作。

围绕人工智能标准和规范打造标准和评估评测服务能力。积极牵头和参与国内外标准制定，基于 ITU-T SG13 SG16, IEEE、3GPP、CCSA TC1、TC11, AIIA 标准组，评估工作组，立项在研标准数十项；关注和跟踪技术、产业发展动态，不断迭代

四、AI 产品评测与抗疫支撑

研究领域覆盖人工智能全产业链，建设开源生态、打造相关技术标准、推动可信 AI 落地，促

进产业融合。

标准评测工作是促进人工智能行业健康发展的重要保障。得益于深度学习技术的突破，计算机视觉、自然语言处理算法等在

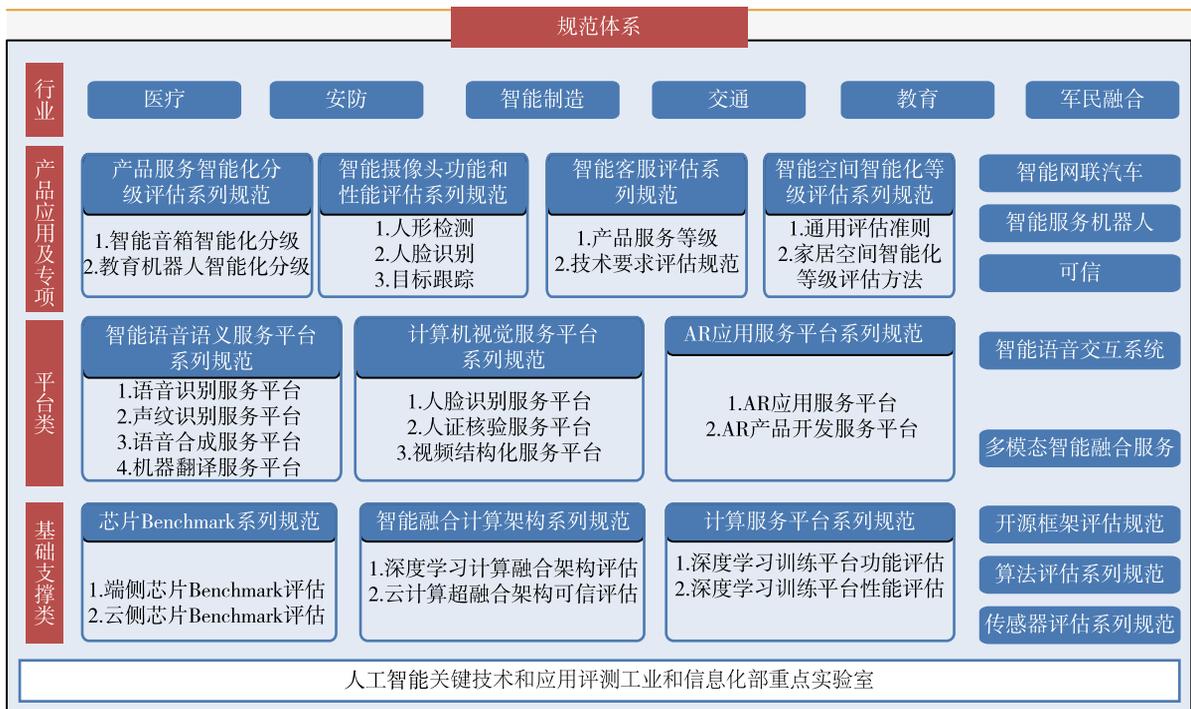


图 22 规范体系



图 23 人工智能评测平台

相关标准和规范，满足市场需求；涵盖芯片、算法、服务平台、智能语音服务、计算机视觉服务、智能终端、智能手机等多个领域。人工智能关键技术和应用评测工业和信息化部重点实验室公布规范体系，如图 22 所示。针对产业界需求，建设专用的计算环境、评测数据集、测试实验室等能力；形成了计算和存储资源，专用环境，数据集等完整的测试能力。并建设人工智能评测平台，提升行业影响力，如图 23 所示。

重点评测领域 1: AIIA DNN Benchmark

工作目标：在芯片发展过程中，基于清晰指标的技术竞争可以帮助企业快速进步。AIIA DNN benchmark 致力于客观地反映 AI 加速器能力现状，所有度量指标旨在提供客观的对比维度。

工作方式：“版本迭代、不断丰富完善”，训练 + 推断，端 + 云。

AIIA Benchmark 能够促进产业技术优中选优，如图 25 所

示。建立 AIIA Benchmark 体系，切实反映人工智能产业发展过程中的技术痛点，明确技

术竞争方向，帮助在帮助全产业 AI 相关企业产品宣传、相关应用行业选型的同时，促进技术进步，使得应用 / 技术 / 系统能更贴合实际应用场景需求。主要包括三个方面：面向应用产业的 benchmark（在研），面向基础应用技术的 benchmark（在研），面向底层硬件 / 系统的 AIIA DNN benchmark（已推出）。

AIIA 针对基础应用技术在基于算法 / 解决方案赋能相应提供商的特定场景，构建明确技术需求

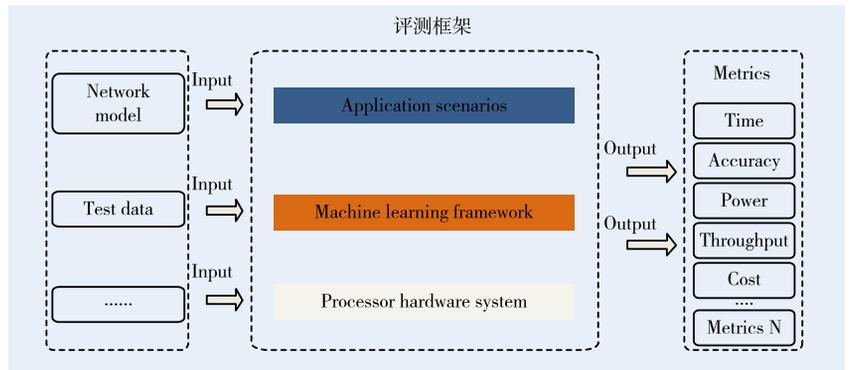


图 24 评测框架

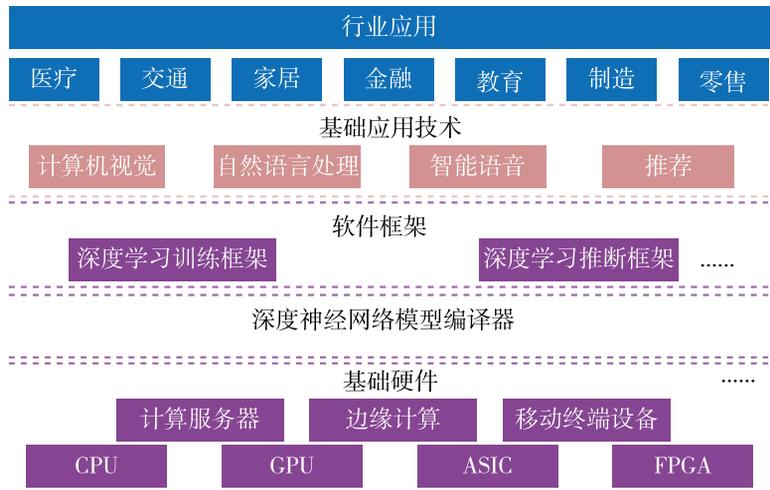


图 25 AIIA DNN benchmark 项目

的基准测试指标，以产业需求推动技术演进；针对 AI 技术赋能的行业，提供面向真实应用场景的评测指标与测试数据集，量化用户需求，真实反映产品能力；客

观反映 AI 加速器 / 硬件系统能力实际应用现状，所有度量指标旨在提供客观的比对维度。基准测试结果可为应用企业提供选型参考，同时为芯片 / 硬件系统企业提

供第三方评测结果。

已发布三轮 v0.5 版本评估结果。其中端侧推断任务基准测试完成两轮共 7 款芯片，云侧推断任务完成首轮试评估共 4 款芯片，见图 26。



图 26 AIIA DNN benchmark 结果

重点评测领域 2：计算机视觉技术和产品



图 27 研究框架及在研标准

重点评测产品：企业级智能人脸摄像机化分级

《计算机视觉应用智能化分级：第 1 部分：企业级智能人脸摄像机》。

评估规范起草单位名单：中国信息通信研究院、华为技术有限公司、北京易诚高科科技发展有限公司、重庆中科云从科技有限公司、

南京新一代人工智能研究院、上海诺基亚贝尔股份有限公司。

测试方法：材料检查 + 技术测试。

测试能力：活体检测数据集 + 100 人视频数据集（包括园区出入口、室内走廊等）。

测试情况：2019 年 9 月 23 日，组织首轮评测，华为、云从、旷视三家企业参与测试。

重点评测产品：家用智能摄像头人形检测能力

《计算机视觉应用智能化分级：第 2 部分：家用智能摄像头人形检测能力》



图 28 评估测试具体指标要求

评估规范起草单位：中国信息通信研究院、华为技术有限公司、南京新一代人工智能研究院、重庆中科云从科技有限公司、中兴通讯股份有限公司。

评估测试指标要求：1) 准确率：进行多次测试，摄像头成功识别人形的次数占总测试次数的比值。2) 响应时延：摄像头从拍摄人形到识别的时延。时延越短，

响应能力越强。3) 有效识别距离：摄像头能够进行有效人形检测的最大距离。

测试方法：技术测试

测试能力：真人数据集 + 非真人数据集

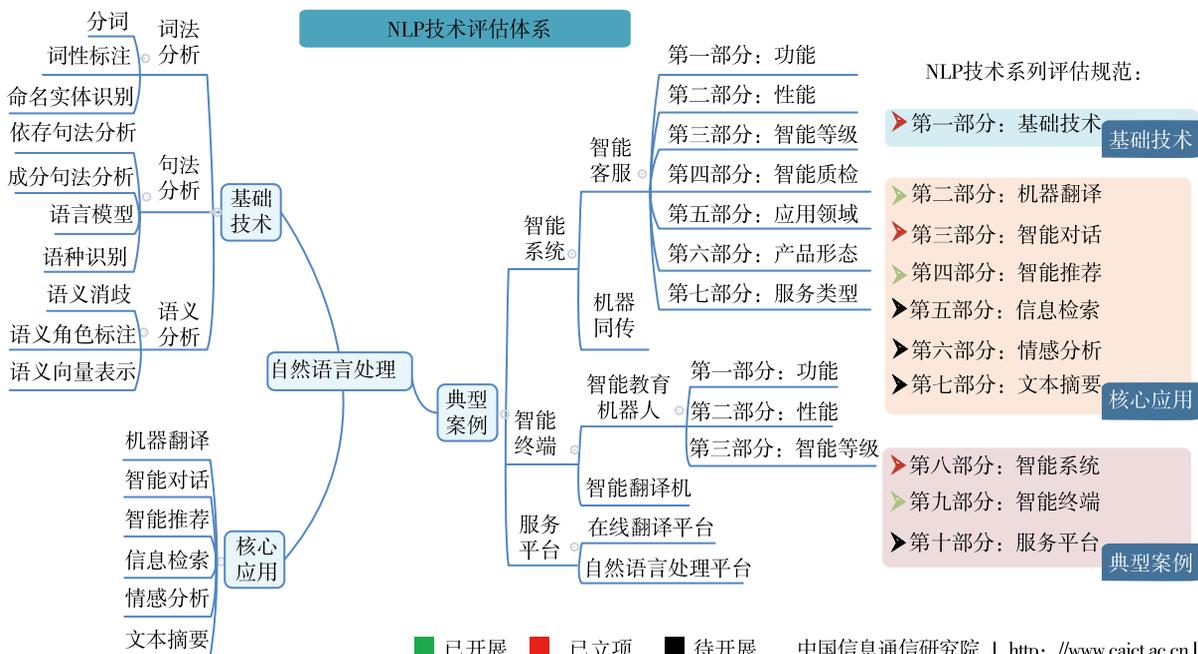
测试情况：2019年9月23日，组织首轮评测，登虹、海雀两家公司参与测试

重点评测领域 3：智能语音技术和产品

AIIA 相关技术和应用领域评估规范：《中文语音合成服务系统评估规范》《中文语音识别服务系统评估规范》《声纹识别（自动说话人）服务系统评估规范》《智能音箱化等级指标要求和评估方法》《机器翻译服务系统评估规范》



图 29 智能语音语义技术和产业



■ 已开展 ■ 已立项 ■ 待开展 中国信息通信研究院 | <http://www.caict.ac.cn>

图 30 自然语音理解规范体系

《智能客服系统 第 1 部分：功能指标要求和评估方法》。

重点评测产品：智能客服智能化等级评估

图 31 《智能客服系统第 1 部分：功能指标要求和评估方法》

重点评测产品：机器翻译服务系统

图 32 机器翻译服务系统评估规范

重点评测产品：中文语音合成服务系统

《中文语音合成服务系统评估规范》AIIAPG 008-2019

评估规范起草单位：中国信息通信研究院、南京新一代人工智能研究院、中科院自动化所，科大讯飞、腾讯、思必驰、百度、

搜狗。

首轮评测结果公开发布，2019年11月2日AIDC颁布证书，腾讯、阿里、思必驰、同盾科技。



图 33 主要评估指标和在线评测系统

重点评测产品：智能音箱智能化等级评估



图 34 智能音箱智能化等级评估

重点评测领域 5：智能空间

愿景：建立客观公正的评测规范，获得智能空间解决方案智能化等级的评定模型，推动行业的规范化。

意义：推进空间智能化在房地产等领域的渗透与发展，打造房地产商、用户等共同受益的智能化产品及服务，产生良好的经济、社会和服务价值。

工作思路：建立智能空间的智能化等级评定规范，帮助家居、社区、养老、酒店、场馆等各类甲方建立更好的准入制度，规范产品落地等工作。

评测内容：对各空间场景解决

方案的场景化服务能力、系统稳定性、可扩展性、安全性等进行评测。

重点评测领域 6：有害信息内容识别

《网络治理能力评估规范第

2 部分：有害信息内容识别服务系统》

评估规范起草单位：中国信息通信研究院、网易、金山云、百度、网宿科技等。

评测指标：从系统基本信息披露和系统成熟度、服务质量评估三个维度评价内容识别服务系统，共涉及 61 个指标项，按照必选项达标情况和可选项划分，评定内容识别服务系统。

基本信息披露：主要包括系统名称、系统版本号、系统基本描述、系统功能、业务起始运营时间等。

系统成熟度：主要包括完整性评估、性能评估、组织完整性评估、开发性评估、可靠性评估、易用性评估。

服务质量评估：主要包括服务可审查性、服务计量准确性。

重点评测领域 7：深度学习训练平台

《深度学习平台功能要求和评估方法》V1.0



图 35 评测数据集情况



图 36 评测指标

评估规范牵头单位：中国信息通信研究院

评估规范参与单位：腾讯、百度、中兴、华为、联通

首轮评测通过企业：华为、浩鲸科技、厦门渊亭科技

重点评测领域 8：教育机器人智能化分级评估

《智能教育机器人智能化分级第 1 部分：功能指标要求及评估方法》V1.0

评估规范牵头单位：中国信息通信研究院、南京新一代人工智能研究院

评估规范参与单位：优必选、鲸鱼机器人、DFROBOT 等

作者简介



孙明俊，中国信息通信研究院云大所人工智能部主任，工信部人工智能技术和应用评测实验室常务副主任，中国人工智能产业发展联盟总体组组长，南京新一代人工智能研究院院长，长期从事人工智能、云计算、多媒体系统研究工作，牵头负责了多项人工智能、云计算和视频通信标准，主持多项省部级课题，获得多项国家、省部级奖项。主编《人工智能浪潮》系列丛书。



评测指标	硬件设备 (20%)	AI核心技术支持能力 (40%)	编程接口与教育能力 (40%)
运算模块		编程语言: scratch, python, Blockly, C/C++	智能视觉: 图像识别, 对象检测, 目标跟踪
功能模块		教育能力: 程序设计, 逻辑思维, 工程实践, 创新创造	智能语音: 语音识别, 语音合成, 声纹识别
电机模块			智能语义: 对话系统, 机器翻译
传感模块			
I/O模块			

中国信息通信研究院 | <http://www.caict.ac.cn/>

图 37 系列标准和评测指标

写入国际自控联白皮书！东北大学柴天佑院士团队为国际自动化发展提供“中国方案”

导读：5月30日是全国科技工作者日。2020年，在统筹推进常态化疫情防控和经济社会发展的关键阶段，由中国科协、科技部主办的第四个“全国科技工作者日”以“科技为民，奋斗有我”为主题，以服务科技工作者为主线，聚焦科技服务经济、服务社会、服务开放合作，推出一系列特色亮点活动。东北大学开展“育人、立德、奉献”科技工作者日主题活动，从5月30日起策划推出优秀科技工作者系列报道。

工业制造是国民经济的重要支柱，是实现发展升级的国之重器。中国制造业如何由大变强，流程工业的智能转型发展至关重要。

多年来，东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室在中国工程院院士柴天佑的带领下，面向国家流程工业高效化与绿色化的重大需求，开展基础研究与前沿高技术研究，在大型全流程生产线成功建立节能降耗效果显著的综合自动化示范系统，为工业化和信息化深度融合树立了典型示范，为我国流程制造业由“制造大国”向“制造强国”发展提供了科技支撑。

2017年，流程工业综合自



动化国家重点实验室在信息领域32个国家重点实验室评估中排名第一。

2018年，由实验室独立完成的“生产全流程多目标优化决策与控制一体化理论及应用”获教

育部自然科学一等奖。

2019年，项目带头人柴天佑院士带领唐立新、刘腾飞、杨光红、王良勇四位课题组成员，在进一步完善项目内容的基础上进军国家奖，最终“生产全流程多



流程工业综合自动化国家重点实验室

目标动态优化决策与控制一体化理论及应用”项目荣获 2019 年度国家自然科学二等奖，且课题组成员均来自同一实验室，这是一项东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室独家专属的科学大奖。

潜心“系统”挑战科学难题

我国是冶金、石化、建材等原材料工业和电力等能源工业的制造大国，具有世界一流的加工装备和信息化系统，但由于原矿和原料品位低、成分波动大，导

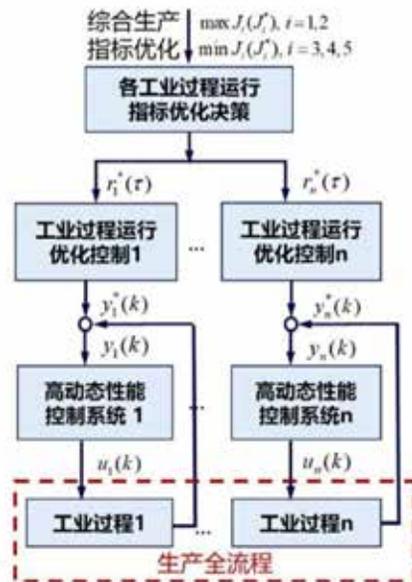
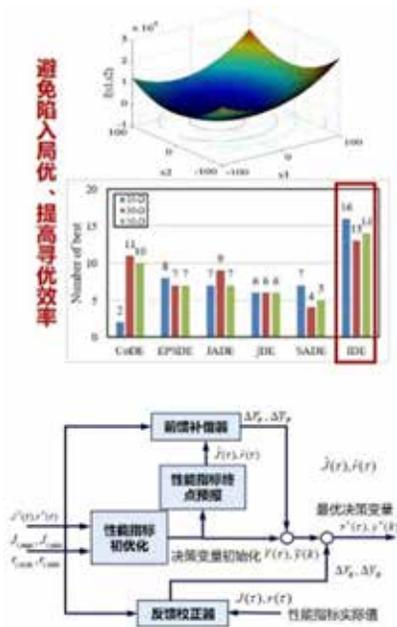
致技术人员难以准确、及时地决策和操作企业的综合生产指标、加工装备的运行指标和过程控制系统的设定值，加之某些工业过程存在未知干扰、动态变化和反应机理不清等状况，一般都难以建立数学模型进行分析，传统控制技术更无法保证过程控制系统具有良好的动态特性，这就造成了生产过程中存在产品质量不稳定、能耗与物耗高等现实问题，根本无法满足高效化和绿色化的工业制造目标。

“当前仍缺乏工业生产全流程的运行优化方法。”美国工程院院士、卡耐基梅隆大学 L.T.Biegler 教授对此提出论断，这是一个全球共性问题。Nature 文章中也曾指出，“制造过程决策与控制过程集成是智能制造中的挑战性难题。”

面对这一科学难题，东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室从实际问题中提炼出工业过程决策与控制一体化的研究方向，将目光锁定多层次、多尺度、多冲突目标动态优化决策与控制一体化及其在工业应用中的核心基础问题。经过十多年的深入研究，取得了三项关键性突破：

1. 率先提出了以综合生产指标优化为目标、由运行指标优化决策、工业过程运行优化控制与高动态性能控制三层结构组成的





决策与控制一体化系统架构；

2. 率先提出了多层次、多尺度、多冲突目标的生产全流程智能优化决策算法；

3. 率先提出具有综合复杂性的工业过程高动态性能控制系统设计方法。这三大发现点为解决工业生产全流程的运行优化奠定了理论基础。

实验室研究成果先后应用于氧化铝、电熔镁砂、镍钴、赤铁矿选矿等生产全流程，显著提高了产品质量与生产效率，降低了能耗与物耗，为流程工业智能制造提供了重要的科技支撑。

专心论文

研究成果连登国际顶尖期刊

沿着东北大学建筑学馆东侧的台阶拾级而上，是流程工业综合自动化国家重点实验室，这始

终精准运算着流程工业的时代理想。理论发现看似偶然，实际上离不开实验室长期的研究积累。

“实验室晚上9点时工作人员的数量之多令人吃惊，在研究经费和科技获奖方面取得的成绩令人赞叹，柴天佑取得的成就在国际自动化领域不可比拟。”2015年，IEEE 控制系统协会前主席

Maria Elena Valcher 教授对实验室进行访问时如此评价。

2018年，现任主席 Francesco Bullo 教授再次来访时作出了同样评价：“流程工业综合自动化国家重点实验室是一个真正独一无二且令人敬佩的研究中心，聚焦复杂工业过程自动化与绿色化方向上的控制科学与技术转化。”

国家自然科学奖是在一个领域长期积累、原始创新的结果，光鲜亮丽的背后是实验室每一个人十多年艰辛而不懈的付出。有时一个实验重复几十遍，有时一篇论文修改上百遍，无数次开到接近凌晨的研讨会，这一切让实验室每一个人都认识到任何成绩的取得都没有捷径可走，都需要付出加倍的汗水和努力，都需要高度的专注和漫长的淬火。

一路拼搏赢得一路凯歌！经多年积淀，实验室将科学前沿探索研究中取得的系统性原创成果



Maria Elena Valcher 教授与柴天佑院士

总结凝练，撰写为高水平科研论文，在国际舞台大放异彩。实验室率先在国际自动化领域权威期刊上发表多篇学术论文：

- 在国际控制领域重要成果综述的 IFAC 会刊 Annual Review in Control 上发表了运行优化反馈控制领域文章；
- 在国际控制领域顶级期刊 Automatica 以长文发表动态优化研究成果；
- 在 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 上发表生产全流程优化控制领域文章；
- 在 IEEE Transactions on Evolutionary Computation 上发表综合生产指标优化决策领域文章；
- 在 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 上发表全流程生产指标优化决策领域文章；
- 在 IEEE Transactions on

Neural Networks 上发表全流程生产指标预报领域文章……

实验室还以项目为依托在 IEEE 汇刊和 IFAC 会刊发表论文百余篇，其中，4 篇论文在重要国际期刊与重要国际会议获奖，4 篇论文在国内自动化领域顶级期刊获奖。

柴天佑先后在美英加日等国举办的 IEEE 和 IFAC 系列国际会议上作大会特邀报告 17 次。这一项目成果的研究方向更被写入国际自控联 (IFAC) 引领未来自动化发展方向白皮书《Systems

& Control for the Future of Humanity》，作为未来国际自动化发展方向之一。实验室的原始理论创新在国际控制领域树起了“中国智造”的一面旗帜。

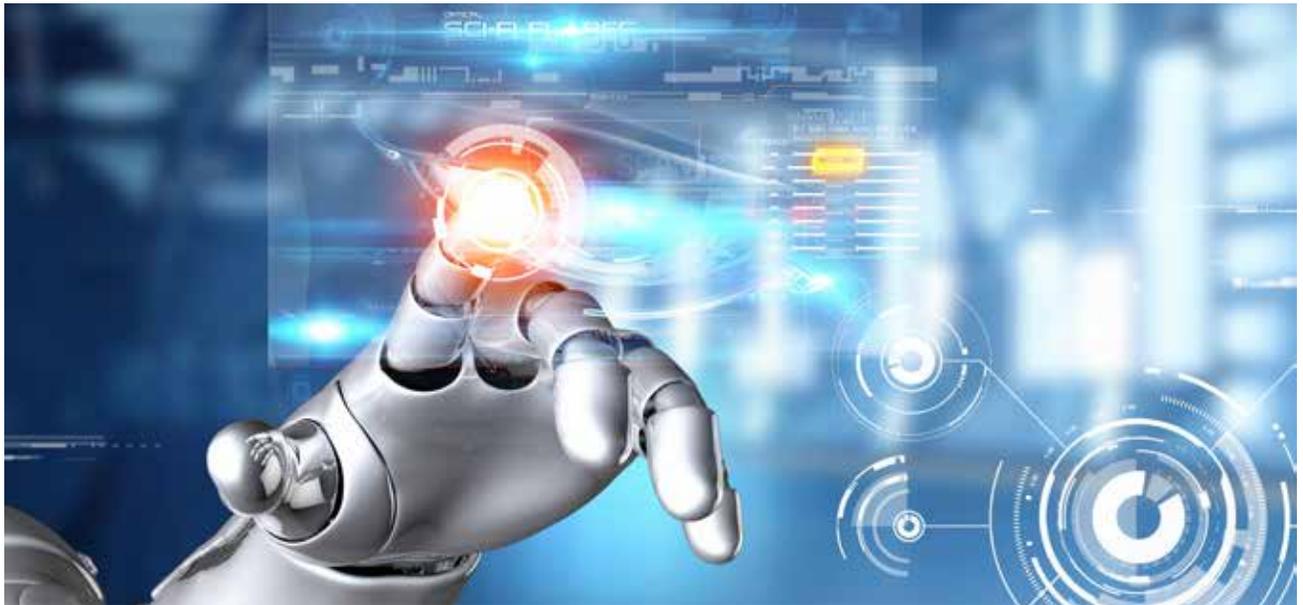
攀登科学高峰，永无止境。近年来，随着移动互联网、云计算和人工智能技术的发展，工业过程决策与控制可利用的信息也越来越多，如何进一步发展生产全流程优化决策与控制一体化理论和方法，满足智能制造的新需求，成为研究团队正在攀登的山峰。

“需要将建模、控制、优化与人工智能技术相结合，充分利用复杂生产制造流程的物理资源，开展在频繁干扰等动态环境下复杂生产全流程智能优化决策与智能自主控制一体化理论与方法的研究，为发明具有自主知识产权的复杂生产全流程运行优化控制核心技术打下坚实的理论基础。”柴天佑将带领团队将继续探秘工业人工智能的未抵之境。○



Francesco Bullo 教授参观实验室

来源：东北大学



智能无人系统：新一代人工智能重要成果及其应用

文 / 清华大学 吴澄、张涛

科学技术发展水平是一个国家综合实力的重要指标。最近，随着新一代人工智能（AI）兴起，我们正面临一场新的工业革命，例如，智能无人系统（IUS）的开发应用将很快成为人工智能发展的里程碑式成就。未来3~5年，中国智能机器人在服务业和工业等领域的应用将取得长足进步，无人飞行器（UAV）将在多个行业大规模应用，自动驾驶系统将加快研发和普及，中国还将开发轨道交通自动驾驶的核心通用技术，与此同时，智能车间和智能工厂将取得重大进展，并形成一套符合国际标准的中国标准。

IUS是一种人造系统，其使用先进技术进行操作或管理而无需任何人工干预。迄今为止，人类创造了各种无人系统，随着人类知识的累积和发展，无人系统的技术水平也在逐渐提高。IUS是一个复杂系统，涉及机械、控制、计算机、通信和材料等多个领域技术，而AI无疑是开发IUS所需的关键技术之一。自治和智能是IUS的两个最重要特征，而实现和优化这两个特征的最有效方法是使用各种AI技术，例如智能感知（图像、语音识别等），人机交互，智能决策，学习，推理等。

无人系统是指不需要人工干

预的系统，但是“无人”系统的最高级别是人机耦合的。人机耦合意味着人类将其神经系统与计算机和其他设备相连，以弥补人的感官和动作缺陷，因此无人系统运作还是需要人的参与。人工智能和无人系统的结合有望发展出可以改变生活的技术，例如全自主辅助机器人外骨骼系统，增强佩戴者功能（特别是残疾人和老年人），改善人类生活质量。通常来讲，人机集成包括人机合作，人与机器之间的关系不再是主从关系或替代关系，而是伙伴关系。如果人们控制多个无人系统一起工作，则可以明显提高效率和灵

活性。因此，人与无人系统之间的协作和交互，将显著改善系统功能的不同方面。然而，对于许多劳动密集型工作，无人系统可能效率不高，因此，IUS 将成为人机集成的重要体现。

与传统无人系统相比，IUS 具有更大应用潜力，各种类型 IUS 的出现将对人类生活和社会产生重大影响。目前，IUS 主要包括自动驾驶汽车、无人机、面向服务的机器人、智能工业机器人、太空机器人、航海机器人以及无人车间 / 智能工厂。

中国发布的新一代 AI 开发计划涵盖了自主无人系统的智能技术，着重于突破通用智能技术，例如自主无人系统的计算架构、对复杂动态场景的感知和理解、实时精确定位、复杂环境的自适应智能导航、无人机的自主控制，以及其他智能技术，包括无人驾驶的汽车、轮船和铁路运输以及核心技术（如服务机器人和特种机器人）等，以支撑无人系统的应用和工业开发。

在此背景下，中国工程院院刊《信息与电子工程前沿（英文）》（FITEE）组织出版本期 IUS 特刊。本期特刊呈现的 IUS 类型包括机器人外骨骼系统、智能地面车辆、水下机器人和无人机。经严格审阅，共遴选 10 篇文章，包括 2 篇综述、1 篇指南和 7 篇研究论文。

随着对可重复使用的发射器的需求不断增加，以及太空探索

产生的潜在价值逐渐清晰，精确软着陆已成为一项基本技术要求。宋征宇等总结了在天体表面精确软着陆的自主制导方法，通过比较月球、火星和地球 3 种着陆场景特征，总结了 3 自由度和 6 自由度着陆问题的约束条件和性能指标函数，形成一般性问题描述，与此同时，详细讨论了分析算法、数值优化算法和基于学习的方法在软着陆问题的应用。

随着传感器融合技术的发展，关于智能地面车辆的研究日益增多，其中障碍物检测是车辆驾驶的主要内容之一。潘泉等总结了野外环境中智能地面车辆的车载多传感器配置方法，为用户提供了根据其性能要求和应用环境选择传感器的指南；与此同时，综述了最新多传感器融合方法和系统模型，解释了其与异构传感器配置的关联。

电子商务的快速增长、劳动力成本的持续攀升以及消费者越来越高的期望，促使全球范围内的仓库采用更新、更先进的自动化技术。仓储自动化技术需具备如下特点：高效率、自适应性、可扩展性、强容错力。蔡凯提出一种新的信息物理控制方法，以实现多机器人服务“货到人”物流作业的安全、无锁死、高效和自适应行为。

可穿戴式外骨骼是一种动力拟人化的机电系统，用于增强力量、承重、锻炼康复和步行辅助。准确的加速度获取是机器人外骨骼

系统设计中的关键问题。张涛等基于神经网络提出机器人外骨骼的固定时间约束加速度重构方案。该方案可实现高性能观测，并在实际外骨骼系统中提供高精度加速度估计。这些新特性将帮助开发依赖于加速度的更好控制算法。

下肢辅助外骨骼被广泛研究以实现运动辅助或康复训练。尽管研究人员已开发出绳驱动的外骨骼设备，由于顺应性和轻量化的限制，现有大多数绳驱动外骨骼设备只能辅助单向运动。王田苗等开发出一种独立可穿戴式绳驱动踝关节外骨骼，通过一对单电机实现跖屈—背屈双向运动。

阮婉莹和段海滨提出一种多目标社会学习鸽群优化（MSLPIO）方法，用于无人机避障。与改进的多目标鸽群优化算法和改进的非占优排序遗传算法相比，MSLPIO 具有更好收敛性能。

西太平洋马里亚纳海沟深约 11 000 米。自主遥控水下机器人“海斗”被开发用于在这个地球最深处进行科学勘测。海斗最大下潜深度为 10 905 米。确定最深处准确位置是其任务之一。陈传绪等提出一种地形匹配方法克服定位难题，无需使用声波定位系统。“海斗”成为全球仅有的几种可在全海深潜航的水下航行器之一。

点集配准问题一直是移动 IUS 领域的重要课题。赵文杰等提出一种新的三维点集配准方法，其

基于一种高斯过程图的新型地图表示形式，可用于完整的同时定位和制图（SLAM）框架。

飞行控制系统是无人机各种任务和应用中的关键要素。胡欢和王庆领提出一种采用积分补偿器的近端策略优化技术，用于无人机智能控制器开发，可有效减少速度跟踪中的稳态误差，显著改善跟踪精度。

在高度动态和复杂的环境中协调多个无人机是一项有难度的技术。赵志峰等提出一种有限先

验信息下的多无人机系统协同方法，该方法基于数字信息素和当前主流无人系统控制算法，在覆盖范围、检测和重访效率以及避障等方面展示出出色性能。

本期特刊涵盖了有关 IUS 的广泛研究主题，包括自主制导、地图重建、障碍物检测、定位、控制和多系统协作等。希望这些文章对 IUS 和相关领域读者有所帮助。

最后，特别感谢作者和审稿人的支持和宝贵贡献，感谢编辑人员及主编潘云鹤院士和卢锡城

院士。

本文译自 Wu C, Zhang T, 2020. Intelligent unmanned systems: important achievements and applications of new generation artificial intelligence. *Front Inform Technol Electron Eng*, 21 (5): 649-651. <https://doi.org/10.1631/FITEE.2030000>

来源：《信息与电子工程前沿》
(英文)

作者简介



吴澄

分别于 1962 和 1966 年在清华大学获得电子工程学士和硕士学位。1981 至 1983 年，为美国凯斯西储大学博士后研究员。中国工程院院士，现任国家 CIMS 工程研究中心主任。研究领域涉及计算机集成制造系统、复杂系统建模、调度和计划、网络化制造等。



张涛

分别于 1993、1995 和 1999 年在清华大学获得自动化专业学士、硕士和博士学位，于 2002 年在日本佐贺大学获得第 2 个博士学位。现为清华大学信息科学技术学院教授，副院长，自动化系主任。为 IET 会士，IEEE 高级会员，IFAC 机器人技术委员会成员，AIAA 会员以及 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 编委。研究领域涉及机器人技术、人工智能、控制理论等。

尽快将新知识、新技术融入工程学科人才培养方案

文 / 华东理工大学 钱锋

智能化时代，应该如何培养制造业工程科技人才？

今年“全国两会”上，全国政协委员、中国工程院院士、九三学社上海市委主委、中国自动化学会监事、华东理工大学副校长钱锋拟提交一份提案，就智能化时代的制造业工程科技人才培养模式改革，提出自己的真知灼见。

提案指出，制造业是国民经济的支柱和基础产业，也是全球经济持续增长的重要支撑力量。疫情期间，我国发挥制造业集群和产业链优势，在防护服、口罩、消毒用品等防护物资生产和保障方面发挥了关键作用。面对新一轮科技革命和产业变革，必须推动制造业转型和智能化发展，培养适应和引领未来智能制造的工程科技人才就显得尤为迫切。

钱锋认为，新时代要求人工智能等现代信息技术与制造业实现深度融合，推动制造业高质量发展。因此，制造业智能化发展

要求未来的制造业人才具有多学科知识、跨界整合能力和解决现实工程技术和管理问题的能力，对当前的人才培养模式带来了新的挑战。

不可否认的是，从当前人才培养模式的现状来看，仍存在一些问题，比如：人才培养方案和知识体系更新滞后；跨学科的人才培养存在体制机制障碍；工科师资队伍能力素质建设亟待加强等。

针对上述问题，钱锋在提案中提出了四个方面的具体建议：

第一，加快工程学科和专业的知识体系再造。

当务之急是要高度重视制造业与人工智能、大数据等现代信息技术的深度融合，尽快将新知识、新技术融入工程学科和专业的人才培养方案，使学生能够系统掌握。

长期目标是建设适应制造业智能化发展的人才培养体系，通过开设新技术与制造业相结合的课程、编写案例和教材，形成全

新的课程体系、教材体系和知识体系，使新技术成为未来制造业人才培养的天然组成部分，培养学生真正掌握将新技术融入到制造业中的能力。

第二，探索多元化的制造业工程科技人才培养模式。

制造业行业内分工越来越细，专业创新越来越重要，培养模式的多元化十分重要。除了传统的“技术员→工程师→总工程师（或创业）”科技型人才，还需要“业务员→销售主管→区域经理→销售总监”销售型人才，更需要既掌握工业生产、工艺、研发、质量检验等专业知识，也了解物流、法律、环保、项目管理等多学科知识的“复合型”人才，这对多元化培养模式和双学位培养制度提出了迫切的要求。

第三，创新制造业工程科技人才跨学科培养方式。

一是打破学科和专业藩篱。组建跨学科的课程和教学团队，共同

开发新技术与制造业相结合的课程并开展教学；二是建立跨学科导师制度。为研究生配备一名专业导师和一名智能技术领域的导师，共同指导其开展智能制造方向的研究；三是鼓励跨学科攻读硕博学位。吸引智能技术领域和制造业领域的本科生跨学科攻读硕博学位。

第四，大力提升面向制造业的专业师资队伍综合能力。

一是创造有利于教师开展跨学科研究和掌握人工智能等新技术的条件。组建跨学科的研究平台和项目，鼓励制造业领域和智能技术领域的教师开展跨学科的研究，共同攻关制造业领域的智能技术问题。

二是强化对工科教师解决现实工程问题的能力考察。将工科教师在解决制造业现实工程问题的贡献作为其绩效分配、职务职称晋升、岗位晋级考核中的重要指标，引导其关注并解决当前制造业发展中亟待解决的关键问题。

三是增强教师的工程实践能力。组建由教师领衔组成的企业实践团，深入一线，帮助企业解决工程实际问题，在实践中提高教师整体工程科技素质与能力。○

来源：澎湃新闻

脑机融合技术或许会成为未来人工智能的一个热门方向

文 / 中科院脑科学与智能技术卓越创新中心 蒲慕明

【导语】当前，以人工智能为代表的新技术，成为推动第四次工业革命走向深入的重要力量，给经济、社会、文化等多领域的发展带来深刻变革。但是，因为对大脑工作方式的了解有限，人工智能的开发与研究仍处于比较低的水平。那么，机器与人脑相比还有多大差距？脑机融合技术又有怎样的前景呢？未来，可不可以充分模拟人类大脑，研发出更高级的人工智能技术？人脑与机器能否高度融合？机器会不会和人一样有思想、有情感、有意识，它们还能和人类和谐相处吗？为解答这些问题，我们邀请您聆听中国科学院院士、中科院脑科学与智能技术卓越创新中心学术主任蒲慕明的深度解读。为您揭开人脑奥秘，消除未来人工智能发展疑虑。

“脑机接口”，也称作脑机融合技术，就是通过芯片和传感器，用大脑控制各种设备，这或许会成为未来人工智能的一个热门方向。2019年夏天，被称作“美国科学狂人”的马斯克就宣布取得了这项技术的突破，目前已经可以做到在猴子脑内植入芯片后，猴子通过大脑成功操控电脑。如果这项技术应用到人类

身上，不仅能治疗大脑损伤和缺陷，还能大大增强人类的认知与行为能力。

遥远的梦想——科幻机器人

现在有很多对未来人工智能的想法都是科幻小说带来的。科幻小说的鼻祖叫艾萨克·阿西莫夫，他在上世纪50年代就写了一本书叫《我，机器人》。书

中讲述了一个 Robot (机器人) 瞧不起正常人类, 它说人类真没用, 要睡觉, 这么脆弱等等。艾萨克·阿西莫夫那个时候想的机器人, 它就是一个智能体, 在上世纪 50 年代的科幻小说是可以出现这个的。但是我们知道, 事实上人工智能能够做到的极为有限。我们看到的机器人展览, 那些机器人的动作都是非常缓慢的, 只能做一些固定的事情。

所以我们的机器人制造、人工智能现在需要的是什么呢? 我们需要多感觉。比如像叠杯子这类动作就需要多感觉, 需要视觉、触觉很快地整合, 然后再把感觉运动转换成机器手的运动。机器人还需要进行记忆提取, 提取出关于这个杯子应该放在什么地方, 需要运转什么程序, 要做什么工的记忆, 然后再制定关于怎么样去叠的计划, 之后再执行。但这些行为现在的机器人还做不到, 我们目前还没有一个机器人能够达到这样的地步。也就是说, 科幻小说虽然给我们带来了一些想象, 但是也带来了许多错误的期待、期望。这对科学家、对技术的研发来说, 都是一个错误的期望, 是目前还达不到的期望。

脑机融合初试锋芒

人工智能的能力有限, 但是已经很有用了。比如怎么样分析

我们大脑的电信号, 我们大脑不断地向头皮发出脑波, 因为头皮是湿的, 有水分, 所以它可以放置电极, 电流可以流到外头来。大脑里面的活动实际上可以反映在大脑的头皮上面, 所以头皮上电极可以测到各种波, 但是这些波是成千上万的神经元在里面活动造成的整体的结果, 我们很难从这里面去解码, 告诉你到底是哪个神经元, 或哪个脑区造成的活动。但是, 假如你有大量的脑波数据, 又能够有大量的脑内思绪的标记, 比如你想用脑波来控制机器手, 那么在想有动作的时候, 可以用人工智能的算法分析脑电对应着的想法, 以后慢慢就可以准确地用来控制这个机器手了。但事实上这个信号怎么来的, 并没有真正能够解码, 但是已经可以用了。

抑郁症出现时的脑波是异常的, 但是不知道为什么会是这样的脑波, 假如能够很准确地把异常脑波对应到抑郁的症状, 脑波的模式就变成一个抑郁症的指标了。

所以, 将来由于使用大数据, 就可以解释很多事情, 可以有很多用途, 虽然我们不知道这些数据本身是如何产生的。医疗数据也是这样, 医疗系统里每个人都有很多数据, 这些数据能够判断此人是否有病, 有什么样的病, 包括面部的表情、走路的状态都



中国科学院院士、中科院脑科学与智能技术卓越创新中心学术主任 蒲慕明

是数据。假如这些数据都收集起来了, 就可以判断有某种病的人, 他有一组特殊的数据是最匹配的。机器不断去学, 成千上万病人的数据都有了, 机器都学过了, 可能就可以认出来某一些组合的症状, 代表某一种病。虽然我们不知道为什么会如此, 会有这样的表型, 但是我们可以利用这个表型来做疾病的诊断。最近脑机接口是一个很热门的研究方向, 脑机接口的应用相当广。首先, 脑机接口有两类, 一种是非侵入式的, 一种是侵入式的。像脑电波, 就是电极放在头皮上面的, 是非侵入式的。非侵入式的应用会非常广, 比如通过脑波诊断来判断大脑的状态, 做疾病的诊断。可以用脑波来控制外面的机器、外骨骼系统, 比如瘫痪的人可以用脑波来控制外面的器械帮助走路, 这些都有可能, 马上就可以用的。另外一种就是侵入式的, 侵入式的直接把电极插入到大脑皮层。侵入式的好处是它可以记录更多、更准确的大脑的反



应。如果只看外面皮层的电位，不能够确定脑内活动的源头，所以侵入式可以更好地用来操纵外面的器械。美国现在已经出现可以帮助人走路设备，利用的就是侵入式的电极，这在医疗上很有用途。

有些闭环式的脑机接口，可以调控大脑的功能。比如说想睡觉了，或者想要一个不想睡觉的人进入睡眠，可以非侵入式地记录他的电波，然后根据脑的状态做反馈脑刺激，利用另外一个接口，来刺激大脑，也是非侵入式的，让大脑进入睡眠态，或者进入清醒态，这都是很有用的。睡眠有问题的人，很多人吃安眠药都无效，假如有很好的脑机接口的调控模式，就是一个非常有效的工具。该装置还能让长途司机保持清醒，观测他的大脑状态，改变他的大脑状态，让他能够正常工作。

如何让脑科学研究造福人类？

类脑人工智能这个前沿的科技会带来很多的社会伦理问题，比如说现在有技术可以做到控制大脑，通过电刺激来读取大脑的信息。但谁有权来控制这个？你的父母可不可以做这个？你的医生什么情况下可以调控你的大脑？这个是要有伦理标准的。

我们现在研究大脑，研究脑疾病、药物治疗，各种的康复手段都是用来修复大脑、保护大脑的，但是我们还有能力可以增强大脑的机能，增强大脑智能。这种增强就像运动员吃兴奋剂一样，他可能会跑得比别人更好。但是这项技术我们也是不被允许的。

还有就是人工智能可以取代哪些职业。现在的大公司都想发展通用人工智能、通用机器人。这并不是像以前一样，机器人都做一样的工作就可以，现在要做的是更强的机器人，并实现用机

器人来取代人。大公司当然愿意要这种技术，因为它省钱，而且一天24个小时都可以操作。如果这样的话，将来就可以不要工人了。但若一些职位的工人将来被取代的话，我们的社会上就会出现劳工问题、失业问题。假如有一天，人类给予机器人自主思考的能力，有真正跟人差不多的一群机器人出现，那时候社会应该是怎么样的一个社会，这需要我们来认真考虑，这也可以算是伦理的问题，是社会问题。我们必须设计属于我们的一种模式，关于将来发展出来的人工智能要怎样管控，怎样服务人类、造福人类，并且不会造成社会危害，这都是我们的社会要定的标准。

以原子弹为例，科学家研发出链式反应，知道可以释放能量，之后物理学家造出原子弹。但是也有物理学家认为，这是一个可以用来创造能源的方式，之后核能就出来了。所以怎么样能够管控核武器，发挥核能的优势、好处，怎么样让这个新技术、新发展服务造福人类，这是政治家、政府和全社会的问题，我们要事先考虑到这些问题。

脑科学与类脑研究的“一体两翼”

我们近期出现的劳工问题，关于应用能力很强、可以取代劳工的机器人，就光这件事情，我们就需要有相应的对策。社会有



自己调控的能力，我们对人类社会、对自己有信心。我们可以对新科技进行调控，使它多为我们人类造福，而不是造成危害。未来 10 年，我们国家会大力支持脑科学的研究。我们国家正在考虑 2030 创新重大项目，我们称之为脑科学与类脑研究。这个内容的主体是做基础研究，做脑认知功能的神经基础。我们不仅要知

道大脑的神经环路，知道它的功能，也要知道大脑的神经环路是怎么发育出来的。在这个基础研究的主体之外还有“两翼”，我们叫“一体两翼”。我们一边希望能够研发出各种脑机接口，比如说用大脑的信息如何控制机器，如何用机器调控大脑的信息，还希望能够研发出新的计算方法，人工智能里面机器学习的方法是关

键，我们希望能够研发出类似人脑的机器学习的算法，还有各种类似人的神经元、神经网络的器件，各种智能体、机器人等等。另外的“一翼”就是脑疾病，就是基于认知功能基础研究的成果，对很多和认知相关的重大脑疾病，我们可以早期诊断，在还没有发病之前，能够发现有各种指标，及早干预脑疾病的进程。像退行性的疾病，这类病越到后期就越难治，越早发现这个疾病，早期干预是最好的治疗模式。要做这个也需要建立很多关于临床社区的队列，收集人群队列的大数据。所以整个中国的脑计划研究，在这“一翼”的出口就是健康产业，这对于各种医疗器件的产业发展也会有很大的好处。○

来源：中国科学院自动化研究所



建设创新型国家，亟需培养大量创新型专业人才

文 / 中科院自动化所 易建强



人才是创新的根基，是创新的核心要素，创新驱动实质上是人才驱动。

“自改革开放以来，我国已经培养了一大批人才，并在经济社会发展各方面发挥重要作用。但我国是大国，各行各业体量大，且均处于发展上升期，需要大量专业人才，特别是高级专业人才。”全国政协委员、中科院自动化研究所研究员易建强近日接受记者采访时表示，“要实现创新驱动发展战略目标、建成创新型国家，我国还需要培养大量创新型专业人才。”

“研究生教育成为了培养专业人才的主要渠道。”易建强表示，经过四十多年的发展，我国高等教育发生了巨大变化，普通本科和专科教育已经成为通识教育。因此，我国应当继续发展和加强研究生教育事业，为经济社会发展和科技创新输送更多高素质专业人才。

据国家统计局年初公布的《中华人民共和国2019年国民经济和社会发展统计公报》，2019年我国共招收研究生91万余人，其中硕士研究生约82万人、博士

研究生9万余人。2020年扩招后，硕士研究生和博士研究生的招生人数将分别突破100万和10万。

“从数量上看，我国研究生每年招生人数大致与美国持平。但考虑我国人口规模是美国的四倍多，且我国经济社会发展正处于上升期，对人才的需求旺盛，我国研究生招生规模还有很大的发展空间。”易建强说。

同时，随着创新驱动发展战略的深入推进，国家重大专项、重大项目、重点项目等科技项目陆续启动，地方政府也设立了许多科技攻关项目。

“这些科研项目面向世界科技前沿和国家战略需求，需要解决相应的科学问题和开展关键技术攻关，是培养和锻炼青年人才的绝好机会，也是青年人才施展才华的好战场。”易建强说，无论是高校还是科研院所都承担了其中很多科研项目，需要更多的青年人才参与。

如何加大研究生教育力度，易建强建议，将研究生招生指标的决定权下放给各招生单位；改革人才培养机制，将研究生招生指标下放给各招生单位，支持各单位根据自身科研与生活条件确定当年的招收

博士研究生和硕士研究生的计划，并报上级主管部门备案。

同时，设置合理的导师人均每年招生名额上限。如在有充足的科研经费条件下，每位硕士生导师每年可招收硕士研究生不超过3-4名、每位博士生导师每年可招收博士研究生不超过2-3名。

“加强事中事后监管，宽进严出。”易建强表示，为了保证研究生的培养质量，必须加强全方位监管，强化各方责任意识。上级主管部门继续加大对学位论文的抽查，对出现问题的学生、导师、学科、单位采取严格的惩罚措施，如对未达到毕业要求的学生收回其学位证书、对出现问题的导师采取一票否决制取消其招生资格、对出现问题的部门或学科责令停招一年、对出现问题的培养单位进行警告甚至撤销招生资格等。通过从严从重监管各个环节，督促导师和培养单位确实承担起培养合格人才的责任，确保合格的青年专业人才不断从培养单位走向社会。○

来源：中国高新技术产业导报

本期“科普园地”栏目，为大家分享的是复旦大学计算机技术学院张军平教授所写的“读研秘计”系列之“高徒出名师”、“泡泡糖与脱口秀”、“讨论班与综合科研能力”。

张军平，复旦大学计算机科学技术学院，教授、博士生导师，中国自动化学会混合智能专委会副主任。主要研究方向包括人工智能、机器学习、图像处理、生物认证及智能交通。至今发表论文近 100 篇，其中 IEEE Transactions 系列 20 篇，包括 IEEE TPAMI, TNNLS, ToC, TITS, TAC, TIP 等。学术谷歌引用近 3400 次，ESI 高被引一篇，H 指数 29。

出版科普著作《爱犯错的智能体》，曾连续 24 次推荐至科学网头条，曾五次进入京东科普读物新书榜前三名。关于人工智能发展趋势的观点曾被《国家治理》周刊、《瞭望》《科技日报》《中国科学报》等媒体多次报道。



读研秘技七： 高徒出名师

世有伯乐，然后有千里马。千里马常有，而伯乐不常有。

——韩愈《杂说四·马说》

导师有的时候就像伯乐，寻学生就像在耐心地寻找能在导师自己的研究兴趣或方向上施展才能的千里马。

怎么找呢？我这里分享一些经验和体会。

第一个值得考虑的当然是本校

的本科生，毕竟远水不如近邻！

从时间跨度来看，从大一开始寻找是一个值得考虑的选项。尤其对于青年老师来说，这是个能找到本校本专业特别优秀学生的时间节点，因为诸多原因，多数资深教授鲜有机会、也没有时间去接触大一的新生。

如何接触呢，当班导师是一种办法。计算机学科有个 ACM 竞赛，组织编程和有比赛经验的学生参赛，这也是接触、了解和选拔学生的机会之一。我想其他学科也应该有类似的。另一种更

自然的方式是承担本科生课，如基础课程。

我曾经有过讲授大学物理课的经历。由于学院校区搬迁，原来物理系的老师们不愿意跨校区来上课，只好内部挖潜。作为当时的青椒，我也只能硬着头皮接下了组织交待的任务，虽然大学毕业后有近 16 年没接触过物理。为了防止露馅，在备课期间我甚至自学了广义相对论。这情景总让我想起某天我大学同学在市里图书馆自习，偶遇电视台来采访的情景：记者问之在看什么书，

答“广义相对论”。我妈从电视上看到告诉我时，我想当时的记者应该和我一样感受到了强烈的震撼。而现在为了上好大学物理，我把自己也震撼了。更刺激地是，我在课堂上甚至讲过一次黑洞白洞的物理学原理，我估计台下的学生们和台上的我一样，其实都是一头雾水。不过这段经历也给我带来意外的收获，重新打造了甚至拓展了我的物理基础，还有就是遇到了一个好学生。

教大一物理课的期间，一位坐前排的男学生吸引了我的注意力。他特别爱课堂上问问题，角度也很新颖，幸好我是按大于百分之一百二十来准备备课内容的，勉强能够应付他的问题。不过我对他提问的方式印象深刻，觉得有可能适合做研究。教了一段时间课后，我便试探性地问他有没有兴趣参加我研究小组的讨论班。

他来了，不过最开始我们也只是一如平常地听报告，偶尔他也提提问题、做个报告。到学期快结束时，他过来找我，希望能切入实际课题。当时我正想和北京大学袁晓茹老师如何把机器学习和可视化有机结合起来，恰好袁老师办了一期可视化的暑期培训班，我便派他学习去了。开学回来时，他在讨论班给大家回顾了培训班的内容，有个点我觉得很有意思，就是如何将三维的数

据通过二维的方式渲染出来。因为我们小组研究的一个方向，步态识别在当时要么依靠视频数据即三维数据来完成的，要么通过平均获得二维图像来实现。前者耗时长精度高，后者可实时但精度低一些，那么可视化领域的这项技术能否挪过来，在二维模板上保持住三维的时间信息呢？

我只是把这个初步且不成熟的想法分享给他。而后他很快就把这个想法细节化，并实现了。需要注意的是，不要小看这个实现，说起来简单，里面经历了多少的尝试，失败只有个中人的他才能体会。经过 CVPR 的拒稿，然后再根据意见修改，初步的工作发表在 ECCV2010 上，而完整的工作则发表在 2012 年的 *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence* (简称 IEEE TPAMI) 上，一个曾经被计算机学科认为，发表一篇就可以吹一辈子牛的期刊上。几个评审都给予了高度的评价，指出这一工作的思路以前没见过，属于原创性很高的成果。这项工作后来被大坂大学一个专做步态识别的小组，进行了第三方测试，被认为是当时 state-of-the-art 算法排名第三的。而我学生在 TPAMI 发表其工作时，才大三刚结束，他叫王晨。考虑到这类期刊投稿、审稿到接收的时间

一般在一至两年，本科生能在此期刊上发表，绝对是非常罕见的。

这是第一种寻找学生的办法。不管学生以后是否跟你读研，通过本科期间进入实验室、参与讨论班和课题的方式，学生都能尽早获得科学的、系统的从事科学研究的能力。从培养学生的角度来看，这也是值得的。当然，这种方式的不足在于，与研究生相比，本科生的课业压力相对较大，很多情况下，有可能导师花了时间来指导，但不一定能达到期望的目标。

第二种方式则是到研究生选拔时间再选择。这里有三次能找到好学生的时间节点。

第一次，是在暑期的夏令营：好一些的学校，会邀请可能来本校读研以及拟本校直研的学生参加夏令营，让这些学生了解相关专业、实验室及老师情况，以便于选拔优秀研究生。对导师来说，则可以利用实验室介绍和交流环节来吸引与自己研究方向、兴趣一致的学生。

对学生来说，在基于我上一篇讲的寻师技巧的前提下，不妨在此期间开始写信联系导师。不过在邮件联系导师时，务必注意基本的礼貌。如写信的格式，不要英雄不留名字，让老师们看完信也不知道是谁写的；也最好只写给一位老师的，千万不要傻乎乎地群发找导师邮件。那样的话

回信的责任心会被平均到低于阈值，然后会没有一个老师回信。也请耐心等待老师的回复，不要过于着急去问一位老师；也尽量不要用一看就没有诚意的统一模板来写联系信。

第二次，是9月份的推免，这一次将从全国的推免生中筛选符合本校本学科发展的学生，以及对第一次安排还不太满意的进行再次筛选。与第一次只是意向性的双向承诺相比，这一次将最终确定推免生是否来本学院就读研究生。从统计意义来讲，这两次的学生综合能力要相对好一些，因为这些学生都是学院或系根据报名学生的简历及在校期间的GPA（俗称绩点）做了初筛的。简历和绩点能从多个侧面反映学生的能力，包括成绩的稳定性，在某些课程的学习能力。

在这两次选学生的环节，导师也需要谨慎。比如夏令营并非一家开设，有些学生可能同时申

请了多家，因此，他们也在做多项选择，尤其是简历一看就比较优秀的学生，很有可能最终会选择排名更靠前的学校来读书。又比如学生可能也会在专业硕士和科学硕士之间、收费与不收费、有无住宿、学校推荐的研究方向等多因素上进行考虑。在这些情况下，导师和学生事实上都不得不找对自己有利的平衡点，确保不浪费名额和机会。

第三次，是通过全国研究生统考来获得读研资格的机会。一般来说，笔试的内容包括英语、政治和专业课。根据分数分布和拟录取人数比例来划定研究生面试线。然而，需要指出的是，专业课的成绩事实上不太能反映考生的科研能力，尤其是真正读研后，研究生的方向非常细化，往往与专业课基础知识是否扎实没有绝对的关联性。所以，单凭这个分数来筛选的话，有可能挑到高分科研能力差的学生。

作为对比，国外在筛选研究生的笔试环节时，较少采用这样一种能依赖记忆力和刷题方式获得高分的方式。以美国为例，其研究生入学考试，一般是要求GRE分数。该分数体现了学生的英文阅读能力和词汇量、数学基础以及英文文章写作能力。这些能力都能更好地帮助评判考生的科研能力。

既然已经按分数筛选了能进入面试的学生，那如何进一步去选择呢？理论上，面试的老师们需要从基础、综合能力、兴趣爱好、应变能力、心理素质等方面进行全面的评估，同时也应该考核学生在具体研究方向上的科研能力，因为每个人的天赋是不同的，以理工科来说，有些人动手能力强，有些人数学基础好，有些人编程能力强，诸如此类。

但由于面试规则的限制，面试老师又是来自学院的不同方向，有可能无法判断学生的具体科研



能力，也难以根据可能相吻合的导师的研究方向来针对性地提问。另外，多数情况下，每个考生的面试时间只有十五分钟，也极有可能因为第一印象形成的锚定效应导致对学生的错误判断，使得面试成绩好但实际科研能力一般的被选择进来。

要避免这一问题，一方面需要面试的老师有丰富的经验和责任心，另一方面可能需要在录取后进行进一步的筛选和评估。我个人的建议是，不妨请自己小组的研究生和老师一起进行一轮评估，因为他们对研究方向的认识比面试组的导师们更具体，在技术细节上更容易判断学生是否有真材实料，在基础上也更清楚学生的功底。

这样的面试，从理论上讲，应该先于研究生面试前进行，不管是博士还是硕士，才真正从学生和导师双向公平的角度来择优选择学生，且有机会选择到一些分数不太高，但确实有研究天赋

的学生，尤其是那些严重偏科的。毕竟到了研究生阶段，我们更应看重的是科研能力，而非死记硬背的本事。

我这里有个研究生就比较有这样的代表性。他叫田宇坤，英语连六级都没过，不过我一开始就没注意到这个问题。来我这后，主要从事人群计数的研究。在提出一个新的算法并做完实验后，他将论文草稿发给我。当我在电脑上打开论文，才发现他的论文比天书还难看懂，不仅低级错误一大箩，甚至 study 的复数形式都写成 studys，而且语言中也分析不出什么清晰的逻辑，以致于花了很长时间才从一片迷茫中走出来。我甚至有一段时间曾在我的学生群吐槽，说没过大学六级

的学生以后一律不要。不过抱怨归抱怨，论文还是得认真改，毕竟帮学生走完一套完整的研究生流程，论文写作指导是必需的。修改了多少遍不太记得了，学生自己在改的过程中

优化了多少次算法也记不得了，我只记得 2019 年 10 月 22 日，码农节的前两天，这篇论文经过二审后正式被 CCF A 类期刊 *IEEE Transactions on Image Processing* 全文接收。

这件事，也让我在反思，也许我们在选拔人才的时候，没必要要求他有太全面的科研素质，创新能力才是学生最需要体现出来的，不足之处可以通过研究生期间的学习和导师有经验的指导来弥补。

这大概是我觉得可以寻找好学生的一些经验和体会。从我个人来讲，当老师最有成就感的事就是培养一批优秀的毕业生。而寻找到好的学生，那就有了更多在其研究方向上超越导师的可能性，就可以事半功倍，而导师也会因学生的成就顺便“沾沾光”，即所谓的“高徒出名师”。

如果学生选好了，可以说高徒出名师的条件就具备了，那怎么养成呢？下回分解！○

参考文献：

- [1] Chen Wang, Junping Zhang, Liang Wang, Jian Pu, Xiaoru Yuan. Human Identification Using Temporal Information Preserving Gait Template. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, no. 11, pp. 2164–2176, 2012.
- [2] Yukun Tian, Yiming Lei, Junping Zhang, James Z. Wang. PaDNet: Pan-Density Crowd Counting. *IEEE Transactions on Image Processing*, accepted, 2019.

读研秘技八： 泡泡糖与脱口秀

2000年11月左右，在成为中国科学院自动化所博士不久，我在所里东楼二楼，在导师的组内作了第一次报告。记得当时讲的内容是针对聚类——即如何把没有标签的数据按某种规律如分布密度或距离远近来划分成多个类别——作的简要综述。报告的地点是个小会议室，比较拥挤，刚好组内二个博士、三四个研究生加上导师能坐下。也没用电脑，

直接板书讲的。报告完，导师评价说，“讲得不错，有条理”。这给了我莫大的鼓舞，让我自以为以后当老师、上台讲课还是能胜任的。

后来环境有了改善，搬到了临街办公楼的九楼。我们的报告方式也改成了投影仪。记忆犹新的是，每次报告时，投影仪的光柱上都萦绕着导师抽烟留下的尾迹。

2002年第一次跟着导师出远门参加学术会议，即陆汝钤院士在复旦举办的第一届“中国机器学习及其应用研讨会”。临行前，导师叮嘱我：“我给你创造机会，你能不能抓住是你的事”。所以，我非常认真地准备了这次报告。作为在读的博士生，我介绍了我的研究内容“主曲线和流形学习”[1]。当时国内机器学习界对这块内容还非常的陌生，所以，讲完后的反响还不错，同期作报告的北京交通大学于剑老师在报告间隙还大声地和同行们讨论着我分享的一些研究进展。而我在制作幻灯片的时候，演示主曲线如何逼近数据分布中间的gif动画，也让在座的学者们印象深刻，因为其他老师的灯片上都没有。我估计后来能来复旦大学当老师，多少跟我做的这个报告灯片有些关系。

在随后的工作中，指导的学生也不少，越发觉得报告灯片和讨论班这两块在培养学生的表达能力方



图1 中国科学院自动化研究所



图2 历年“中国机器学习及其应用研讨会”情况

面有着重要的作用。这里我先从泡泡糖和脱口秀的角度分享一些报告灯片的经验，希望能对老师和在读的研究生们有所帮助。

一、泡泡糖的技巧

报告灯片的制作有多种，如用微软 Office 的 Powerpoint 制作的 PPT，有些人会用其缩写的谐音戏称之为“泡泡糖”，也有用苹果操作系统自带的 Keynotes，还有数学公式太多时，直接用 Latex 排版软件来做的灯片。经过十来年的版本升级，前两者的动画效果和辅助功能的花样已经是今非昔比，玩得好的做出来的版面绝对相当酷炫。但要用好泡泡糖，除了版面上能做得花哨外，还需要注意，讲报告的一些基本原则。

首先且最重要的，是制作的灯片应该有逻辑性，如果可能的话，最好能形成故事性。比如一

个 45 分钟的、关于人工智能新方法的内容介绍，不妨设计好提纲，给出能吸引人的背景介绍，指出潜在的应用方向，并综述现有工作的成果及其不足，哪些研究团体在做这些研究，再说明新方法解决了哪些不足，如何解决的，效果如何，新方法还存在哪些不足和值得改进的地方。这些都需要在做泡泡糖之前和之中进行仔细规划，才能有好的效果。

其次，应该有自己的观点和见解。好的、不合理的、值得学习的、值得摒弃的，都可以分析讨论。锻炼自己逐渐形成这种思维，是有助于随后的科技论文写作的。在条件许可的情况下，还应该适当设计一些问题，让讨论班的老师同学们进行头脑风暴 (Brain Storm)。通过这样的交互模式，在活跃气氛的同时，说不定还可以找到潜在的研究方向或课题。

另外，还需要注意一些技巧。

首先，是每张幻灯片上需要呈现的内容最好有条理性，简洁明了，不要码一堆字在上面，然后让听众很难在短时间内从幻灯片中提取出关键信息。要解决这个问题，要么对想表达的内容进行提炼，一张幻灯片中分四至五行形成总结性陈述；要么对关键内容描红或设计成能诱发注意力的颜色或字体。

其次，图表公式尽量保证高分辨率，能不拷贝、可以自己重写的就重写。尤其是数学公式，如果拷贝到幻灯片上时，放大后有很明显的马赛克效应，会一定程度地降低听众对报告幻灯片美感的体验，也或多或少说明在准备报告幻灯片时的不认真。

第三，台下十年功，台上十分钟。老师上课的时候，通常讲的内容只是备课内容的一部分，因为需要留出余量来应对学生可能提出的各种问题。概言之，应该以 120% 的比例来准备报告内容。如果纯粹是为了应付，草草地把要报告的文章的内容读出来，那效果就可能是事倍功半。

除此以外，还有一个报告需要注意的环节，就是讲报告中“说”的能力。

二、脱口秀

学术报告多数时候要像正儿八经的报天气预报，需要有它的严谨性，不能讲错，让同行和台

下的听众笑话。但有的时候也可以像脱口秀 (Talk Show), 适当加入些能调动听众情绪的元素, 比如幽默感。这个点在学术会议或未来的工作中作报告时都是有用的。比如学术会议, 通常一天会议听下来, 听众可能已经很难再集中精力听新的内容了, 这时来点比较好玩的段子有利于重新激发听众听报告的兴奋度。还有就是内容的解读, 应该多考虑听众的多样性和接受能力上的差异, 能尽可能通俗的尽量通俗易懂地表达出来。比如在讲到比较难的概念时候, 可以通过比拟的方式来科普。

另外, 声音的强弱、顿挫、快慢、停顿, 对于听报告的人以及对于宣传自己的研究成果来说, 都是很重要的。1) 如果声音太小听众即使竖起耳朵听的话, 还听不清的话, 那显然报告的效果会大打折扣。事实上, 声音的宏亮程度也反映了你对报告的自信和熟悉程度。2) 讲得没有激情, 说话间缺乏强弱之分, 就不容易让听众明晰报告的重点在哪里。3)

讲报告的时候表现出变化的节奏感, 也是一个好的策略。结合强弱变化的变化, 就不容易让听众听得晕晕欲睡。4) 需要有一定的停顿, 因为不是每个听众都对报告者的内容、专业领域非常熟悉, 能够一看就明白。有的时候还是需要点时间反应的。不过近年来有些会议增加的论文 Spotlight 环节, 只给报告者两分钟的时间宣讲自己的工作。一些报告者不得不以说唱 RAP 的语速来介绍, 有些甚至连换气的气口都缩短了, 其实际的宣传效果可能真的会差强人意。当然如果能读出凤凰卫视军情观察室的主持人董嘉耀那样为了烘托军情的急迫, 而采用的极快又扣人心弦的语速, 就另当别论了。

第三, 时间控制问题。我参加过不少学术会议, 发现在控制时间上面, 企业界的总体来说要弱于学校的老师。然而这一点又非常重要, 尤其是现在普遍生活在快节奏的方式, 很多人都得卡时间点。如果时间把控不好, 拖得时间过长的话, 就有可能出现后面的讲者摔话

筒的事。老师由于经常上课, 控制时间的意识很强。而对于学生来说, 讨论班就提供了一个类似的训练。如果学生缺乏这方面的经验的话, 在讨论班开始前或更正式的报告前, 可以卡时间多练习几次, 确保不会超时。

还有一个要注意的是情绪紧张问题。第一次上台作报告的, 在陌生环境或众目睽睽下, 容易产生紧张情绪。我在会议上见过一些上台报告紧张的学生, 讲的时候声音都是发抖的, 也许平时多做些报告能够缓解这种不适心情。

总之, 不管是泡泡糖的制作还是脱口秀的练习, 实际上在读研期间都可以通过营造好的、定期的讨论班氛围来不断改善。那如何营造呢? 下回分解! ○

参考文献:

- [1] 张军平, 王珏. 主曲线研究: 综述. 计算机学报, 26(2): 137-14, 2003.



读研秘技九： 讨论班与综合科研能力

讨论班是研究生期间，每个导师的组内成员最常见的可以共同参与的活动之一。除了能培养制作泡泡糖与脱口秀的能力外，它对于培养学生质疑的能力、处理犯错的能力、泛读文献的能力、头脑风暴和学术争执的能力等也至关重要。

而从老师角度来说，组织讨论班是开展研究、形成科研氛围的必要一步，哪怕再朴实无华且枯燥，这个习惯还是得形成并坚持。

可是这些能力如何在讨论班中得以改善呢？讨论班又如何组织呢？

质疑的能力：在讨论班中应该敢于提问，它是提高学习时商的最佳办法，因为想到的问题可以在讨论班的报告过程中得到解答，就可以较少甚至不用额外花时间去讨论班外找资料寻答案了。

然而这种质疑的能力对多数学生来说，并非生来就有的。尤其是在国内的教育体制下，可能从小到大都不鼓励提问。中小学多数学校都在为高考作准备，为

了能获得高分，提前学也是普遍现象；为了能尽快完成课程教学内容，老师也在赶教学进度。甚至从出生开始就有人在帮小孩计算着离高考还有多少天。虽然是笑话，但它也表明多数人从一开始就在奔跑了，很难有时间停下来或倒着跑一跑。久而久之，学生的好奇心和兴趣多少被磨灭了一些，课堂提问的能力也多多少少丧失了。

而国外比如美国，学生质疑或提问的能力就相对要好一些。记得我2007-2008年在加州大学圣地亚哥访学期间，曾参加过几次讨论班，如计算机视觉领域的青年才俊 Serge Belongie 等开设的计算机视觉讨论班。我发现学生在讨论班里期间，都比较敢问问题，报告的人也乐意回答，而且回答之前都会很礼貌的用类似“good question”的话先恭维下。

敢问问题的能力可能与国外有着不同的教育体制有关，比如美国小学是推行快乐教育，而且

平时的社交活动也比较看重聊天。快乐教育的好处是老师基本不批评学生，只赞美和鼓励，结果学生的自信心容易得到很大程度的满足和加强，便敢于不知天高地厚的去发问，即使问得比较低级也不担心。当然，快乐教育也不是没有弊病，它对基础教育就放得有点过松，以致于很多学生连基本的心算都不会。比如大学考试国内能心算的部分，可能国外的学生必须要带上计算器才能过关。

因此，开设讨论班后，对于国内的导师来说，其中一个重要目的就是帮助学生开启这一能力。考虑到新学生进来时还不太熟悉玩法，也因为彼此还比较陌生，一般不敢问问题，生怕问得太弱智了被大家嘲笑，于是还不如“多一事不如少一事”。

所以，在每学年讨论班开始时，老师和老生的作用在这一块就比较重要。老师和老生们在讨论班时，不妨多顾及新生的这些不足，主动在报告中问些相对简单、基础的概念问题，即使自己

是懂的，也可以有意识地去问。一方面可以让新生意识到不懂也能问，另一方面也可以顺便普及研究小组涉及的基础，帮助学生优化时间，把不懂的知识点在讨论班中消化掉。

处理犯错的能力：除了做泡泡糖，对理工科来说，还有一件事也值得在讨论班上做的，就是在黑板上推公式，因为这样才能更彻底地了解一篇论文中定理定律证明的合理性。另外，和自己一个人私底下推公式还有些不同，它能帮助人提升临场反应的能力。

很多学生怕在大家面前推公式，担心万一推错了或推不下去了，面子上会过不去，下不了台。实际上，人又不是神仙，怎么会不犯错呢？更何况发现错误，才有可能进步。我记得还是在加州大学圣地亚哥分校访学期间，旁听过的一门研究生的统计学习基础课程。听课的人不超过10个人，上课方式很像讨论班。上课老师是Yoav Freund，当年机器学习最火最经典的Adaboost算法的提出者之一。他在课上从博弈的角度解释了他和Schapire提出Adaboost算法的来笼去脉，这倒是我没想到过的，以前还以为是从对错误样本分布的重加权的思路提出的。有一次在课堂上，他讲他已经发表的一篇论文，推公式的时候，台下一黑人同学发现了一个小错误并指了出来。Yoav

仔细看了下，确实是有点问题，不过不影响论文的整体创新性。黑人同学笑着问，是不是可以再发表篇论文。Yoav笑着说，你可以试试。如果没记错的话，后来好像这同学在人工智能相关的UAI会议上拿了个最佳学生论文，而这个讨论班里还有些学生在人工智能相关领域发了不少高档次论文，比如目前已是UCSD的计算机和工程系的副教授Kamalika Chaudhuri。

泛读文献的能力：讨论班也并非只有精读一种形式。尤其是现在论文较多的情况下，除了看网上的推荐论文外，引入类似于英语学习中的泛读非常有必要。泛读的形式不需要像精读那样一次只讲两至三篇，泛读可以一次读个十篇。方式也简单，可以在中午组织下泛读，学生进行快速阅读和报告，比如通过看论文的题目来判断其工作是否具有创新性，推测作者可能的研究思路。通过看摘要来了解其文章的动机、形成最简洁的现状分析和估计作者的创新点在哪里、改进效果如何等等。基于这些点，再通过论文的版面结构来形成相对全面的分析和判断。通过组织泛读形式的讨论班，有助于全方面了解一个领域的发展状况，并锻炼学生思考问题如何解决的能力。

头脑风暴和学术争执的能力：有的时候，一篇报告的论文不见

得会得到大家的一致认可，有可能会形成争执，大家各执己见。不过，这也是必要的。只是把握好度，不涉及人身攻击，有点火药味的争执是有助于把问题进行澄清的。不仅如此，这争执的过程，实际上也就是一种头脑风暴，说不定就从中发现了潜在的创新点和值得去做的研究方向。

组织讨论班：而从老师角度来说，组织讨论班是开展研究、形成科研氛围的必要一步，哪怕再朴实无华且枯燥，这个习惯还是得形成并坚持。

我记得我2003年博士刚毕业来复旦的时候，条件还很艰苦，不管是科研还是生活方面。当时住的是还没装修的著名的筒子楼11舍，住的单间就只是一个房间，没有配套的厨房和卫生间。如果是夫妻的话，很不方便，需要抢时间段去公用厨房做饭。如果是湖南人的话，菜不小心炒辣了，整层楼可能都会弥漫着辛辣的气味。

回到科研上，当时我只是讲师一枚，也没有任何研究生资源。幸运的是，来后不久，南京大学周志华老师就来上海市智能信息处理实验室访问。于是商量了下，便以当时还算热门的流形学习为主题一起组织了一个讨论班，学生主要是通过日月光华BBS发帖从全校招募的。虽然人不多，一起组织的时间也不长，好歹开张了，我们才有了最初的科研合作

成果。时间一晃近 17 年了，从最初的以本科生为主，到后来硕士生为主，再到现在博士硕士为讨论班的主力军，讨论班基本上一一直稳定地在继续着，也为我的研究小组形成了良好的科研氛围打下了好的基础。

这里还需要提醒的一点是，学生也应该要有自我管理讨论班

的习惯和能力。尤其在导师学术活动繁忙，或有事需要出外访学进修的时候，讨论班也不应该断掉。我在 2014 年到 2015 年期间曾经去美国宾夕法尼亚州立大学访学一年，但讨论班并没有因此终止。学生还在很自律的继续着，不管是精读还是泛读。而我只要网络能正常访问的情况下，也会

通过网络来远程听讨论班的报告或参与讨论。

总之，讨论班是科研中非常必要的一环，它对培养学生在研究生期间的综合科研能力有着重要的功能。但要打造好一个好的讨论班，需要老师和学生的精心准备和相互配合以及充分的重视和坚持。○

喜 报



在第四个“全国科技工作者日”来临之际，中国科协发布关于通报表扬年度科协系统优秀组织和个人的函，表扬宣传 50 家优秀抗疫学会、19 家优秀扶贫学会、10 支优秀科技志愿服务队、10 名优秀科技志愿者、28 名优秀基层科协“三长”。其中，中国自动化学会入选“优秀扶贫学会”名单。

基于“教育与国运相牵，人才同国脉相连”的认知，中国自动化学会积极响应习近平总书记精准扶贫号召，组建工作组开启教育精准扶贫，普及智能科技，于 2017 年底开始，逐步在云南、贵州、甘肃、陕西等贫困地区的 10 所学校建立了智航助学助教基地，专项为勤奋读书但家庭贫困的学生设立助学金；为教学优秀的老师和学生设立优秀老师与优秀学生奖励资金；同时，为开拓贫困地区学生视野、培养学生的创新精神和实践能力，建立 iSTREAM 智航教育实验室开展智能基础教育。

此次荣获“优秀扶贫学会”称号，既是对学会以往精准扶贫工作的肯定，更是学会未来发展前行的动力。

中国自动化学会科技专家服务团 组织召开中广核工程有限公司专场科技成果视频鉴定会

4月24日,中国自动化学会“新一代信息技术科技专家服务团”组织专家以视频形式召开中广核工程有限公司专场成果鉴定会。鉴定委员会由原国家自然科学基金委员会信息科学部处长、中国自动化学会会士、中国自动化学会副理事长王成红教授担任主任委员,教育部“长江学者奖励计划”赵勇教授担任副主任委员。来自上海交通大学、山东大学、中国铁道科学研究院、中广核研究院有限公司、中广核核电运营有限公司等多家单位相关领域的专家担任委员。

根据会议议程,本着科学、独立、客观、公正的原则,鉴定委员会先后听取了《核电厂多模态人机交互系统研究与应用》等4项科技成果汇报,认真审查成果的科技创新报告、知识产权、成果应用证明客观评价等材料。经过对成果内容的质询、汇报人答疑及讨论等环节,委员会认为该批次科研成果特色较为鲜明,紧贴工程实际需求,实现技术突破,总体性能及技术水平达到国内领先水平、部分指标达到国际先进水平,具有良好的推广应用前景,



同意通过鉴定。

本次科技成果鉴定服务是在疫情防控常态化形势下,旨在全面落实中国科协关于科技经济融合工作整体部署,全面构建区域覆盖、产业覆盖、组织覆盖科技经济融合工作新体系,建立科技经济融合常态化对接服务机制的具体实践。学会自3月初组织成立“新一代信息

技术科技专家服务团”以来,截至目前,已经先后与衡水市政府、温州市科协及企业签订战略合作协议,组织成立产业协同创新联合体。下一步,学会将继续开展“新一代信息技术科技专家服务团”服务地方工作,重点围绕机器人、智能制造、智能车、数字孪生技术等领域,开展关键技术瓶颈协同攻关,提供智力支持;建立产学研合作平台,产出高质量科技成果;组织开展科技成果推介、科技培训专家行等系列科技活动,为地方引智引才。○

学会秘书处 供稿



三学会联合召开“疫情下的生物信息学”线上学术研讨会

5月5日，由中国人工智能学会、中国生物工程学会、中国自动化学会联合主办的“疫情下的生物信息学”学术研讨会，在腾讯会议平台线上召开。本次会议由清华大学张学工教授发起，中国人工智能学会生物信息学与人工生命专委会、中国生物工程学会计算生物学与生物信息学专委会、中国自动化学会智能健康与生物信息专委会（筹）与清华大学北京信息国家研究中心、华中科技大学生命科学与技术学院共同承办。来自全国45所高等院校和科研院所的一百多位生物信息学领域的专家学者参加了会议，中国人工智能学会理事长、清华北京信息国家研究中心主任戴琼海院士出席了会议，国家自然科

学基金委信息学部张兆田主任、生命学部谷瑞升副主任以及两个学部的潘庆处长、宋朝晖处长和王璞玥处长应邀参加了会议，张兆田、谷瑞升在会议结束时作了总结讲话。

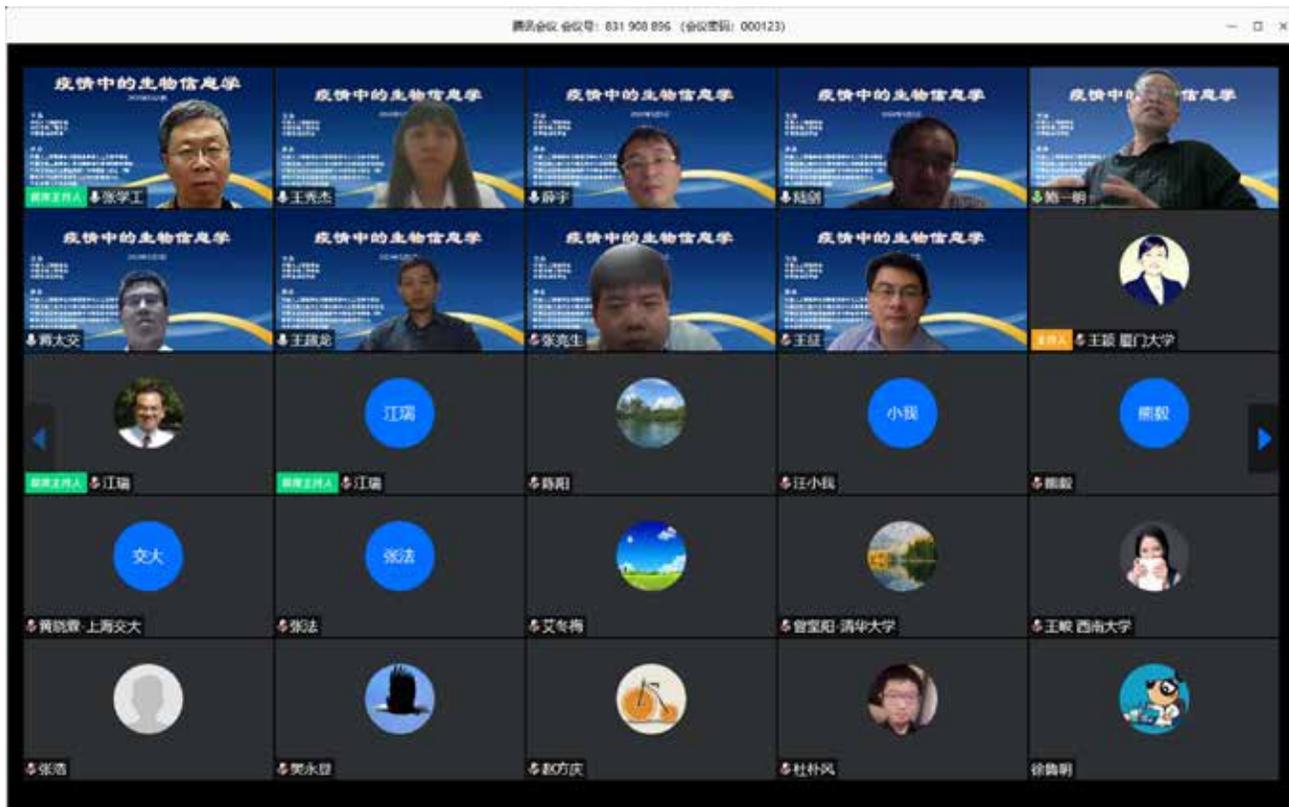
新冠肺炎疫情期间，我国生物信息学领域的广大学者做了大量有意义的工作。“疫情下的生物信息学”线上学术研讨会，会议主题是“探讨科学问题、思考学科使命”，旨在交流我国生物信息学者在新冠疫情下的代表性研究，研讨生物信息学相关的科学问题和学科发展使命。

会议邀请中国科学院北京基因组研究所的章张研究员、中国科学院上海巴斯德研究所的郝沛研究员、清华大学曾坚阳副教授和王光

宇博士作学术报告。他们分别报告了国家生物信息中心新冠病毒信息库的构建、新冠病毒基因组分析、针对新冠肺炎老药新用的机器学习探索和新冠肺炎临床诊断中的AI影响分析等被国内外同行高度认可的代表性研究成果，分析了研究遇到的问题和挑战。参会同行们围绕报告进行深入、热烈的讨论。

学术报告后，张学工主持了专题论坛讨论，八位论坛嘉宾结合疫情背景对当前和今后生物信息学的重要研究方向和问题发表见解。来自抗击疫情一线的华中科技大学附属协和医院主任医师王征教授从临床角度提出：从“防”的角度如疫情预判和评价、病毒变异/重组、靶点快速筛查以及自动化预警平台，到“治”的角度如疾病快速分拣/诊断、个性化治疗、病毒的致病机制等，都是生物信息学可以发挥重要作用的问题。华中科技大学薛宇教授、中科院北京基因组所/国家生物信息中心鲍一明研究员提出并讨论了生物数据安全、分级和管理机制的重要性，并倡导重视数据基础性、系统性的资源建立与管





理工作。中科院遗传与发育生物学研究所王秀杰研究员呼吁建立高效科研供需沟通平台，对接研究供给方与临床、政府的需求方，促进科学界更高效地在国家重大事件中发挥作用。北京大学陆剑教授、华中科技大学王超龙教授、医科院系统医学中心蒋太交研究员和浙江大学张亮生教授针对生物信息学对于防止新冠疫情反复、防控将来可能出现的其他新病毒疫情的可能贡献进行了讨论，虽然短期来看公共卫生防控措施能有效地控制疫情，但从长期来看，在疫情全球蔓延、人类可能与病毒长期共存的情况下，生物信息学应该抓紧当前宝贵时间，与其

他学科相结合，对疾病机理和人群差异等进行深入地研究，为将来的防控和诊治提供充分的科学依据。张学工教授对论坛发言进行了总结，认为生物信息学家在这次疫情中表现出了很强的专业责任感，为疫情科研作出了重要贡献，同时疫情研究也凸显了生物信息学中基础性方法性研究的重要性。

张兆田、谷瑞升和戴琼海都高度评价了此次会议的意义和作用，指出，生物信息学是生物问题驱动的方法学研究，具有重要的意义，将推动生命科学研究范式的改变；生物信息工作者在特别的时代，面临新的挑战，所建立的经得起时间检验的方法、模

型、工具将为国家作出贡献。

此次会议也是第一次三个全国学会组织跨学科联合研讨会，张学工作为相关专委会的主任和常务副主任发起，组委会成员包括中国人工智能学会生物信息学与人工生命专委会副主任汪小我（清华大学）、秘书长王颖（厦门大学），中国生物工程学会计算生物学与生物信息学专委会副主任薛宇（华中科技大学）、副秘书长赵方庆（中科院北京生科院），中国自动化学会智能健康与生物信息专委会筹备工作小组成员江瑞（清华大学）、古瑾（清华大学）。○

智能健康与生物信息专委会（筹）
供稿

贡献科技智慧 促进成果转化

——杜彦良院士团队受邀莅临深圳自动化学会，与会员企业交流研讨

5月15日，“面向人流聚集场所的多人多参量公共卫生健康监测与报警系统主题研讨会”在深圳自动化学会会议室成功举办，中国工程院杜彦良院士团队、广东院士联合会卢育辉秘书长一行及深圳自动化学会会员企业代表等共20多人，就面向人流聚集场所的多人多参量公共卫生健康监测与报警系统共同探讨交流，拟构建面向社区/小区和工作单位室外出入口、面向商厦和车站/地铁站等室内人流聚集场所的多人多参量公共卫生健康监测、预警、及智能分析系统，为提升我国公共卫生健康管理体系的长期治理能力奠定基础。

研讨会由深圳自动化学会主临宁会长主持，主会长提到本次研讨会重在技术交流和成果分享，未来深圳自动化学会也会组织更多的活动，与院士团队深入接触和深度合作，促进科技成果转化。

广东院士联合会卢育辉秘书长在发言中也表示重点推动科技成果落地，发挥院士团队科研优势与企业成果转化的共同合作。

杜彦良院士在听取了自动化学会会员代表的简短介绍后发言。作为全国人大代表的杜院士首先提到，党的十九大两届政府工作报告非常重要地提出，推动国家科技创新体系的落脚点，是以企业为中心，联合科研院所形成主体，同时为推动主体发展，国家加强加大对企业科技创新的支持。杜院士也介绍了院士团队在轨道交通行业所取得的成果，长期从事交通工程领域健康监测与安全评估研究，提出了“监测-评估-预警-修复”一体化的状态监测与安全防护框架，开展了复杂环境下重要基础设施（大型铁路桥

梁、多年冻土路基、长大隧道及施工装备等）状态监测与安全防护的理论研究、技术创新和应用推广。并就公共卫生长期治理，如疫情防控、垃圾处理装备等，采用现代先进的传感测试技术、大数据分析 & 数据融合技术，进行重要基础设施多维智能监/检测、健康状态评估与参会代表分享。

基于以上先进技术可投射应用到背景相对简单的公共卫生基层防控领域，以此坚实的研究基础，院士团队解决公共卫生健康监测与综合分析方面的技术难题。就当前新冠肺炎疫情下如何通过安全、健康、环境因素的跟踪监



深圳自动化学会主临宁会长主持会议



杜彦良院士讲话

测和人工智能数据挖掘方法服务于公共卫生健康管理体的智慧感知、报警、综合评估。杜院士团队成员——深圳大学王俊芳博士作主题分享。

在听取王博士分享之后，会员企业代表与院士团队成员进行了交流探讨。焦点一：红外无感监测设备存在的技术问题，需要结合测得的环境参数研发自适应校准/补偿机制，解决红外测温仪的室外体测温不准问题。通过温度监测信号与

视频监控信号相结合构造或挖掘出增强的特征，辅以个人信息库，提高多人戴口罩走动通过时人脸识别/身份识别的准确率。

焦点二：目前监测设备属于单参量/少参量监测，如何包含多元环境参数在内的多参量监测与综合分析，基于常态化/长期综合监测，实现包含典型环境参数的多参量（如典型易爆/有毒/有害污染物参数）综合分析和基于深度分析的新关联/模式/特征/规

律识别有待进一步研发与合作。

就数据融合、智能评估的重要性，深圳市博铭维系统工程有限公司副总经理兼总工肖芬在交流中提出，技术难点主要在于佩戴口罩的人脸识别的准确率及参比数据库的整合力度，采用最新的AI技术检测捕捉图片中的人脸并标记出人脸坐标，支持同时识别多张人脸，并融合公安、医院、三大运营商基础数据库进行大数据比对分析，对身份异常、相关过往经历异常、发热和环境参数超标等状态异常进行及时警示。其他企业代表也就智慧城市建设工程实施中的体会与参会者分享和探讨。

受时间影响，这是一场意犹未尽但非常成功的研讨会，企业代表与院士团队成员纷纷表示，感谢深圳自动化学会、广东院士联合会共同举办本次研讨会，双方均有意向将会深度交流与合作，进一步探讨科技成果转化。学会领导高度重视产学研合作，主会长在会前、会后都与杜院士团队进行深入交流，积极推动合作，学会也将在深圳科协的指导下，开展多样化的科技交流活动，促进科研机构与企业之间的对接，提升学会的组织力、学术力、转化力、传播力，推动各高校、科研院所的科技成果在深圳及全国各地进行落地孵化。○



会后大合影

深圳自动化学会 供稿

成都自动化研究会举办工业机器人专场研讨会

5月19日下午，2020年工业机器人专场研讨会在成都哈工大机器人科技产业园成功举办。会议由成都自动化研究会、成都市机器人产业技术创新联盟、成都市智能制造产业生态圈联盟与成都经开区新经济和科技局联合主办，哈工大机器人成都有限公司承办，来自成都、重庆、绵阳等地的工业机器人研发制造知名企业100余名科技人员参加。

研讨会上，成都伊贝基科技有限公司、成都瑞迪机械科技有限公司、重庆智源机器人产业生态研究院、成都三译智能技术有

限公司、成都华聚科技有限公司、四川福德机器人股份有限公司、成都环龙汽车设备有限公司、四川成焊宝玛焊接装备工程有限公司等8家公司分别就编码器、高端装备核心部件、协作机器人、工业机器人、高端自动化设备、汽车焊装、汽车车身柔性化制造、集成应用等方面进行分享交流，集中展示了企业的最新科研成果、应用产品与解决方案。研讨会以技术端、应用端、产业端为牵引，搭建了川渝地区机器人产业链上下游企业间交流与合作平台，推动了成都智造自主品牌应用及机

器人领域的技术创新、技术应用及产业发展。

研讨会是“菁蓉汇·校企双进·科学家进园区”活动之一，也是科技赋能疫情防控，助力企业复工复产的重要举措。学会联盟近期还将开展特种机器人应用专场、商用机器人专场、教育机器人专场等系列研讨活动，共同推动成都机器人产业生态圈及创新生态链的建设。○

成都自动化研究会 供稿



研讨会现场

中国科协 2020 年服务科技经济融合发展行动方案

为贯彻落实党中央、国务院决策部署，充分发挥科协系统人才智力和组织网络优势，服务企业复工达产、培育经济新增长点、壮大发展新动能，中国科协组织实施 2020 年服务科技经济融合发展行动。

一、总体要求

坚持以习近平总书记关于统筹推进疫情防控和经济社会发展工作的重要讲话精神为指引，以促进科技经济深度融合为目标，会地合作、上下联动，资源整合、重心下移，以地级市为重点，汇聚国内外创新资源，激发创新创业活力，促进数字经济与实体经济融合发展，推动城镇化与乡村振兴协调共进，助力地方经济社会高质量发展。

二、工作目标

按照合作发展、开放协同的原则，打造“科创中国”服务品牌，开通科技经济融通平台，组织百个“科技服务团”“科技服务队”，与地方共建百座技术创新

枢纽城市，组织千家学会深入万家企业开展科技志愿服务，举办千场人才技术培训，组织百场国际技术贸易活动和百场科技决策咨询活动，把创新要素引向国内、引向基层、引向企业，帮助地方提升产业竞争力和技术创新力，拓展高质量发展新空间。

三、重点任务

1. 打造“科创中国”科技经济融通平台。联合各类创新主体，共建共享集政产学研用金于一体、创新要素供需双方直接对接的网络服务平台，汇聚海内外创新资源和中小企业技术需求，积累形成开放式、演进型“问题库”“成果库”“人才库”。与地方政府合作，遴选若干重点产业，组织开展“技术路演”，构建线上线下渠道融通的创新创业生态系统，促进优质技术项目转移和成果转化。

2. 共建“科创中国”创新枢纽城市。与地方政府合作，共建百座创新要素供需对接枢纽城市，推动创新资源聚汇。在京津冀、长三角、粤港澳等重点区域共建

技术交易服务中心，发展国际技术交易联盟，打造适应科技与产业加速变革的技术交易服务网络。支持地市创新和科普资源下沉，探索科技志愿服务与党群服务中心、新时代文明实践中心融合机制，建设新时代“科技工作者之家”，践行科技为民，推动科技、人才“上山下乡”，助力脱贫攻坚和乡村振兴。

3. 推动“科创中国”科技志愿服务。全国学会组建国家级“科技服务团”，省级科协组建区域性“科技服务队”，各类企业和科技园区科协组建行业型“技术经理人团队”，围绕地方产业发展和企业需求开展科技志愿服务。在 15 个左右省（区、市）开展需求调研，遴选 10 个左右重点领域，面向百座地级市，组织千家学会深入万家企业，年底前实现对重点区域、重点产业服务全覆盖。

4. 组织“科创中国”人才技术培训。全国学会、省级科协围绕数字经济与实体经济融合发展和国家城镇化战略，服务地方

引才引智引技。针对产业数字化、数字产业化和新型基础设施建设中的关键核心技术问题，组织开展学术交流，提供解决方案；开展先进适用技术培训，推动群众性技术创新；支持创新团队与企业共建专家工作站，开展订单式服务。发挥顶尖科学家论坛、青年科学家峰会、创新创业成果交易会等品牌活动的示范作用，举办千场人才培训和技术推广活动。

5. 集聚“科创中国”海外智力创新创业。结合地市需求，新建一批海智基地和海外人才离岸创新创业基地。建立面向全球的“技贸通”国际技术交易促进协作机制，吸纳各地优秀技术转移服务机构、国际技术转移经理人，构建以城市为载体的国际技术交易服务“微循环”体系。开展“海外人才中国行”活动，支持国内企业与海外创新团队共建科研工作站。组织百场国际技术贸易和交流互动，吸引千家海外机构、万名海外人才参与。

6. 开展“科创中国”科技决策咨询。聚焦数字经济发展，建立企业需求常态化调查机制，开展技术预见，研判关键技术路线和产业创新方向，为新型基础设施建设、产业升级和结构优化提供决策参考。聚焦城镇化发展对科技和公共治理带来的机遇和挑战，围绕科技服务民生、科技助力城市建设和乡村振兴开展决策咨询。组织百场服务地方创新发展的建言献策活动。

四、进度安排

4月上旬，印发通知。4月底，遴选首批试点地市。5月，启动试点工作。10月底，交流首批试点经验，启动第二批试点工作。12月底，开展试点工作总结，制定明年工作计划。

五、实施保障

——加强组织领导。中国科协成立领导小组，办公室设在学会学术部。全国学会成立专项工

作组，组建科技服务团，下沉服务地市。省级科协会同有关地市成立协调机构，协同推进工作。

——深化会地合作。中国科协与相关省（区、市）签订会省（区、市）合作协议。省级科协加强统筹，推进协议落地实施。以地级市为中心，创新合作模式，努力形成长效机制。

——坚持试点先行。会同相关省（区、市）党委政府，按照省级为统筹、地市为重心原则，选择一批试点城市，开展重点产业供需对接服务，探索因地、因产、因企制宜的服务模式和运行方式。

——强化过程管理。中国科协设立专项经费支持平台建设、科技服务团活动等“科创中国”品牌建设，实施项目化管理、工程化推进。加强节点控制和绩效考核，强化闭环管理，确保项目执行效果。○

来源：中国科协



2020年“全国科技工作者日”致辞

文 / 中国科协主席 万钢；党组书记 怀进鹏

今天，我们迎来了第四个“全国科技工作者日”。我们谨代表中国科学技术协会，向广大科技工作者致以诚挚问候和良好祝愿！

党的十八大以来，广大科技工作者以习近平新时代中国特色社会主义思想为指引，在建设创新型国家征程中创新争先，为经济社会高质量发展作出突出贡献。在疫情防控人民战争、总体战、阻击战中，科技发挥了重要支撑作用。我们谨向广大科技工作者致以崇高敬意！

“全国科技工作者日”前夕，习近平总书记通过给25位科技界代表回信，高度赞誉科技工作者矢志报国的情怀，充分肯定科技支撑疫情防控的成绩，充分体现了党中央对科技事业的高度重视、对科技工作者的关心关爱。我们要牢记嘱托、不负使命，在新时代创新创造中奋斗建功。

当前，世界正处于百年未有

之大变局，并与中华民族伟大复兴的战略全局形成历史交汇，科技革命与产业变革浪潮涌动。面对国际形势风云变幻，广大科技工作者更加深刻领会到“创新是引领发展的第一动力，科技是战胜困难的有力武器”，更加深刻认识到加快产学研深度融合、壮大新增长点、培育发展新动能的重要性紧迫性，进一步增强了以开放合作应对全球挑战、推动构建人类命运共同体的责任感使命感。

希望广大科技工作者弘扬优良传统，矢志报国为民。弘扬爱国、创新、求实、奉献、协同、育人的新时代科学家精神，坚持报国为民奋斗担当，以爱国之志点燃创造激情，把报国之情转化为创造之为。

希望广大科技工作者坚定创新自信，勇攀科技高峰。坚持自主创新，坚定敢为天下先的志向，充分发挥新型举国体制的优势，着力突破关键核心技术瓶颈。坚

持开放创新，深度参与全球科技治理，以科技支撑人类命运共同体建设。

希望广大科技工作者推进协同创新，服务高质量发展。抢抓科技革命和产业变革机遇，推动产学研深度融合，加速科技成果向现实生产力转化，为实现“六稳”“六保”作贡献。服务发展新基建、新技术、新材料、新装备、新产品、新业态，培育更具活力的创业主体，奋力创造新时代科技创业的中国质量。

砥砺奋进新征程，凝心聚力再出发。让我们更加紧密地团结在以习近平同志为核心的党中央周围，增强“四个意识”、坚定“四个自信”、做到“两个维护”，以科技助力在危机中育新机、于变局中开新局，为建设世界科技强国、实现中华民族伟大复兴的中国梦作出更大贡献。○

来源：中国科协

北京市加快新型基础设施建设行动方案 (2020-2022)

一、基本目标和原则

聚焦“新网络、新要素、新生态、新平台、新应用、新安全”六大方向，到2022年，本市基本建成具备网络基础稳固、数据智能融合、产业生态完善、平台创新活跃、应用智慧丰富、安全可靠可控等特征，具有国际领先水平的新型基础设施，对提高城市科技创新活力、经济发展质量、公共服务水平、社会治理能力形成强有力支撑。整体建设遵循以下原则。

——政府引导、市场运作。加强统筹规划，加大政策保障，优化营商环境，发挥社会投资主体作用，推动形成多元化参与的政企协同机制。

——场景驱动、建用协同。以应用为牵引，聚焦民生服务和产业发展需求，不断拓展智慧城市创新应用场景，促进新型基础设施建设与应用融合发展。

——夯实基础、培育生态。充分发挥集约化、智能化建设优

势，夯实基础支撑能力。加快推动传统产业转型和新业态发展，构建高精尖的产业链生态系统。

——安全可控、创新发展。鼓励协同创新，完善标准规范，从管理和技术两方面着手，全面提升新型基础设施体系安全水平。充分发挥创新共性平台的基础支撑作用。

二、重点任务

(一) 建设新型网络基础设施

1. 5G网络。扩大5G建站规模，加大5G基站选址、用电等支持力度，2020年实现5G基站新增1.3万个，累计超过3万个，实现五环内和北京城市副中心室外连续覆盖，五环外重点区域、典型应用场景精准覆盖。加速推进5G独立组网核心网建设和商用。加强5G专网基础设施建设，在特殊场景、特定领域鼓励社会资本参与5G专网投资建设和运营。深入推进“一五五一”工程，推动5G+VR/AR虚拟购物、5G+直播、5G+电竞等系列应用场景建

设，推进冬奥赛事场馆5G改造，丰富“5G+”垂直行业应用场景。支持5G射频芯片及器件检测与可靠性平台、5G+AIoT器件开放创新平台、5G+超高清制播分发平台等一批产业创新平台建设，着力构建5G产业链协同创新体系，培育一批5G细分领域龙头企业。（责任单位：市通信管理局、市规划自然资源委、市住房城乡建设委、市城市管理委、市发展改革委、市经济和信息化局、市委宣传部、市科委、中关村管委会、北京冬奥组委相关部门、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

2. 千兆固网。积极推进千兆固网接入网络建设，以光联万物的愿景实现“百千万”目标，即具备用户体验过百兆，家庭接入超千兆，企业商用达万兆的网络能力。推进网络、应用、终端全面支持IPv6，推动3D影视、超高清视频、网络游戏、VR、AR等高带宽内容发展，建设千兆固网智慧家居集成应用示范小区，促进千兆固网应用落地，力争

2020年新增5万户千兆用户。(责任单位:市通信管理局、市委网信办、市经济和信息化局、市住房城乡建设委、市委宣传部、北京经济技术开发区管委会、各区政府)

3. 卫星互联网。推动卫星互联网技术创新、生态构建、运营服务、应用开发等,推进央企和北京创新型企业协同发展,探索财政支持发射保险补贴政策,围绕星箭总装集成、核心部件制造等环节,构建覆盖火箭、卫星、地面终端、应用服务的商业航天产业生态,优化和稳定“南箭北星”空间布局。(责任单位:市经济和信息化局、市发展改革委、市科委、市财政局、北京经济技术开发区管委会、丰台区政府、海淀区政府、石景山区政府)

4. 车联网。加快建设可以支持高级别自动驾驶(L4级别以上)运行的高可靠、低时延专用网络,加快实施自动驾驶示范区车路协同信息化设施建设改造。搭建边缘云、区域云与中心云三级架构的云控平台,支持高级别自动驾驶实时协同感知与控制,服务区级交通管理调度,支持智能交通管控、路政、消防等区域级公共服务。三年内铺设网联道路300公里,建设超过300平方公里示范区。以高级别自动驾驶环境建设为先导,打造国内领先的智能网联汽车创新链和产业链,逐步

形成以智慧物流和智慧出行为主要应用场景的产业集群。(责任单位:北京经济技术开发区管委会、市经济和信息化局、市交通委、市公安局公安交通管理局、市科委、市通信管理局、市规划自然资源委)

5. 工业互联网。加快国家工业互联网大数据中心、工业互联网标识解析国家顶级节点(北京)建设,开展工业大数据分级分类应用试点,支持在半导体、汽车、航空等行业累计建设20个以上标识解析二级节点。推动人工智能、5G等新一代信息技术和机器人等高端装备与工业互联网融合应用,培育20个以上具有全国影响力的系统解决方案提供商,打造20家左右的智能制造标杆工厂,形成服务京津冀、辐射全国产业转型升级的工业互联网赋能体系。营造产业集聚生态,加快中关村工业互联网产业园及先导园建设,创建国家级工业互联网示范基地。(责任单位:市经济和信息化局、市发展改革委、市通信管理局、中关村管委会、北京经济技术开发区管委会、各区政府)

6. 政务专网。提升政务专网覆盖和承载能力。以集约、开放、稳定、安全为前提,通过对现有资源的扩充增强、优化升级,建成技术先进、互联互通、安全稳定的电子政务城域网络,全面支持IPv6协议。充分利用政务光

缆网和政务外网传输网资源,为高清视频会议和高清图像监控等流媒体业务提供高速可靠的专用传输通道,确保通信质量。完善1.4G专网覆盖,提高宽带数字集群服务能力。(责任单位:市经济和信息化局、市发展改革委、市财政局、市委机要局、北京经济技术开发区管委会、各区政府)

(二) 建设数据智能基础设施

7. 新型数据中心。遵循总量控制,聚焦质量提升,推进数据中心从存储型到计算型的供给侧结构性改革。加强存量数据中心绿色化改造,鼓励数据中心企业高端替换、增减挂钩、重组整合,促进存量的小规模、低效率的分散数据中心向集约化、高效率转变。着力加强网络建设,推进网络高带宽、低时延、高可靠化提升。(责任单位:市经济和信息化局、市发展改革委、市通信管理局)

8. 云边端设施。推进数据中心从“云+端”集中式架构向“云+边+端”分布式架构演变。探索推进氢燃料电池、液体冷却等绿色先进技术在特定边缘数据中心试点应用,加快形成技术超前、规模适度的边缘计算节点布局。研究制定边缘计算数据中心建设规范和规划,推动云边端设施协同健康有序发展。(责任单位:市经济和信息化局、市发展改革委、市通信管理局)

9. 大数据平台。落实大数据行动计划，强化以“筑基”为核心的大数据平台顶层设计，加强高价值社会数据的“统采共用、分采统用”，探索数据互换、合作开发等多种合作模式，推动政务数据、社会数据的汇聚融合治理，构建北京城市大脑应用体系。编制完善公共数据目录，统一数据接入规范标准，完善目录区块链的运行和审核机制，推进多层级政务数据、社会数据的共享开放。加强城市码、“健康宝”、电子签章、数据分析与可视化、多方安全计算、移动公共服务等共性组件的集约化建设，为各部门提供基础算力、共性组件、共享数据等一体化资源能力服务，持续向各区以及街道、乡镇等基层单位赋能，逐步将大数据平台支撑能力向下延伸。建设完善统一的公共数据资源开放平台，汇聚并无条件开放政务、交通、城市治理等领域数据 3000 项以上，支撑交通、教育、医疗、金融、能源、工业、电信以及城市运行等重点行业开展大数据及人工智能应用。建设北京公共数据开放创新应用基地，通过训练、竞赛等形式有条件开放高价值多模态融合数据。（责任单位：市经济和信息化局、市委编办、市发展改革委、市财政局、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

10. 人工智能基础设施。支持

“算力、算法、算量”基础设施建设，支持建设北京人工智能超高速计算中心，打造智慧城市数据底座。推进高端智能芯片及产品的研发与产业化，形成超高速计算能力。加强深度学习框架与算法平台的研发、开源与应用，发展人工智能操作系统。支持建设高效智能的规模化柔性数据生产服务平台，推动建设各重点行业人工智能数据集 1000 项以上，形成智能高效的数据生产与资源服务中心。（责任单位：市经济和信息化局、市科委、中关村管委会、海淀区政府）

11. 区块链服务平台。培育区块链技术龙头企业、骨干企业，形成研发创新及产业应用高地。建设北京市区块链重点企业名单库，做好服务和技术推广。建设政务区块链支撑服务平台，面向全市各部门提供“统管共用”的区块链应用支撑服务。围绕民生服务、公共安全、社会信用等重点领域，探索运用区块链技术提升行业数据交易、监管安全以及融合应用效果。结合自由贸易试验区建设，支持开展电子商务、电子交易以及跨境数字贸易的区块链应用，提高各类交易和数据流通的安全可信度。（责任单位：市科委、中关村管委会、市经济和信息化局、市发展改革委、市政务服务局）

12. 数据交易设施。研究盘活

数据资产的机制，推动多模态数据汇聚融合，构建符合国家法律法规要求的数据分级体系，探索数据确权、价值评估、安全交易的方式路径。推进建立数据特区和数据专区，建设数据交易平台，探索数据使用权、融合结果、多方安全计算、有序分级开放等新交易的方法和模式，率先在中国国际服务贸易交易会上开展试点示范。（责任单位：市经济和信息化局、市金融监管局）

（三）建设生态系统基础设施

13. 共性支撑软件。打造高可用、高性能操作系统，从技术、应用、用户三方面着手，形成完备的产业链和生态系统。支持建设数据库用户生态，推动数据库底层关键技术突破。支持设计仿真、EDA、CAE 等工业领域关键工具型软件开发，培育多个保障产业链安全的拳头产品。加强高端 ERP、运维保障等管理运营类软件产品研发，优化大型企业智能化办公流程。布局面向金融、电信等行业领域的云计算软件，支撑超大规模集群应用，发展地理信息系统等行业特色软件，加快短视频、直播、在线教育、线上医疗等互联网新业态应用产品研发，培育数字经济增长动能。（责任单位：市经济和信息化局、市科委、中关村管委会、北京经济技术开发区管委会）

14. 科学仪器。聚焦高通量扫

描电镜、高分辨荧光显微成像显微镜、质谱色谱联用仪、分子泵等科学仪器短板领域，发挥怀柔科学城大科学装置平台优势和企业创新主体作用，攻克一批材料、工艺、可靠性等基础前沿、共性关键技术，突破核心器件瓶颈。推进高端分析仪器、电子测量仪器与云计算、大数据等新一代信息技术融合发展。聚焦分析仪器、环境监测仪器、物性测试仪器等细分领域，支持发展一批隐形冠军和专精特新企业，优化科学仪器产业生态。（责任单位：怀柔科学城管委会、市发展改革委、市科委、市经济和信息化局）

15. 中试服务生态。发挥产业集群的空间集聚优势和产业生态优势，在生物医药、电子信息、智能装备、新材料等中试依赖度高的领域推动科技成果系统化、配套化和工程化研究开发，鼓励聚焦主导产业，建设共享产线等新型中试服务平台，构建共享制造业态。依托重点科研机构、高等学校、科技型企业、科技开发实体面向产业提供中试服务，推动在京各类创新载体提升中试服务能力，构建大网络、多平台的中试服务生态。（责任单位：中关村管委会、市科委、市发展改革委、市教委、市经济和信息化局）

16. 共享开源平台。依托信创园，提升研发底层软硬件协同研发能力，建设“两中心三平台”

信创应用生态。支持搭建支持多端多平台部署的大规模开源训练平台和高性能推理引擎，形成面向产业应用、覆盖多领域的工业级开源模型库。鼓励企业研发、运营源代码托管平台，支持基于共享平台开展共享软件、智能算法、工业控制、网络安全等应用创新，促进形成协同研发和快速迭代创新生态。推动国家北斗创新应用综合示范区建设，打造“北斗+”融合应用生态圈。（责任单位：市经济和信息化局、市科委、中关村管委会、北京经济技术开发区管委会、海淀区政府、顺义区政府）

17. 产业园区生态。以市场为导向，夯实园区发展基础。鼓励园区建设优化协同创新服务设施，为园区企业提供全方位、多领域、高质量的服务。围绕信创、5G+8K、工业互联网、网络安全、智能制造等重点行业领域，建设一批特色鲜明的产业园区。推进京津冀产业链协同发展，支持产业园区合作共建。加强国际交流合作，高水平规划建设产业合作园区。（责任单位：中关村管委会、市发展改革委、市科委、市经济和信息化局）

（四）建设科创平台基础设施

18. 重大科技基础设施。以国家实验室、怀柔综合性国家科学中心建设为牵引，打造多领域、多类型、协同联动的重大科技基

础设施集群。加强在京已运行重大科技基础设施统筹，加快高能同步辐射光源、综合极端条件实验设施、地球系统数值模拟装置、多模态跨尺度生物医学成像设施、空间环境地基综合模拟装置、转化医学研究设施等项目建设运行。聚焦材料、能源、生命科学等重点领域，积极争取“十四五”重大科技基础设施项目落地实施。（责任单位：市发展改革委、市科委、怀柔科学城管委会）

19. 前沿科学研究平台。突出前沿引领、交叉融合，打造与重大科技基础设施协同创新的研究平台体系，推动材料基因组研究平台、清洁能源材料测试诊断与研发平台、先进光源技术研发与测试平台等首批交叉研究平台和中科院“十三五”科教基础设施建设。围绕脑科学、量子科学、人工智能等前沿领域，加快推动北京量子信息科学研究院、北京脑科学与类脑研究中心、北京智源人工智能研究院、北京应用数学研究院等新型研发机构建设。（责任单位：市发展改革委、市科委、中关村科学城管委会、怀柔科学城管委会）

20. 产业创新共性平台。打造梯次布局、高效协作的产业创新平台体系。在集成电路、生物安全等领域积极创建1-2家国家产业创新中心，在集成电路、氢能、

智能制造等领域探索组建 1-2 家国家级制造业创新中心，积极谋划创建京津冀国家技术创新中心。继续推动完善市级产业创新中心、工程研究中心、企业技术中心、高精尖产业协同创新平台等布局。（责任单位：市发展改革委、市经济和信息化局、市科委、中关村管委会、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

21. 成果转化促进平台。支持一批创业孵化、技术研发、中试试验、转移转化、检验检测等公共支撑服务平台建设。推动孵化器改革完善提升，加强评估和引导。支持新型研发机构、重点实验室、工程技术中心等多种形式创新机构加强关键核心技术攻关。培育一批协会、联盟型促进机构，服务促进先进制造业集群发展。（责任单位：市科委、市发展改革委、市经济和信息化局、中关村管委会、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

（五）建设智慧应用基础设施

22. 智慧政务应用。深化政务服务“一网通办”改革，升级一体化在线政务服务平台，优化统一申办受理，推动线上政务服务全程电子化。2020 年底前市级 80%、区级 70% 依申请政务服务事项实现全程网上办结。建设完善电子证照、电子印章、电子档案系统，支持企业电子印章推广使用，拓展“亮证”应用场

景，最大限度实现企业和市民办事“无纸化”。加快公共信用信息服务平台升级改造，推动信用承诺与容缺受理、分级分类监管应用。拓展“北京通”APP 服务广度深度，大力推进政务服务事项的掌上办、自助办、智能办。依托市民服务热线数据，加强人工智能、大数据、区块链等技术在“接诉即办”中的应用，建设在线客服与导办、办事管家、用户个人空间及全市“好差评”等系统。加快建设北京城市副中心智能政务服务大厅。建设城市大脑，形成“用数据说话、用数据决策、用数据管理、用数据创新”的服务管理机制。（责任单位：市政务服务局、市公安局、市经济和信息化局、市发展改革委、市财政局、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

23. 智慧城市应用。聚焦交通、环境、安全等场景，提高城市智能感知能力和运行保障水平。实施智慧交通提升行动计划，开展交通设施改造升级，构建先进的交通信息基础设施。2020 年内推进 1148 处智能化灯控路口、2851 处信号灯升级改造，开展 100 处重要路口交通信号灯配时优化，组织实施 10 条道路信号灯绿波带建设，到 2022 年实现城区重点路口全覆盖。推进人、车、桩、网协调发展，制定充电桩优化布局方案，增加老旧小区、交通枢

纽等区域充电桩建设数量。到 2022 年新建不少于 5 万个电动汽车充电桩，建设 100 个左右换电站。建立机动车和非道路移动机械排放污染防治数据信息传输系统及动态共享数据库。建设“一库一图一网一端”的城市管理综合执法平台，实现市区街三级执法联动。完善城市视频监控体系，提高视频监控覆盖率及智能巡检能力。加快建设智能场馆、智能冬奥村、“一个 APP”等示范项目，打造“科技冬奥”。加快推动冬奥云转播中心建设，促进 8K 超高清在冬奥会及测试赛上的应用。（责任单位：市交通委、市生态环境局、市公安局、市城市管理委、北京冬奥组委相关部门、市经济和信息化局、市科委、市发展改革委、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

24. 智慧民生应用。聚焦医疗卫生、文化教育、社区服务等民生领域，扩大便民服务智能终端覆盖范围。支持智能停车、智慧门禁、智慧养老等智慧社区应用和平台建设。建设全市互联网医疗服务和监管体系，推动从网上医疗咨询向互联网医院升级，开展可穿戴等新型医疗设备的应用。进一步扩大电子健康病历共享范围，推动医学检验项目、医学影像检查和影像资料互认。建设完善连通各级医疗卫生机构的“疫情数据报送系统”。支持线上

线下智慧剧院建设，提升优秀文化作品的传播能力。支持教育机构开展云直播、云课堂等在线教育。推进“VR全景智慧旅游地图”“一键游北京”等智慧旅游项目，鼓励景区推出云游览、云观赏服务。基于第三代社保卡发放民生卡，并逐步实现多卡整合，推进“健康宝”深度应用。建设全市生活必需品监测体系。（责任单位：市民政局、市卫生健康委、市医保局、市市场监管局、市教委、市文化和旅游局、市委网信办、市经济和信息化局、市科委、市商务局、市人力资源社会保障局、市发展改革委、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

25. 智慧产业应用。推动“互联网+”物流创新工程，推进现代流通供应链建设，鼓励企业加大5G、人工智能等技术在商贸物流设施的应用，支持相关信息化配套设施建设，发展共同配送、无接触配送等末端配送新模式。建设金融公共数据专区，支持首贷中心、续贷中心、确权融资中心建设运行。支持建设车桩一体化平台，实现用户、车辆、运维的动态全局最佳匹配。打造国内领先的氢燃料电池汽车产业试点示范城市。推进制造业企业智能升级，支持建设智能产线、智能车间、智能工厂。探索建设高精尖产业服务平台，提供运行监测、政策咨询、规划评估、要素对接

的精准服务。（责任单位：市商务局、市发展改革委、市科委、市财政局、市金融监管局、市经济和信息化局、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

26. 传统基础设施赋能。加快公路、铁路、轨道交通、航空、电网、水务等传统基建数字化改造和智慧化升级，助推京津冀基础设施互联互通。开展前瞻性技术研究，加快创新场景应用落地，率先推动移动互联网、物联网、人工智能等新兴技术与传统基建运营实景的跨界融合，形成全智慧型的基建应用生态链，打造传统基建数字化全国标杆示范。着力打造传统基建数字化的智慧平台，充分发挥数据支撑和能力扩展作用，实现传统基建业务供需精准对接、要素高质量重组和多元主体融通创新，为行业上下游企业创造更大发展机遇和更广阔市场空间。（责任单位：市发展改革委、市交通委、市科委、市经济和信息化局、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

27. 中小企业赋能。落实国家“上云用数赋智”行动，支持互联网平台型龙头企业延伸服务链条，搭建教育、医疗、餐饮、零售、制造、文化、商务、家政服务等行业细分行业云。建设一批细分行业互联网平台和垂直电商平台，培育一批面向中小企业的数字化服务商。鼓励各类专业服务机构企

业上云，支持中小企业服务平台和双创基地的智能化改造，打造中小企业数字赋能生态。（责任单位：市经济和信息化局、市发展改革委）

（六）建设可信安全基础设施

28. 基础安全能力设施。促进网络安全产业集聚发展，培育一批拥有网络安全核心技术和服务能力的优质企业。支持操作系统安全、新一代身份认证、终端安全接入、智能病毒防护、密码、态势感知等新型产品服务的研发和产业化，建立完善可信安全防护基础技术产品体系，形成覆盖终端、用户、网络、云、数据、应用的多层级纵深防御、安全威胁精准识别和高效联动的安全服务能力。（责任单位：市经济和信息化局、市委网信办、市科委、海淀区政府、通州区政府、北京经济技术开发区管委会）

29. 行业应用安全设施。支持开展5G、物联网、工业互联网、云化大数据等场景应用的安全设施改造提升，围绕物联网、工业控制、智能交通、电子商务等场景，将网络安全能力融合到业务中形成部署灵活、功能自适应、云边端协同的内生安全体系。鼓励企业深耕场景安全，形成个性化安全服务能力，培育一批细分领域安全应用服务特色企业。（责任单位：市委网信办、市经济和信息化局、市科委）

30. **新型安全服务平台**。综合利用人工智能、大数据、云计算、IoT 智能感知、区块链、软件定义安全、安全虚拟化等新技术，推进新型基础设施安全态势感知和风险评估体系建设，整合形成统一的新型安全服务平台。支持建设集网络安全态势感知、风险评估、通报预警、应急处置和联动指挥为一体的新型网络安全运营服务平台。（责任单位：市委网信办、市经济和信息化局、市科委）

三、保障措施

（一）强化要素保障

加大信贷优惠支持力度，发挥财政资金、基金引导作用，积极争取利用不动产投资信托基金，支持各类市场主体参与建设。加强对全市重大新基建项目土地指

标的保障。重点引进培育规划建设、投资运营等方面的行业管理人才以及引领新基建技术研发的技术领军人才。（责任单位：市发展改革委、市财政局、市金融监管局、市规划自然资源委、市人才局）

（二）完善标准规范

围绕技术研发、工程实施、维护管理等，支持研究建立企业、行业标准，推动地方标准上升为国家标准，促进新型基础设施的互通、融合，提高产业核心竞争力。（责任单位：市市场监管局、市经济和信息化局、市发展改革委）

（三）丰富应用场景

聚焦“互联网+”教育、医疗、交通、社区服务等行业领域，加快推出一批示范工程。围绕教

育、医疗、交通等重点行业领域，组织创新应用大赛，推动公共数据有序开放。支持制造企业开展智能化改造，组织开展中小企业数字化赋能。发展数字经济新业态新模式，扩大新消费。（责任单位：市科委、中关村管委会、市发展改革委、市经济和信息化局、北京经济技术开发区管委会、各区政府）

（四）优化营商环境

深入推进重要领域和关键环节改革，提升服务企业水平。放宽市场准入，实行包容审慎监管，探索适用于新业态新模式的“沙箱监管”措施。（责任单位：市发展改革委、市市场监管局、市通信管理局、市委网信办）○

来源：北京日报

