



焦李成，西安电子科技大学教授、博士生导师，吴文俊人工智能杰出贡献奖获得者，全国模范教师。任西安电子科技大学计算机科学与技术学部主任、人工智能研究院院长、智能感知与图像理解教育部重点实验室主任、智能感知与计算国际联合研究中心主任等多个职务，教育部科技委学部委员、教育部创新团队首席专家、中国人工智能学会第六—七届副理事长、第八届全国人大代表。主要研究方向为智能感知与计算、图像理解与目标识别、深度学习与类脑计算。

## 量子学习感知与优化的挑战与思考

焦李成

现在量子和人工智能一样，已变成了国家的战略。按照习近平总书记“四个面向”的要求，我们也需要在国际的前沿领域去学习和做一些工作。现有硬件的发展有局限性。其中量子计算是采用不同的计算模式的一种途径，量子科技的发展是和量子力学计算机、信息论，包括密码等的发展分不开的。

“量子霸权”是指某些特定的问题上量子计算机的计算能力超越了经典计算机，这涉及到芯片、控制、软件，包括云服务等多方面。不仅要存得大、算得快，更重要的是能够容错。量子理论的发展经过了百年多的历史，从马斯克·普朗克提出“量子理论”之后，经历了100多年。量子计算机的发展有40多年的历史，1980年就提出了“量子图灵计算机”的概念；1981年有学者提出了“量子计算机基本模型”；2009年，谷歌利用量子计算进行图像搜索研究。量子计算的发展历程很长，尤其在2020年量子硬件技术、量子计算方面都有了长足的进展。所以，量子也成为各国争夺的制高点。美国也在人工智能和量子技术领域不断加强投入，制定了相应的法案，包括国家量子计划法案，旨在加强量子计算在全球的竞争力。习近平总书记指出，我们要深刻认识推进量子科技发展的重大意义，加强量子科技发展战略布局和谋划。在国家中长期中间，量子计算被列为四个重大研究计划之一。

从我个人的理解来讲，不仅是量子表征信息的叠加、相干、纠缠；换句话说，对非线性信息的表征；另外就是它的定性、容错和指数的生长，这是量子计算技术能与其他方法互补发展的重要因素之一。所以有可能提供新的计算途径。量子的科学问题表现出相干、纠缠、叠加，包括不可克隆等性质，我们希望能够在量子态的空间（包括Hilbert空间）去表征、定义，包括它的完备性证明。下面提及的仅是量子的一个方面——量子的智能计算，以及我们多年来做的一些工作，包括量子进化、量化机器学习、量子深度学习和量子图像处理。

传统的算法面临的问题从学习的角度来看，主要是海量、不完全数据、NP-Hard问题。利用量子提高性能有几个思路，从达尔文发展到拉马克和班德文与达尔文相结合，从简单的竞争希望能够达到协同，从简单的记忆希望能够加上遗忘的特性。希望能够利用量子的并行，来发展和创新数字经济与人工智能，来优化方法。海量数据中，用传统的基于自然梯度的算法存在的有效性问题的，包括它的NP-Hard的问题、学习能力问题、结构逼近的问题，也是量子学习的办法和量子并行优化的方法应用于海量的数据挖掘（包括复杂影像处理）的基本问题。量子计算具有叠加、相干、纠缠、并行的特性，但是能否利用这些特性找到好的表征办法，以及并行容错加速的计算办法，是需要解决的首要问题。

量子智能算法发展经过了很长的历程，量子是1980年被提出来的，量子算法20世纪90年代初就有了。90年代量子的大数分解算法，以及到1996年的量子搜索算法，我们在2000年之前提出了量子进化的算法，到后来把量子用在了聚类、退火、进化聚类、粒子群、免疫、多目标优化、图像分割、社区检测，量子的量子小波变换，到现在的量子神经网络；在这个领域我们研究了20多年，工作包括各种量子算法、量子检测算法、量子函数优化算法的提出、量子图像的处理等。在改进学习和认知性能的道路，我们一直在探索。同时，把量子免疫结合起来，提出了量子免疫计算的算法。这个工作在国际上是第一个提出来的，给出了相应的算法，把免疫的容错和量子的并行结合起来，不仅理论上证明了收敛性，还在应用中得到了好的结果。我们把量子免疫用在了多目标的学习上，更重要的是在不同尺度上实现了竞争与协同的有机结合，并用于解决大规模的组合优化问题以及聚类问题，实现了自动聚类。我们可以在10万级和百万级相应的数据上，得到了目前国际上最好的结果。我们把量子自动化的方法用在图像处理上，这在解决先验信息缺乏、计算量庞大、自适应性弱和抗噪能力差的问题中得到了很好的效果；同时，用在了网络架构搜索以及图像检测等方面；另外在量子神经网络电路设计方面也做了相应工作，实现了量子的剪辑和加速；在量子智能优化与学习、量子并行网络结构优化以及量子智能高性能计算平台上做了一些工作，但这只是万里长征的第一步，量子与人工智能的结合刚刚开始，量子的应用也刚刚开始，“量子科学+X”如何去实现0到1的创新，还需要好好地去谋划。

毛主席在延安时，他的初心、使命、担当、谋划、责任，是在极端艰苦环境下做出来的；今天习近平总书记给我们提出的“四个面向”，发展量子技术和人工智能等。我们要坚持“四个面向”，发展量子科技和人工智能，同样要服务国家大局、服务西部大开发、服务国家战略；既要培养人才，更要勇闯无人区，敢做领头雁，做一些扎实的工作，而不是浮在表面上。