

吴文俊与 北京大学信息科学中心

■ 封举富 查红彬

吴文俊先生所开创的数学机械化不仅给数学领域带来了新思想，而且对信息科学技术领域的发展产生了深远的影响。尤其是对于图像分析与理解、计算机视觉、人工智能等方向的研究而言，数学机械化方法提供了崭新的基础理论与技术思路，具有重要的指导意义。早在1988年，人工智能领域的权威期刊《*Artificial Intelligence*》就出版了以吴方法为主题的专辑，集中介绍了吴方法在图像特征解释、几何推理、几何重建和路径规划等的应用实例，对吴方法在人工智能、计算机视觉以及机器人等领域的贡献给予了极高的评价。以机器感知作为主要研究方向的北京大学信息科学中心自建立以来就在吴先生和北京大学程民德先生、石青云院士的指导下，开展了以数学机械化方法为指导的科研工作，取得了一系列成果。

北京大学信息科学中心是1985年成立的以信息科学前沿领域创新研究为宗旨的多学科交叉研究中心。长期以来，信息科学中心在机器视觉、机器听觉、智能信息处理和感知心理生理基础等方面开展基础研究和应用基础研究，可以说从中心建立时就与吴先生和吴方法有了不解之缘。但是，吴先生与北京大学相关学科的渊源可以追溯到更久之前。

1951年8月，吴先生回国后就在北京大学数学系任教授。上世纪七十年代，吴先生开始定理机械化研究，开创了全新的研究方向，并取得了举世瞩目的成果。1988年1月，北京大学程民德先生主持了“七五”数学重大项目“现代数学中若干基本问题的研究”，吴先生领导的“机器证明”成为其中一部分。1990年8月，数学机械化研究中心成立，吴先生任中心主任，程民德先生任中心学术委员会主任。随后，吴先生与程先生一起组织申请了“八五”攀登项目“机器证明及其应用”。项目验收后，又顺利进入“九五”攀登预选项目。

在此过程中，1990年北大的相关人员首先运用吴方法研究了二次曲面的三维形态推理问题。该项工作有条件地运用吴方法来解决高次曲面情况下的立体形态感知问题，使三维视觉研究进入了新的阶段。

1998年春，由程民德先生提议，开始了973项目“数学机械化和自动推理平台”的申请，并指导北京大学石青云院士领导的课题组参加。程民德先生认识到数学机械化研究的深刻性和重要性，他是数学机械化研究的组织者和支持者，即使在重病中也时刻关心着数学机械化研究的进展和项目的申请工作。1998年11月，程民德先生不幸病逝。吴先生痛失挚友，称“程先生是这些项目的灵魂”。

1998年石青云院士负责973项目的课题“信息安全、传输与可靠性研究”，为将吴方法和具体的应用结合起来进行了富有成效的探索。小波变换自提出以来，在信号处理、图像和视频压缩等方面应用广泛，但是如何构造合适的小波一直是研究的重要课题。石青云院士领导的课题组提出了基于代数方法的双正交小波的构造和优选方法，

把小波构造归结为高次方程组的求解，并利用吴方法来解决。给出了9/7双正交小波滤波器带有两个自由参数的显式表达和利用提升进行整数实现的显表达，并且找到了一种较广泛接受的Daubechies 9/7双正交小波滤波器。另外，在可逆线性变换的整数实现方面，理论上证明了任意可逆线性变换是可以整数实现的，并首次给出了一个充分必要条件和整数实现的具体方法和步骤，进一步发展了矩阵分解理论及其快速分解算法。线性变换整数可逆实现方法并在DCT、KL变换和颜色空间变换等的整数实现中得到很好的应用，尤其是在新的图像压缩国际标准JPEG2000中的应用——多成分整数可逆变换的技术已被新的图像压缩国际标准JPEG2000采纳，进入了2002年的国际标准JPEG2000第二部分的最终文本中。

在2004年启动的新一轮973项目“数学机械化及其在信息技术中的应用”（首席科学家：高小山研究员）中，以北大信息科学中心科研人员为主承担了“数学机械化在生物特征识别中的应用”的课题研究。在课题执行过程中，我们取得了以下成果：

1. 针对图像识别中的高维数据—低维特征描述问题，提出了一种基于黎曼流形学习的降维方法，将图像高维数据的降维问题转化为对光滑流形建立局部坐标卡的数学问题，对于高维离散数据，实现了建立黎曼坐标卡的高效算法。解决了离散数据点的邻域估计问题、内蕴维数的估计问题和流形上任意两点间精确测地线的计算问题。成果可用于数据的降维、有监督分类、无监督聚类、半监督学习以及回归等。
2. 提出了图像欧氏距离(IMED)测度，并对其特性进行了系统深入的分析。证明了线性时不变图像滤波器和图像距离之间的等价性。IMED具有的特点包括：单调性：图像距离随形变程度连续变化；不变性：对两幅图像进行同一线性变换（平移、旋转和反射）时，图像的IMED距离不变。该距离适用

于任何大小及分辨率的图像。IMED 可以嵌入径向基函数支撑向量机 SVM、人脸识别系统中的 Eigenface 方法和 Bayes 相似度人脸识别算法等。

3. 提出了一种基于图像几何特征的线性标定方法，其计算效率比已有非线性方法提高了一个数量级。该成果以射影几何理论为基础，发现了基于球图像和绝对二次曲线的像之间新的几何关系。
4. 在语音信号处理与语音特征识别研究方面，提出了基于听觉感知模型的新方法，在与认知科学交叉方面进行了卓有成效的探索。
5. 在指纹、人脸和掌纹识别的算法研究方面提出了多项创新性成果，解决了现有生物特征识别系统中几何形变等关键问题，有效地改善了系统的鲁棒性。

这些工作都是在数学机械化思想和方法的指导下完成的。同时我们还充分认识到今后我们还可以在以下方面进行进一步的探索：模式识别的许多问题都必须转化为优化问题，而大多是通过建立大规模联立方程组求解的。运用数学机械化思想能够更好地适应现有计算机系统内在的计算有限性和离散性，可以开发更加高效的实现算法。同时，模式识别与机器学习中许多问题的核心是如何从数据中抽取符号特征，利用这些技术可以为海量数据提供层次性的符号表达，以促进数学机械化方法在实际感知与计算问题中的应用。

总之，我们的工作证明了数学机械化在图像分析与理解、计算机视觉、人工智能等方面所起到的指导性作用，今后这种作用还将愈加明显。我们将进一步加强与数学机械化理论和方法的交叉融合，以期取得更好的科研成果。

(作者均为北京大学信息科学中心教授)