

二、信息与电子工程领域

1 工程研究热点及工程研究焦点解读

1.1 工程研究热点发展态势

信息与电子工程领域组所研判的 Top10 工程研究热点汇总见表 1.1.1，涉及电子科学与技术、光学工程与技术、仪器科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与技术等学科方向。其中，“多目标跟踪技术”“神经网络特性与分析/神经网络建模与模糊逻辑”“鲁棒自适应边界控制”“超宽带缝隙天线”“动态网络可视化”“全局优化算法”“多准则决策分析”“可逆信息隐藏方案”“高效用项目集挖掘算法”“光学相干弹性成像”是传统研究的深入。

各个热点所涉及的核心论文从 2011 年至 2016 年的逐年发表情况见表 1.1.2，其中，“神经网络特性与分析/神经网络建模与模糊逻辑”是近年来核心论文发表数目增速最显著的热点。

(1) 多目标跟踪技术

多目标跟踪技术，就是指对图像序列中的目标进行多检测、提取、识别和跟踪，通过获得目标的运动参数，如位置、速度以及运动轨迹，从而使人们更好地理解 and 描述目标的行为。多目标跟踪技术是近些年新兴起的科学技术，它涉及随机统计、数学优化、图像处理、模式识别、人工智能、自动控制等多种学科，是当今国际上研究的热门方向。从各个国家在该领域的发展过程不难看出，多目标跟踪技术大量应用在军事领域，特别是应用在机载侦查和远程预警方面。

多目标跟踪算法的主要难点是数据关联问题，分为背景的复杂性、多目标比例变化、目标颜色与背景颜色的相似程度、背景的稳定程度、多目标的交互等几个方面。当前目标跟踪技术中存在的难题主要包括遮挡问题、目标数目的随机性、背景复杂、实时性要求高等。目前，常见的目标跟踪方法有很多，跟踪方法概括为相关跟踪方法、基于模型的跟

表 1.1.1 信息与电子工程领域 Top10 工程研究热点

序号	工程研究热点	核心论文数	被引频次	篇均被引频次	平均出版年	常被引论文占比	专利引用篇数
1	多目标跟踪技术	48	1974	41.13	2012.63	8.3%	0
2	动态网络可视化	47	1089	23.17	2012.36	4.3%	0
3	神经网络特性与分析/神经网络建模与模糊逻辑	91	2856	31.38	2013.08	20.9%	1
4	全局优化算法	47	2061	43.85	2013.02	14.9%	0
5	鲁棒自适应边界控制	50	1961	39.22	2013.86	26.0%	0
6	多准则决策分析	48	1615	33.65	2013.75	27.1%	0
7	可逆信息隐藏方案	46	1879	40.85	2013.43	23.9%	1
8	高效用项目集挖掘算法	48	971	20.23	2014.02	6.3%	0
9	光学相干弹性成像	45	1485	33.00	2013.33	17.8%	0
10	超宽带缝隙天线	47	1281	27.26	2013.72	6.4%	0

表 1.1.2 信息与电子工程领域 Top10 工程研究热点逐年核心论文发表数

序号	工程研究热点	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	多目标跟踪技术	12	13	7	13	3	0
2	动态网络可视化	17	9	9	11	1	0
3	神经网络特性与分析 / 神经网络建模与模糊逻辑	25	17	12	9	19	9
4	全局优化算法	7	10	10	15	5	0
5	鲁棒自适应边界控制	6	5	10	7	13	9
6	多准则决策分析	11	4	4	6	13	10
7	可逆信息隐藏方案	4	8	13	9	9	3
8	高效用项目集挖掘算法	1	5	7	18	13	4
9	光学相干弹性成像	5	8	10	14	5	3
10	超宽带缝隙天线	2	10	7	11	14	3

踪方法、基于特征的跟踪方法等。多目标跟踪技术是计算机科学、机器视觉、图像处理、人工智能、模式识别等多学科的结合，是一个尚在发展的研究方向，还有很多技术难点有待解决。通过对多目标的难点及其相关方法的分析，可将多目标跟踪技术未来的发展方向分为目标建模、数据关联、多传感器多目标跟踪、模式识别等。

目前，国外的研究重点已从单探测器多目标跟踪技术的研究转入多探测器多目标跟踪技术的研究。随着目标机动性能的提高和多目标跟踪技术使用环境的变化，对机动目标跟踪算法的研究再次成为重点。此外，使用人工神经网络实现多目标跟踪技术的研究成为当前多目标跟踪技术研究的另一个热门。由于人工智能神经网络潜在的自组织和自学习能力，必将为多目标跟踪技术开辟更加广阔的前景。

近 30 多年来，人们对多目标跟踪技术进行了研究，并形成了一套完整的理论，某些关键技术在实际应用中正趋于完善。多目标跟踪技术在民用和国防领域均具有广泛的应用前景，通过多目标跟踪系统可扩展原探测器的性能，达到提高工作效率、降低成本、保障安全等目的。开发多目标跟踪技术潜含着巨大的经济效益和社会效益。

(2) 全局优化算法

传统优化方法容易陷入局部搜索而得到局部最优解，全局优化算法主要是研究多变量非线性函数在某个约束区域上的全局最优解的特性和构造寻求全局最优解的计算方法。从优化目标上，分为单目标、多目标和分层多目标优化问题；从数据类型上，分为离散型、连续性和混合型优化问题。

一个全局优化问题中往往存在多个局部最优解，因此经典的优化方法很难求解这些问题，尤其是大数据环境下局部最优解也可能是海量的，为全局最优解的搜索带来了挑战。特别是有效的全局性判定准则至今尚未形成，多个局部最优解之间很难评价相互的优劣性，使得全局优化目标难以统一。全局优化问题广泛存在于数据挖掘、图像处理、机器学习、人工智能等各个领域，针对不同的数据特征和目标存在不同的全局最优算法。

全局优化算法一般分为两个步骤：一是实现从一个局部最优解跳到另一个局部最优解，其主要确定性方法（如区间方法、填充函数法、罚函数法、积分水平集法、外逼近方法、原始对偶方法等）和随机类方法（随投点方法、遗传算法、深度学习方法、演化策略方法）；二是判定当前的局部最优解是否为全局最优，凸性、单调性、等度连续性、稠

密性、Lipschitz 常数、水平集、支配度等通常作为全局性的解析性质。

(3) 鲁棒自适应边界控制

鲁棒自适应控制是指对那些存在不定性的系统进行控制。鲁棒自适应控制有着广泛的应用，如机器人、飞行器控制等领域。鲁棒自适应边界控制包括鲁棒自适应边界控制、边界控制匹配干扰、鲁棒自适应边界控制、非线性自抗扰控制、自适应边界控制、滑模边界控制等。

大量自然系统与工业过程具有时空联合演化的特征，需要采用分布参数系统进行数学建模。在测量过程中，传感器难以接触内部（如极端工作条件，温度计无法深入到高温区域，仪器无法插入活体生物组织），需要通过非接触式或者边界测量来获取部分系统信息，然后通过信息反演的手段来估计全局信息（如层析）。同样，针对控制问题，由于系统设计的原因，作动器件也难以引入到系统内部，只能通过边界进行外部干预（如弹性结构、管道等边界控制），因此需要研究基于边界的控制和测量问题。此外，对于大型系统，需要研究各个子系统连接边界的匹配和耦合问题以及协同控制问题等。此外，在抗干扰控制方面，需要使得受控系统具有自适应、鲁棒特征，同时需要考虑系统的非线性和强耦合难题。以上是边界测量与控制的理论研究范畴，更加重要的是需要考虑大量实际工程问题中涌现的具有挑战性的工程问题，积极运用边界测量和控制的理论手段来寻求解决方案，如具有极端工作条件的发动机燃烧主动控制、飞行器结构弹性振动控制、复杂流体控制、大型复杂网络的边界与 Pinning 控制、生物组织及极端条件的边界测量与反演及边界调控等问题。

(4) 多准则决策分析

多准则决策（multiple criteria decision making, MCDM）是指在互相冲突、不可共度（non-commensurable）的有限（无限）方法集中进行决策，是分析决策理论的重要内容之一。多准则决策

的起源可以追溯到 1896 年 Pareto 提出的 Pareto 最优概念，其作为规范决策方法引入决策领域则是在 20 世纪 60 年代，主要基于 Roy 提出的 ELECTRE 方法。多准则决策根据决策方案是有限还是无限，可以分为多属性决策（multiple attribute decision making, MADM）与多目标决策（multi-objective decision-making method, MODM）两大类。多准则决策目前的一个自然思路是把各个属性的效用合并起来，先形成总的效用，其次在方案之间进行排序。由于各个属性间的不可公度性，效用不能直接相加。当前效用合并的规则和程序是由下而上、分类逐层进行，最后得到可行方案的总效用值。此外，1965 年 Zadeh 提出了模糊集理论，1970 年 Bellman 和 Zadeh 将模糊集理论引入多准则决策，提出了模糊多准则决策分析（fuzzy multi-criteria decision making, FMCDM）的概念和模型，用于解决实际决策中的不确定性问题，也成为当前多准则决策领域研究的一个热点方向。

(5) 可逆信息隐藏方案

可逆信息隐藏是在隐密载体中，不仅能够正确提取信息，而且还能够无损地恢复原始载体的信息隐藏技术。关键技术是构造一种可逆的数学变换，产生尽可能大的冗余空间来隐藏信息。同时采用数学逆变换将隐密载体无失真地恢复为原始载体，选择的数学变换需要平衡扩容与降质之间的关系。可逆信息隐藏主要应用于隐蔽通信、版权保护和内容完整性认证中。

可逆信息隐藏可分为单像素隐藏、像素组隐藏、空间域隐藏、变换域隐藏、均匀隐藏和分区隐藏几种。可逆信息隐藏方法主要有基于无损压缩、差值扩展、直方图平移等方法，这些方法力求在容量、安全和视觉效果等方面达到较好的平衡。目前像素组隐藏、分区隐藏和差值扩展等的研究较热。像素组隐藏通过多个像素组成像素组共同隐藏一组数据，提高嵌入率和安全性；分区隐藏是将隐密载体分成不同的区域，在不同的区域隐藏不同容量的秘

密信息，达到提高隐密载体整体隐藏能力的目的；差值扩展通过计算图像相邻像素对间的差值和平均值，并对差值进行修改，用需要嵌入的隐密信息的数据扩展其差值，利用扩展的差值计算出新的像素对，实现隐密信息的隐藏。

可逆信息隐藏研究一方面是信息隐藏；另一方面是抗攻击，即攻击者破坏原始载体信息或将隐藏信息提取出来，其抗攻击能力需要借助其他信息加密方法一起来提高抗攻击能力。

(6) 高效用项目集挖掘算法

效用项集挖掘是通过一定的策略，挖掘满足条件的项集。在进行挖掘前应事先定义需要挖掘的目标，再给定一个最小效用值作为判定条件。找出数据库中所有超过最小效用值的项集的过程就是效用挖掘，其找出的项集则被称为高效用项集。在引入效用之后，科研人员发现，原来的频繁项集可能在这种评估模式中对目标贡献较小，但挖掘得到的项集却更具有针对性。因此，效用项集挖掘对一些实际应用场景中的决策问题起到了更直观、更直接的支持作用。

Yao 等在 2004 年的论文中提出了挖掘高效用项集的思想之后，该领域的研究人员也陆续提出了若干种高效用项集挖掘算法，其代表性的算法即 IHUP 算法、UP-Growth 算法和 HUI-Miner 算法。

目前，高效用项集挖掘已经取得了令人瞩目的成绩，但对下列问题的研究工作仍是具有挑战性的。

- 列存储的数据库挖掘。目前大多数高效用项集挖掘是基于事务数据库的算法，挖掘所用的数据或是文本数据，或是传统行存储的数据，列存储有区别于行存储的特点及优势，所以设计应用于列存储的数据库的高效用项集算法也将是十分有意义的工作。

- 制定更加合理的衡量高效用项集的标准，现有的高效用项集挖掘算法对效用的设定均为非负数，也应考虑当项集效用为负数时，现有的衡量标准、挖掘策略是否依然合理、可行。

- 可视化挖掘，设计一个灵活、易于操作的交互界面，并可以对挖掘的结果进行丰富的可视化展示，使普通用户也能方便地进行挖掘工作。

- 并行高效用项集挖掘。随着实际应用场景中数据量的不断增长、数据的复杂度不断提高、分布式存储及并行计算的广泛应用，再加上挖掘系统本身的一些局限性，并行的高效用项集挖掘算法的研究工作也具有很大的挑战。

- 研究在网络环境下的高效用项集挖掘技术，在 Internet 上合理地建立 DM 服务器，与数据库服务器配合，实现网络环境下的实时挖掘工作，提高现有挖掘系统的即时性，也将会对高效用项集挖掘的研究工作起到一定的推动作用。

(7) 光学相干弹性成像

光学相干弹性成像 (optical coherence elastography, OCE) 是在光学相干层析成像 (optical coherence tomography, OCT) 的基础上发展起来，是一种非接触、无损伤和高性能，并可以进行多方位、多层面、高速度和无损伤的成像，在生物组织的微观结构成像的研究中起着重要的作用。它是以软组织的杨氏模量、剪切模量、应力与应变等弹性参量为成像对象的技术。按照激励方式，光学相干弹性成像主要包含声表面波传播 OCE、剪切波传播 OCE、声辐射力 OCE、压迫型 OCE、磁感应 OCE 等形式。其决定应变测量精确度的关键是从 OCT 中测量的位移和从位移而计算的局部应变是否精确。光学相干弹性成像在测量生物力学的独特组织层次上，如组织微米层面、细胞层面，甚至分子水平上有着得天独厚的优势，成为优于超声成像和核磁共振成像的新一代无损评价的组织弹性特性的成像模式。其发展模式也和其他弹性成像方式的发展历程一致，由静态向动态弹性成像发展，由低分辨率向高分辨率发展，未来成像分辨率、成像深度、成像速度将得到逐步提升。

(8) 超宽带缝隙天线

缝隙天线是一种基本的天线形式，是在金属上

刻槽,采用同轴线、微带线、波导等方法进行激励,从而产生辐射。缝隙天线在微波段可以代替振子天线解决振子太小、制作和馈电困难的缺点。圆形缝隙和椭圆形缝隙天线,圆形结构和椭圆形结构的宽带特性已经为人们所熟知。通过缝隙天线来实现 UEB 带宽,其基本原理是:使用椭圆、圆、矩形蝴蝶结形等特殊的宽缝隙,采用宽带馈电的方法,实现超宽带性能。缝隙天线的带宽和缝隙的形状大小有很大的关系,如使用宽矩形缝隙的时候,缝隙的长宽比对天线的带宽有很多的影响,椭圆缝隙的长短轴比对带宽的影响较大,对馈电网络的改进,也能够很大地提高工作带宽。

(9) 动态网络可视化

动态网络是展现节点与边随着时间推移变化的一种网络结构。通过可视化的形式去概览、观察与分析一个动态网络,可以从中获得一些重要的见解。以电信服务提供商为例,领域专家需要通过常规检查动态通信网络来验证是否存在疑似垃圾邮件的不当行为。虽然总有相关的数据分析方法可以自动从现有网络中分析出一些特征结构,但结合可视化来做这件事的最大优势是可以利用视觉手段来达到需要分析大量数据并结合进一步观察才能得到一些有用模式的目的。在动态网络方面,对于新颖的可视化需求更多地关注在关键拓扑的异质性以及网络数据的时间维度。大规模网络数据可视化是一个非常有价值的议题,同时也是一个众所周知的难题。首先,为了结合时间维度展示,需要提出一个除传统图表表示方式之外的一种新的可视化设计;其次,伴随动态网络随时间的变化,必须考虑可视化手段在实际实现上的可扩展性,通常的做法会对数据进行降维处理再结合视图进行可视化;最后,探索动态网络的交互方法,如过滤、缩放等行为去获取局部特征的做法,在整个分析过程中也具有非常大的价值。

(10) 神经网络特性与分析 / 神经网络建模与模糊逻辑

神经网络是一种模仿动物神经网络行为特征,

进行分布式并行信息处理的算法数学模型。网络系统的复杂程度,通过调整内部大量节点之间相互连接的关系同时结合线学习方法调整内部参数,使得模型能够达到预期的设计效果,本质上是以数据为驱动的一种模型,优点是无需提前对模型进行详细的设计,通过海量的数据训练一般都会获得较好的模型。但神经网络的缺点也很明显,不能处理模糊信息,求解具有黑箱的特性,其工作不具有可解释性,同时它对样本的要求较高,而模糊逻辑相对来说具有推理过程容易理解、经验知识利用较好、对样本的要求较低等优点,但它同时又存在人工干预多、推理速度慢、精度较低等缺点,很难实现自适应学习的功能。因此将神经网络的建模和模糊逻辑结合可以提高模型的泛化能力和生成效率,目前主要技术发展方向包括:

- 基于神经网络对模糊逻辑隶属函数调节,提高模糊系统的精度。
- 用模糊逻辑提高神经网络的学习能力,利用适当的启发式控制逻辑控制学习过程,会提高训练效率和降低对数据质量的需求。
- 基于上述方法,构造模糊系统和神经网络的协同系统,提高模型对特种知识学习能力,提高模型生成质量。
- 用神经网络逼近一个模糊逻辑系统,降低计算机实现的难度,提高工程化效率。

此外,随着深度学习技术发展,神经网络自身理论和技术得到了快速的发展,近些年与其他学科的交叉更加丰富,进一步推动了神经网络技术的发展。

1.2 工程研究焦点解读

1.2.1 多目标跟踪技术

多目标跟踪技术已经大范围应用于视频监控、自动驾驶、人机交互、虚拟现实和增强现实等场景中,在军民领域都有着广泛的实用价值。随着技术

的发展和应用的延伸，多目标跟踪技术旨在从视频序列中检测目标物体，并且将不同帧中的目标物体建立对应关系，然后恢复出场景中每个物体的运动轨迹。提出多目标跟踪的现实需求在于单目标跟踪方法只能适应特定的物体，具有很大的局限性。在视频场景中通常会有数量任意、时机未知、外观相似、局部及自遮挡等各种复杂环境，多目标跟踪技术是更加现实的解决途径。由于多目标跟踪技术更小的局限性，使得它有更广阔的发展空间，具有更高的商业价值。同时，机器学习方法迅猛发展，硬件性能不断提高，数据集日益丰富，为更好地实现多目标跟踪技术提供了巨大的推动力。

针对实际应用中高性能且鲁棒性强的多目标跟踪算法需求，引申了一系列富有挑战性的科学与技术问题，主要包括：对物体外观建模、目标视觉特征表示和选择，跟踪过程中的目标遮挡、数据关联算法、视频帧序列间状态变化时的概率推断以及决策优化。为解决上述问题，不仅需要立足于现代人工智能技术的快速发展，通过理论与实际结合、模型与算法贯通、定性与定量综合集成等途径进行创新研究，甚至需要全新的观念与思想乃至模型体系的变革。

当前，该研究前沿的主要热点有以下几种。

（1）多目标的初始化问题

如何对跟踪目标初始化存在两种不同的设计方法：一种是在开始跟踪时人为指定需要跟踪的目标，该方法的优点是不需要提前对目标进行建模，同时可以跟踪任何类型的物体；另一种是基于检测的跟踪方法，该方法在初始化时预先对需要跟踪的目标建模，从而不仅能更精准地跟踪目标，还可以跟踪中途出现的目标。开发既能全时序跟踪多目标，又可以不限制跟踪物体的类型，并同时保持快速精准，依然是多目标跟踪的研究前沿。

（2）多目标的外观建模

在视觉识别领域，有效的特征表示依然是一个热门而极具挑战性的问题。不同特征在不同识别问题上的效果存在差异，物体的外观表示对跟踪多目标起

关键性作用。虽然各种类型的特征在多目标跟踪处理上被使用，如点特征，颜色、梯度等相关的局部特征、深度信息和光流等，高效的特征表示仍然是重要的研究方向。除却研究如何提取或学习简单有判别性的特征和设计有效的表示方法外，多目标跟踪不仅需要设计鲁棒性强的视觉表示，同时还需要准确地统计测量用于估计不同目标观察之间的相似性。

（3）多目标的运动建模

通过对目标的运动进行建模能够预测目标在后续视频中的潜在位置，从而在减少搜索空间的同时提升处理速度。最常见的线性运动模型假设跟踪的目标是恒速运动的，然而场景中的目标运动类型通常是多样性的，目标加速或停止运动均是处理的难点，有效的多目标跟踪算法需要设计和实现非线性运动模型。

（4）在线与离线跟踪相结合

在线多目标跟踪基于当前观察到的数据进行在线处理，其快速计算且节省空间的特点有着更广泛的应用场景。离线多目标跟踪的优点在于可以直接在问题空间上计算最优解，从而可以设计更加稳健的模型和算法并实现更精确的多目标跟踪。有机地结合两种不同方法的优点从而实现更加简单有效的多目标跟踪算法一直是具有挑战性的前沿问题。

（5）目标关联算法

不同于单目标跟踪，多目标在跟踪的过程中需要处理前后帧中目标之间的对应关系。多目标之间的运动既有共生也有互斥。基于社会驱动模型和人群运动模式的交互模型在处理多目标之间的共同运动的交互问题研究上取得了令人瞩目的重要进展。为避免多目标的混淆情况，对多目标的互斥关系提出了检测级的排斥建模与映射级的排斥建模。多目标的重叠与遮挡是多目标跟踪的一个不可避免的致命性的问题。有效处理目标重叠和遮挡的方法依然是未来重要的发展方向。

多目标跟踪技术工程研究焦点的核心论文有61篇（表1.2.1），排名前五的国家为美国、中国、瑞士、德国、韩国。其中，美国作者所发表的论文

表 1.2.1 “多目标跟踪技术”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频 次比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	USA	27	56.25%	824	47.71%	30.52	2	0
2	China	10	20.83%	167	9.67%	16.70	0	0
3	Switzerland	8	16.67%	601	34.80%	75.13	0	0
4	Germany	8	16.67%	434	25.13%	54.25	0	0
5	Korea	2	4.17%	31	1.80%	15.50	1	0
6	Singapore	2	4.17%	23	1.33%	11.50	0	0
7	Belgium	1	2.08%	171	9.90%	171.00	0	0
8	France	1	2.08%	36	2.08%	36.00	0	0
9	Portugal	1	2.08%	25	1.45%	25.00	0	0
10	Australia	1	2.08%	16	0.93%	16.00	0	0

表 1.2.2 “多目标跟踪技术”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频 次比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	Univ So Calif	6	12.50%	209	12.10%	34.83	1	0
2	Chinese Univ Hong Kong	6	12.50%	110	6.37%	18.33	0	0
3	Tech Univ Darmstadt	5	10.42%	246	14.24%	49.20	0	0
4	ETH	4	8.33%	288	16.68%	72.00	0	0
5	Univ Cent Florida	4	8.33%	154	8.92%	38.50	0	0
6	Penn State Univ	3	6.25%	139	8.05%	46.33	0	0
7	Ecole Polytech Fed Lausanne	2	4.17%	244	14.13%	122.00	0	0
8	Swiss Fed Inst Technol	2	4.17%	69	4.00%	34.50	0	0
9	Oregon State Univ	2	4.17%	64	3.71%	32.00	0	0
10	Xiamen Univ	2	4.17%	35	2.03%	17.50	0	0

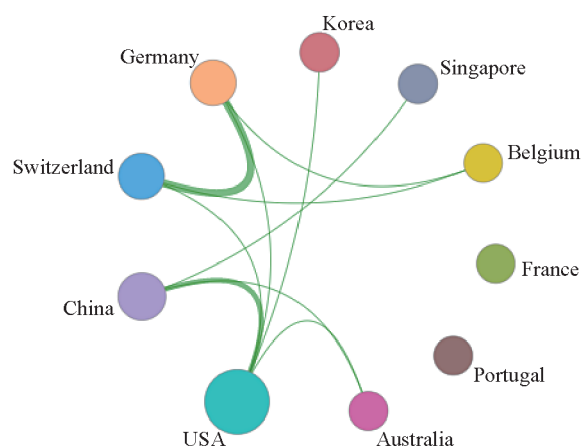
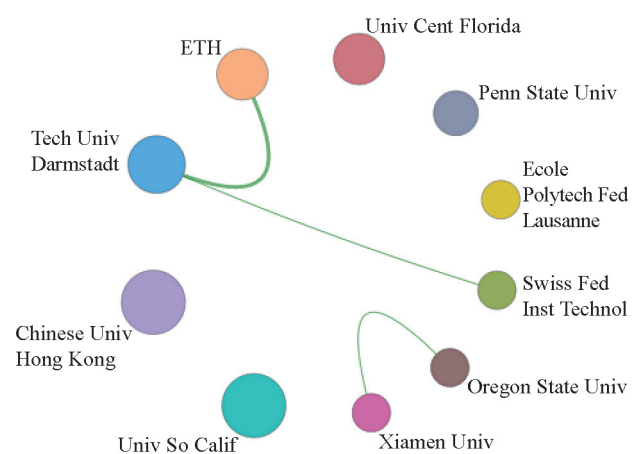

 图 1.2.1 “多目标跟踪技术”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络¹


图 1.2.2 “多目标跟踪技术”工程研究焦点主要机构间的合作网络

¹ 图中，节点表示国家/地区，节点大小表示论文数量，节点连线表示有合作发表论文，连线粗细表示合作论文数量，全文相同。

表 1.2.3 “多目标跟踪技术”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	USA	6	33.33%	2013.5
2	China	5	27.78%	2014.2
3	Singapore	2	11.11%	2014.5
4	Korea	2	11.11%	2014.5
5	Austria	1	5.56%	2014.0
6	Germany	1	5.56%	2014.0
7	Switzerland	1	5.56%	2014.0

表 1.2.4 “多目标跟踪技术”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Chinese Univ Hong Kong	3	13.04%	2014.0
2	GIST	2	8.70%	2014.5
3	Adv Digital Sci Ctr	1	4.35%	2015.0
4	Anhui Univ	1	4.35%	2015.0
5	Boston Univ	1	4.35%	2012.0
6	ETH	1	4.35%	2014.0
7	Graz Univ Technol	1	4.35%	2014.0
8	Hanyang Univ	1	4.35%	2015.0
9	Hefei Univ Technol	1	4.35%	2015.0
10	KETI	1	4.35%	2015.0

占比达到了 56.25%，超过半数，常被引论文占了总数 3 篇中的 2 篇。中国排在第二位，论文所占比例为 20.83%。根据核心论文的产出机构来看（表 1.2.2），排名前五的机构为美国南加州大学（Univ So Calif）、香港中文大学（Chinese Univ Hong Kong）、德国达姆斯塔特科技大学（Tech Univ Darmstadt）、苏黎世联邦理工学院（ETH）、美国佛罗里达大学（Univ Cent Florida），其中，这些机构有 2 所在美国，1 所在中国。从图 1.2.1、图 1.2.2、表 1.2.3、表 1.2.4 的国家/地区的合作网络分析来看，美国占据核心地位，核心论文发表数排名前四位的国家/地区之间的交流合作也比较紧密。

综合以上分析我们可知在多目标跟踪这个工程研究焦点上，美国不管是论文数量还是与其他国家/地区的交流合作上都占据领跑地位，是该研究焦

点的重点研究国家。中国则紧随其后，也是该研究焦点的主要研究国家，与其他国家/地区的交流合作也比较紧密。

1.2.2 动态网络可视化

由于大多数计算机与通信领域所产生的数据相比传统数据多了一层时间维度，处理组织好这类数据并将其中的动态网络利用有效的可视化手段展现出来对于理解和分析其中的结构变得非常有价值。解决这个问题不论是对通信行业应用，还是学术研究分析来说都具有非常重要的意义。世界各国可视化与可视分析领域的学者和专家都在尝试研究解决该问题。

就目前来看，世界各国均有学者在进行动态网络可视化的相关研究。其中，美国学者在该方面的

核心论文产出占比为 31.91%，排名第一，紧接其后的是德国、荷兰、法国和中国等国家/地区。其中，排名前十的核心论文产出国家和地区的论文被引频次均超过 20（表 1.2.5）。而在核心论文的产出机构中，北京大学、图卢兹大学以及法国国立民用航空学院占据前三位，论文数量均为 4 篇，论文被引频次均超过 90 篇，被引频次比例均超过 9%（表 1.2.6）。图 1.2.3 和图 1.2.4 分别展现了“动态网络可视化”工程研究焦点主要国家/地区间的合作网络关系和“动态网络可视化”工程研究焦点主要机构间的合作网络。

在施引核心论文的结果中，以产出国家/地区统计，德国、瑞士以及中国占据前三名，施引论文数均超过 3 篇，施引论文占比均超过 15%（表 1.2.7）；而若以产出机构为统计度量的话，香港科技大学（Hong Kong Univ Sci Technol）排名第一，其施引论文数为 3 篇，施引论文占比为 12.00%，紧随其后的是马克斯·普朗克人类认知与脑科学研究所（Max Planck Inst Human Cognit Brain Sci）、南洋理工大学（Nanyang Technol Univ）以及瑞士技术与研究联邦理工学院（Swiss Fed Inst Technol），施引论文数均为 2 篇，施引论文占比

表 1.2.5 “动态网络可视化”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家/地区	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	USA	15	31.91%	203	21.06%	13.53	1	0
2	Germany	12	25.53%	348	36.10%	29.00	2	0
3	The Netherlands	10	21.28%	239	24.79%	23.90	0	0
4	France	8	17.02%	178	18.46%	22.25	0	0
5	China	8	17.02%	152	15.77%	19.00	0	0
6	Scotland	4	8.51%	79	8.20%	19.75	0	0
7	Switzerland	4	8.51%	56	5.81%	14.00	0	0
8	Ireland	3	6.38%	74	7.68%	24.67	0	0
9	Canada	3	6.38%	50	5.19%	16.67	1	0
10	Singapore	2	4.26%	24	2.49%	12.00	0	0

表 1.2.6 “动态网络可视化”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次	常被引论文数	专利引用篇数
1	Peking Univ	4	8.51%	113	11.72%	28.25	0	0
2	Univ Toulouse	4	8.51%	93	9.65%	23.25	0	0
3	ENAC	4	8.51%	93	9.65%	23.25	0	0
4	Univ Groningen	4	8.51%	93	9.65%	23.25	0	0
5	Eindhoven Univ Technol	4	8.51%	73	7.57%	18.25	0	0
6	Hong Kong Univ Sci Technol	4	8.51%	51	5.29%	12.75	0	0
7	Fraunhofer Inst IAIS	3	6.38%	129	13.38%	43.00	0	0
8	Univ Konstanz	3	6.38%	69	7.16%	23.00	1	0
9	ENAC Univ Toulouse	2	4.26%	64	6.64%	32.00	0	0
10	Univ Rostock	2	4.26%	60	6.22%	30.00	1	0

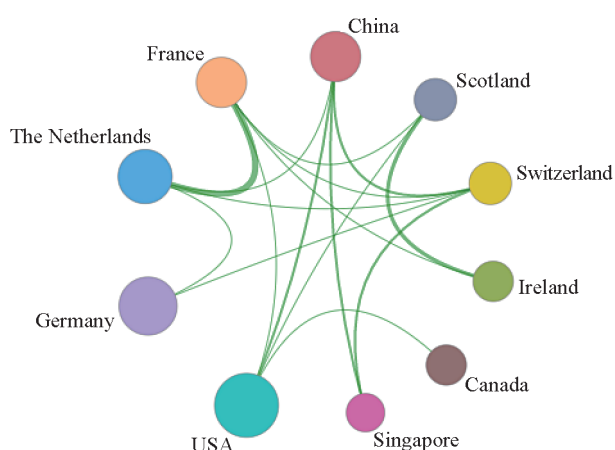


图 1.2.3 “动态网络可视化” 工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

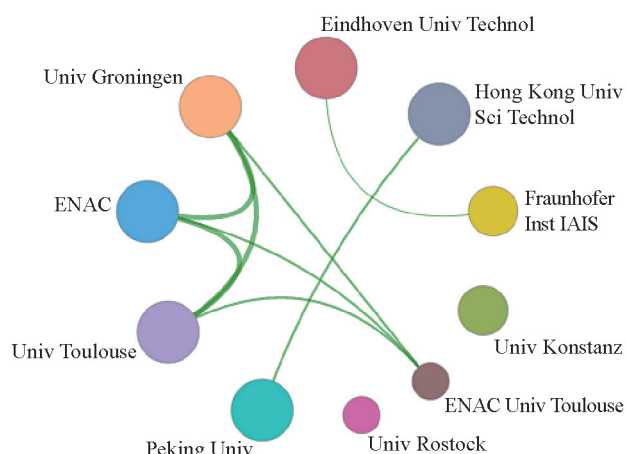


图 1.2.4 “动态网络可视化” 工程研究焦点主要机构间的合作网络

表 1.2.7 “动态网络可视化” 工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Germany	4	21.05%	2012.75
2	Switzerland	3	15.79%	2012.67
3	China	3	15.79%	2013.67
4	Singapore	2	10.53%	2013.50
5	Australia	2	10.53%	2014.50
6	France	2	10.53%	2014.50
7	USA	2	10.53%	2014.50
8	Chile	1	5.26%	2014.00

表 1.2.8 “动态网络可视化” 工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Hong Kong Univ Sci Technol	3	12%	2013.67
2	Max Planck Inst Human Cognit Brain Sci	2	8%	2013.50
3	Nanyang Technol Univ	2	8%	2013.50
4	Swiss Fed Inst Technol	2	8%	2013.50
5	Fraunhofer Inst IAIS	1	4%	2013.00
6	Griffith Univ	1	4%	2014.00
7	Inria Chile CIRIC	1	4%	2014.00
8	Inria	1	4%	2015.00
9	Microsoft Res Inria Joint Ctr	1	4%	2015.00
10	Monash Univ	1	4%	2015.00

为 8.00% (表 1.2.8)。

现如今的动态网络可视化一般基于节点连接图的增量绘制问题研究，特别是针对一些特定类型的图，如树、串并行图以及有向非循环图。众多学者尝试利用节点拓扑结构在 2D 平面上去可视化动态网络，除此外也有新的更具视觉隐喻效果的可视化形式在文献中被提出，如 3D 图等。而除了如何绘制外，还有一项工作引人注目，那就是可视化动态网络的扩展性。对于大数据集动态网络的可视化研究中，很少有文献提到一个对其完全展开可视化的方法论，随着数据量的增大，采用传统方法不可避免地会造成节点间的重叠以及可视计算上的复杂性。用动画来解释动态网络的变迁是一种常用的手段，如何平衡数据处理以及绘制性能上的消耗也是需要考虑的一点。在这些方面投入研究力量，对于动态网络数据的结构与关系理解都具有非常重大的意义。

1.2.3 神经网络建模与模糊逻辑

近些年，随着互联网、大数据的发展，全球对人工智能的技术需求巨大，尤其是我国，具有全球最大的网络群体，对于人工智能的需求更加迫切。神经网络，尤其是深度学习为代表的深度神经网络已经从技术上推动了人工智能的发展和應用，2015

年 LeCun、Bengio、Hinton 教授在《Nature》上发表了深度学习的论文，引起了学术界的轰动，在应用领域关于神经网络的发展一直是焦点话题，如 Google 的 AlphaGo 更加证明了深度学习在人工智能的卓越表现。从表 1.2.9 和表 1.2.10 中的数据可以看出我国对于该领域的技术需求和发展潜力。然而神经网络也一直存在着明显的缺点，对数据质量的苛刻要求，对于其模型不可解释性，以及泛化能力的优化等问题一直存在，因此结合模糊逻辑使得神经网络和模糊逻辑优缺点互补，也一直是一个重要的研究领域。

由核心论文关键词神经网络、深度学习和模糊控制，前沿包括了对神经网络的优化，主要是学习算法的优化；结构自学习的优化，主要是对模型的自调整能力；模糊规则的优化等领域。

其中，结合模糊逻辑的神经网络学习算法包括结构学习和参数学习部分，结构学习在一定的条件下要求确定模糊系统推理规则的条数，每条规则的前提和结论的隶属度函数得到具体的规则数。参数学习是细化各隶属度函数的参数以及模糊规则的其他参数，以使系统达到最优。规则学习主要是从输入输出数据中提取规则或由输入空间模糊划分获得规则，主要有启发式搜索法、模糊网格法、树形划

表 1.2.9 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	China	44	48.35%	973	37.35%	22.11	7	0
2	Taiwan of China	33	36.26%	1248	47.91%	37.82	6	0
3	Saudi Arabia	15	16.48%	259	9.94%	17.27	4	0
4	India	10	10.99%	177	6.79%	17.70	1	0
5	USA	4	4.40%	135	5.18%	33.75	0	0
6	Egypt	3	3.30%	63	2.42%	21.00	1	0
7	Romania	2	2.20%	89	3.42%	44.50	0	0
8	Canada	2	2.20%	36	1.38%	18.00	0	0
9	Spain	1	1.10%	29	1.11%	29.00	0	1
10	Turkey	1	1.10%	26	1.00%	26.00	0	0

表 1.2.10 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心 论文数	论文 比例	被引 频次	被引频次 比例	篇均被 引频次	常被引 论文数	专利引 用篇数
1	Kaohsiung Marine Univ	17	18.68%	775	29.75%	45.59	3	0
2	Pingtung Univ Educ	15	16.48%	482	18.50%	32.13	2	0
3	King Abdulaziz Univ	15	16.48%	259	9.94%	17.27	4	0
4	Cheng Kung Univ	13	14.29%	357	13.70%	27.46	3	0
5	Fac Sci	12	13.19%	208	7.98%	17.33	3	0
6	Dept Civil Engr	10	10.99%	384	14.74%	38.40	2	0
7	Southeast Univ	10	10.99%	155	5.95%	15.50	2	0
8	Cent Univ	9	9.89%	346	13.28%	38.44	3	0
9	Kaohsiung First Univ Sci & Technol	9	9.89%	224	8.60%	24.89	1	0
10	Chongqing Jiaotong Univ	8	8.79%	232	8.91%	29.00	1	0

分法，还有基于模糊聚类的学习算法等。该领域的研究可以进一步提高神经网络的进度和训练速度，结合分布式系统可以提高模型参数的生成速度。在此分支研究的重点国家和地区有：中国大陆、中国台湾地区以及美国、加拿大等。

结构的自学习优化指的是由于神经网络难以从理论上确定模型的层数和节点连接个数。该领域主要包括了连接设计与演化设计方法。连接设计方法包括增补算法和削减算法。增补算法先由一个简单的网络开始，然后在训练中不断根据需要添加隐层节点和连接。削减算法则从一个较大的网络开始，在训练过程中剪除那些不必要的节点和连接。该领域的研究不仅可以减小神经网络的参数冗余度、减小神经网络体积，同时也为神经网络的最优化建模提供了一种可行的方法，使得神经网络领域的工程化得到了发展，目前该领域的重点国家和地区有中国大陆、美国、加拿大、澳大利亚等。

对于模糊逻辑规则的确定。模糊规则往往从经验中获取，精度较差。模糊逻辑规则结合神经网络的自适应特点，同时解决网络的黑盒问题。虽然有部分学者提出了一些方法进一步推动了该领域的发展，目前未取得较大的突破。另外其他的学科包括概率图模型、凸优化等理论的发展，如何解释神经网络的黑盒

问题取得一定的发展，从理论上一定程度的证明了神经网络的特点。目前该领域的重点国家和地区有中国大陆、美国、加拿大、中国台湾地区等。

此外不仅是模糊逻辑与神经网络结合，目前也有一些新的领域开始对神经网络的存在缺点进行改善，如结合博弈论的生成对抗网络进一步减小网络对数据的需求质量；此外随着深度神经网络的不断发展，模型参数和压缩问题也成为重要的研究领域，在满足性能的条件下，减小参数的存储容量成为工程化的一个重要因素。同时对于神经网络自身的研究一直未停止，近些年包括卷积神经网络、回归神经网络、长短时记忆网络等也成为了该领域的研究重点，并得到了一定的工程化应用，一些细致的结构如激活函数等也在不停的发展，例如，ReLU 和 PReLU 就是近些年的发展成果，提高了神经网络的性能。随着对人工智能技术的不断发展，该领域将进一步与其他领域结合，并发展出新的内涵和技术。

根据工程研究焦点机构合作网络图，目前该领域的重点研究国家/地区集中在中国大陆、中国台湾、沙特和印度等（图 1.2.5、图 1.2.6）。中国在施引核心论文、施引论文中的产出均排名第一（表 1.2.11），说明中国已成为该领域的研究中心国家，但产出机构排名靠后（表 1.2.12），说

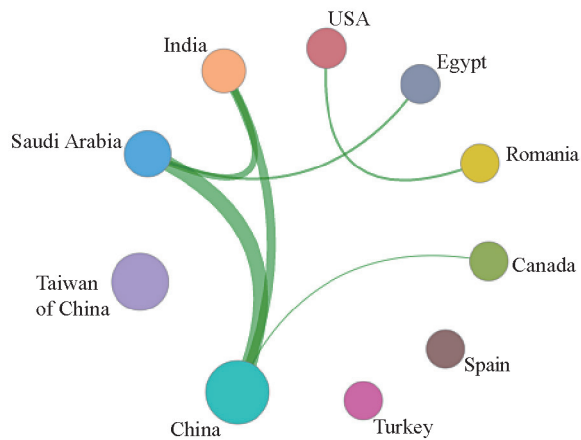


图 1.2.5 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点主要国家或地区间的合作网络

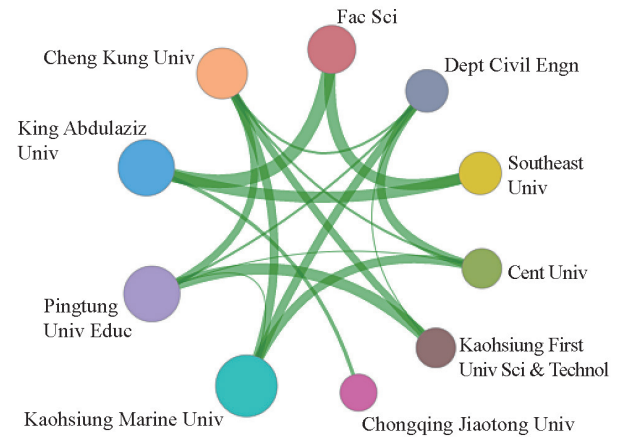


图 1.2.6 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点主要机构间的合作网络

表 1.2.11 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	China	35	43.75%	2014.71
2	Taiwan of China	21	26.25%	2012.14
3	Saudi Arabia	13	16.25%	2014.85
4	India	7	8.75%	2015.14
5	Korea	1	1.25%	2015.00
6	USA	1	1.25%	2014.00
7	Canada	1	1.25%	2015.00
8	Algeria	1	1.25%	2016.00

表 1.2.12 “神经网络建模与模糊逻辑”工程研究焦点中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Cheng Kung Univ	13	9.63%	2012.46
2	King Abdulaziz Univ	13	9.63%	2014.85
3	Pingtung Univ Educ	11	8.15%	2012.18
4	Southeast Univ	10	7.41%	2015.00
5	Kaohsiung Marine Univ	9	6.67%	2012.00
6	Bharathiar Univ	7	5.19%	2015.14
7	Kaohsiung First Univ Sci & Technol	7	5.19%	2012.57
8	Chongqing Jiaotong Univ	7	5.19%	2014.57
9	Huzhou Teachers Coll	4	2.96%	2015.25
10	Minist China	3	2.22%	2015.33

明我国在该领域的研究需要进一步优化资源配置、提高优势资源的集中，此外在合作上，我国与部分在该技术领域活跃的国家鲜有交叉，推进该领域的学术交流和合作也应该是我国在该技术领域的发展方向。

2 工程开发热点及工程开发焦点解读

2.1 工程开发热点发展态势

信息与电子工程领域组所研判的 Top10 工程开发热点汇总见表 2.1.1，涉及电子科学与技术、光

学工程与技术、仪器科学与技术、信息与通信工程、计算机科学与技术、控制科学与技术等学科方向。其中，“无线移动通信技术及设备”“车辆自动驾驶技术及应用”“激光光源技术”“图像识别与视觉交互技术”“计算虚拟化”“无人飞行器”是传统研究的深入。各个热点所涉及的核心专利自 2011 至 2016 年的逐年公开情况见表 2.1.2。

(1) 图像识别与视觉交互技术

图像识别和视觉交互技术旨在通过分析图像并获取其中的高层语意信息，从而可以识别场景中的物品、人体及其外观及运动属性并反馈给用户，实现用户与场景中的物品和人之间的互动。

表 2.1.1 信息与电子工程领域 Top10 工程开发热点

序号	工程开发热点	公开量	被引频次	平均被引频次	平均公开年
1	无线移动通信技术及设备	251	9976	39.75	2012.06
2	车辆自动驾驶技术及应用	234	4035	17.24	2012.67
3	激光光源技术	151	3217	21.30	2012.26
4	图像识别与视觉交互技术	118	4684	39.69	2011.95
5	智能辅助驾驶系统和技术	178	7890	44.33	2012.90
6	光电跟踪和监视技术	113	2336	20.67	2012.30
7	计算虚拟化	152	9322	61.33	2012.24
8	无人飞行器	33	633	19.18	2013.55
9	太阳能技术	227	4598	20.26	2012.14
10	高速高密度存储技术	191	8930	46.75	2012.38

表 2.1.2 信息与电子工程领域 Top10 工程开发热点的逐年核心专利公开量

序号	工程开发热点	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	无线移动通信技术及设备	104	65	55	17	9	1
2	车辆自动驾驶技术及应用	57	61	51	39	20	6
3	激光光源技术	53	46	21	22	8	1
4	图像识别与视觉交互技术	50	40	15	10	3	0
5	智能辅助驾驶系统和技术	39	28	42	53	12	4
6	光电跟踪和监视技术	45	27	14	17	9	1
7	计算虚拟化	55	41	29	18	9	0
8	无人飞行器	2	10	6	5	3	7
9	太阳能技术	94	65	29	21	17	1
10	高速高密度存储技术	56	54	41	35	2	3

近些年来，随着计算机视觉与机器学习技术的快速进步，图像识别和视觉交互技术在包括增强现实、数字娱乐、影视制作、医疗诊断、自动驾驶和视频监控在内的许多领域得到了广泛应用。基于卷积神经网络的物体检测与识别技术取得了很大的成功，大幅提升了人脸识别、行为分析与场景理解的准确度，为用户与场景的自然交互提供了技术基础。为获得实时交互体验，目前的研究主要致力于设计专门硬件或通过降低模型计算复杂度的方法加速深度学习算法，已初步实现了嵌入式终端上的实时物体检测与识别。

当前的图像识别与视觉交互系统依赖于海量高质量的人为标注数据，并且训练深度学习模型需要耗费大量计算资源。因此，当前系统对数据有限的新类别物体学习能力和泛化欠缺。此外，计算机视觉系统对环境敏感，其可靠性难以预估。基于所获得的视觉交互数据及其识别结果对用户交互意图体现的准确程度仍有待提高。为解决上述难题，未来的研究将致力于设计有效的计算模型降低深度学习系统的冗余，提高学习效率的同时利用几何物理先验知识减少对标注数据的依赖，并结合对图像的高层语义分析进一步提升自然交互体验。对该类技术的开发和完善将催生越来越多创新的图像识别与视觉交互产品，进而为人类生活带来一场深刻的变革。

（2）智能辅助驾驶系统和技術

随着全球城市汽车保有量的急剧增长，交通拥堵、交通事故、车位短缺等问题致使城市交通效率急剧下降，急需研究应用人工智能的车辆辅助驾驶技术及其交通管理技术。智能辅助驾驶技术是利用安装于车上的各式各样的传感器，实时收集车辆周围数据（感知），进行物体的检测、识别与追踪等，能够让驾驶员在最快速时间察觉潜在危险（认知），以引起注意和采取恰当措施规避潜在的安全风险，并提高交通效率。智能辅助驾驶系统功能上包括汽车周边环境、车辆驾驶状况进行实时动态检测和提

醒，避免碰撞交通事故；实时监控驾驶员的生理状态（尤其对公交车、客运大巴车等重点监控车辆）的实时监控和提醒，并通过室内驾驶环境调节降低疲劳驾驶风险，研究驾驶人员突发疾病状况下的自动接管与紧急停车功能。车辆智能辅助驾驶是自动驾驶的初级阶段，是当前汽车提高智能化的主要途径。高级智能辅助驾驶技术的成熟将为车辆自动驾驶奠定技术与产业基础。

（3）光电跟踪和监视技术

利用激光雷达、光学成像等进行目标获取，然后进行后续目标识别、多目标跟踪等信息处理及跟踪，实现对目标的监视、发现、预警以及持续跟踪，在自动控制、安全监测领域实现智能化管理有着重要的作用。其工作原理为：通过多光谱、雷达、成像等多种遥感手段获取目标信息，对复杂多目标进行识别处理。进行姿态稳定和高精度，是信息领域中传感器技术、光学技术、计算机技术、信息处理技术以及控制技术等多学科交叉的研究方向。其关键技术主要包括以下两项。

- 光电跟踪伺服机构高精度的设计、制造以及控制技术。

- 先进高效的实时视频图像目标识别与跟踪处理技术。

实现的技术手段主要为：精度的机械结构制造、实时的传感器信号处理、稳定的伺服控制技术、高分辨率大视场的目标获取技术、具有良好健壮性和高精度的识别跟踪方法等。目前光电跟踪和监视技术，已经在工业、农业、科学等各个领域都得到了广泛的应用，特别是在军事国防领域，已彻底改变了战争对抗的形态。近年来，由于需求的提升刺激了光电跟踪和监视技术的发展，正逐步向传感器小型化、多手段信息获取、精度更高以及智能化的方向发展。

（4）计算虚拟化

云计算是继分布式计算、并行处理、网络计算等之后计算模式的最新发展。云计算通过将各种互联的计算、存储、数据、应用等资源进行有效整合

来实现多层次的虚拟化与抽象，用户只需要连接上网络即可方便使用云计算强大的计算和存储能力。

虚拟化作为云计算的主要支撑技术之一，通过把多台服务器实体虚拟化后，将网络计算单元在虚拟而不是真实的基础上运行，从而构成一个资源池，实现共同计算、共享资源，允许 IT 部门添加、减少移动硬件和软件到它们想要的地方，从而为组织带来灵活性，改善 IT 运维和减少成本支出。云计算与虚拟机之间的关系可以用相互促进，密不可分来形容，两者之间相互配合才能产生巨大合力。

云计算虚拟化需要解决的关键技术问题包括多租户托管、分散计算、虚拟化数据管理、虚拟机缓存、虚拟化 GPU 以及资源配置等。市场研究机构 IDC 公司的研究报告指出，新型托管私有云产品、云安全、混合云技术以及基于 OpenStack 的开源云操作系统等将是未来云计算的重要发展方向。

（5）无人飞行器

无人飞行器是一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的飞行器的简称，能够通过操作手控制或自主智能控制执行各种任务。从平台结构形式上可分为旋翼类、固定翼类、复合翼类。

以多旋翼结构为代表的民用无人机最近成为新的科技热点，但与此同时，通过遥控器手动操作的无人机只能在视距范围内运行，任务范围和弹性都非常有限。此外，由遥控操作的无人机存在巨大的安全不确定性和监管风险。因此，完全自主的无人机环境感知与智能控制技术存在非常急迫的需求。环境感知能力是无人机系统实现自主控制的基础，特别是在复杂和不确定的环境条件下的感知能力。通过在无人机上集成激光雷达、单目/多目/全景视觉系统、毫米波雷达等新一代传感器，并通过多维度数据融合算法，实现无人机对于环境的全息掌握，结合高弹性、高动态、具备实时重规划能力的轨迹生成和路径规划算法，实现无人机在真实环境中的无忧飞行和全自主任务能力。此外，无人飞

行器自主控制还需要解决多机协同与交互技术。自主协同能力也是无人机高级自主控制能力。协同与交互技术主要解决多无人机以及人机之间的协作为，实现有人/无人平台协同和多无人平台的协同。

近年来，无人飞行器广泛应用于军事行动、环境监测、能源探测、灾害评估、电力巡线、农业植保、航空测绘和公共安全等领域，成为新的科技热点，对其研究具有重要意义。无人飞行器发展重点在智能化控制（单体智能与群体智能）、宽带抗干扰数据链、环境感知与规避、任务载荷数据处理、信息融合、能源动力、低成本设计、标准化等关键技术领域持续迭代研究。

（6）太阳能技术

太阳能是一种可再生的、清洁的、分布广泛的、免费的能源。人类对太阳能的利用有悠久的历史。太阳能利用主要包括太阳能热利用和太阳能光利用。太阳能热利用应用很广，如太阳能热水、供暖和制冷、太阳能淡化海水、太阳能热动力发电等。太阳能光利用主要是太阳能发电和太阳能制氢。由于常规能源短缺，在世界各国政府的大力支持下，作为再生能源主力的太阳能将在全球能源供应中扮演越来越重要的角色。

非聚光类太阳能热发电技术有太阳池热发电、太阳能热气流发电等；聚光类太阳能热发电技术有塔式太阳能热发电、槽式太阳能热发电、碟式太阳能热发电。较为成熟的太阳能发电技术是太阳能光伏发电和太阳能热发电。太阳能热发电技术通过聚光产生高温进而发电，效率较高，更具应用前景。尽管世界各国研究太阳能热发电技术已有多年，但目前只有槽式太阳能热发电站实现了商业化示范运行，塔式、碟式发电系统仍处于示范阶段。

（7）高速高密度存储技术

高密度存储代表信息存储的发展方向，该领域国内外竞争非常激烈。由于高密度大容量光存储属于交叉学科，涉及器件技术、光学技术、材料科学、微电子技术、工艺技术、计算机与控制技术等学

科。由于信息量以指数函数递增，信息存储从最初的指令和数据存储已经发展到现代社会的医学图像处理、数据仓库、企业信息存储以及视频流的处理等领域。研究新一代的高密度高速数字光存储技术对社会信息化具有十分重要的意义。

如何继续提高光存储密度已成为存储领域中极为重要的研究课题。提高光盘密度和容量首先考虑的就是缩短所用激光器的波长和增大物镜数值孔径，但要再进一步提高光盘的密度和容量，必须引进新的技术。目前主要的两个研究方向是超分辨技术和三维存储技术。三维存储技术主要包括双光子存储、多阶存储、光谱烧孔存储、波导多层存储以及全息存储。其中全息存储技术具有存储容量大、数据传输率高、存储时间短以及可快速进行图像匹配和内容相关寻址操作等特点，极有可能成为下一代海量存储技术。

随着信息社会的到来，信息存储在国民经济建设及现代军事科学技术中的重要性日益突出，成为社会信息化中不可缺少的环节。

（8）无线移动通信技术及设备

目前，无线移动通信与网络技术正在进入一个新的加速发展时期，其基本技术特征表现为：互联网的快速发展使其与其他网络如移动通信网络、空间网络等相互渗透，趋向于最终融合为一种空、天、地、海一体化的网络体系结构。同时，随着互联网与传统行业深度融合发展，互联网+、工业4.0等成为国民经济命脉领域的新支柱，对新型网络业务在可靠性、实时性、服务等级等方面提出了一系列新的挑战，迫切需要技术先进、自主可控、安全可靠、军民融合的网络体系与核心设备。互联网流量飞速增长、信息冗余传输严重，网络拓扑结构、流量分布特征呈现变化，网络提供商与内容服务商之间的高效适配问题日益突出，以“内容为中心”的未来媒体宽带融合网成为发展趋势；“交换即计算，计算即交换”将衍生出网络的“IT化”和“云化”，以及SDN/NFV等新兴网络技术，并带来网络架构

演进、设备形态变化和组网运营模式变革。由于传统网络结构不灵活，随着数据中心的广泛应用与部署、亿级海量设备与移动终端接入及异构融合、服务质量保障需求进一步提升，均使网络可持续发展问题日益严峻，探索安全可重构、高效可扩展、开放可定义的未来网络体系架构成为业界关注的重要方向。网络操作系统正在成为开放性网络生态链最核心部分，所有的业务与应用都需要围绕网络操作系统来设计开发与生长，高性能、可扩展、服务化、开放性的网络操作系统及其关键技术成为关键。

通信网络功能可以利用标准的大容量服务器、存储和交换机以虚拟化方式实现，形成云化体系，将有效提高网络资源利用率，降低维护成本，加快业务部署。软件定义化、虚拟化和通信资源开放正越来越多地受到业界重视。4G之后的无线移动通信研究成为全球研究热点。5G将于2020年商用，满足移动互联网业务10年1000倍需求。5G以及5G之后的未来移动通信基础理论与关键技术孕育突破，体系构架面临变革。未来移动通信更加注重用户的需求，为用户带来全新的体验。移动交互式游戏、3D、虚拟现实及全息图像等新型移动业务应用将被纳入未来移动通信系统的技术需求；业界还试图将未来移动通信的应用范围从目前的人与人通信拓展至人机物协同通信、超密集连接物联网、车联网以及工业互联网等更为广泛的领域。可以预见，未来移动通信系统的未来业务应用将迈上新的台阶，从而更为深刻的改变人类社会的运行方式。

以Wi-Fi为代表的宽带无线接入技术在世界范围内蓬勃发展，在802.11体系中，一是传统的无线局域网技术在向着更大带宽、更高速率方向发展；二是衍生出诸多新的应用方向——支持物联网应用的802.11ah、支持车联网的802.11p、支持低时延大带宽的802.11ad等；三是Wi-Fi技术也在考虑组网、漫游支持语音等功能。

（9）车辆自动驾驶技术及应用

发展车辆自动驾驶技术对于满足交通、能源和

制造业领域的国家重大需求具有重要的意义。安全、节能、环保是近年来国际汽车生产业提出的发展目标。为了解决由于车辆日益增加、车速过快等因素引起的交通事故增多、交通拥挤加剧、交通环境恶化，以及由此产生的经济成本等社会和环境问题，欧洲、美国、日本等发达国家正致力于构建智能交通系统。

未来的交通系统将是基于车-车、车-路信息交互的人、车、路一体化的智能交通系统，它具有对驾驶环境和交通状况全面实时感知和理解能力，其中，具备自主规划与控制及人机协同操作功能的自动驾驶汽车是实现未来智能交通系统的关键。智能交通系统主要由三部分组成：地面智能控制中心、地面智能设备和自动驾驶车辆。其中，地面智能控制中心负责统筹区域内所有自动驾驶车辆的运行，提供车辆全局路径规划与导航的重要信息；地面智能设备提供详细的环境信息，包括十字路口四端和车道线的位置、交通灯工作状态等信息，帮助自动驾驶车辆高精度定位；自动驾驶车辆则实现快速、安全的自动驾驶。

基于智能交通系统的新一代自动驾驶车辆将具有如下功能。

• 更全面的环境感知与理解

人类驾驶员存在视野范围、精神状态和驾驶经验等多种影响环境感知与理解的因素，而自动驾驶系统将采用多源信息融合技术把相关环境的不完整信息加以综合和互补，实现对环境更加全面稳定的感知。

• 复杂交通状况下的驾驶行为决策

自动驾驶车辆能完成出入匝道、高架桥，以及在动态车流条件下的自主超车、汇入车流等复杂操作；将具备复杂车流条件下的多车辆协同驾驶功能。

• 复杂天气条件下完成辅助驾驶

在复杂天气条件下，自动驾驶车辆能够将环境感知系统所提取的环境特征与先验环境模型进行整合，以增强现实可视化的方式将环境逼真地显示出来，辅助驾驶员完成感知决策。

• 能在面临危险时为驾驶员提供宝贵的应急处理时间，或者代替驾驶员进行自主应急处理

新一代的自动驾驶系统将能够分析驾驶员的操控能力和辅助驾驶系统的适用范围，实现交互式多目标仲裁机制，从而在面临危险时为驾驶员提供宝贵的应急处理时间，或者代替驾驶员进行危险应急处理。

(10) 激光光源技术

激光光源技术主要指与激光器相关的光学、电子学等领域内的材料、工艺、技术、元件、工程实现技术等。具体包括不同波段激光器，连续或脉冲激光器，高功率激光器，固体、气体、半导体、光纤激光器等的实现；激光器的锁模、功率放大、调制等功能的实现。其中最为活跃、增长最快的一类为半导体激光器。因其具有很明显的技术优势，如体积小、重量轻、效率高、能耗小、寿命长以及金属对半导体激光吸收高等优点，在光纤通信、激光音像等系统中得到广泛应用，已成为光电子产业中的重要支柱。随着半导体激光技术的不断发展，以半导体激光器为基础的其他固体激光器，如光纤激光器、半导体泵浦固体激光器、片状激光器等的发展也十分迅速。其中，光纤激光器发展较快，尤其是稀土掺杂的光纤激光器，在光纤通信、光纤传感、激光材料处理等领域获得了广泛的应用。

2.2 工程开发焦点解读

2.2.1 无线移动通信技术及设备

随着大数据以及云计算技术的发展，以及移动互联网和物联网业务成为移动通信发展的主要驱动力，移动网络流量将呈爆发式增长趋势，终端数量和数据速率也将持续呈指数增长，同时网络将存在着连续广域覆盖、热点大容量、低功耗大连接以及低时延高可靠等多业务场景需求，典型应用业务包括车联网、3D 通话、自动驾驶等。为了应对移动网络数据流量爆炸式增长，以及移动互联网和物联

网等发展带来的新业务形态与海量终端连接需求，无线移动通信技术与设备的研究已受到高度重视，成为业界关注的重点，其涉及的具体技术研究热点包括无线移动组网、大规模无线通信新型天线与射频理论与技术、巨连接多址接入技术与系统等。

在无线移动组网方面，5G 以及 5G 之后的未来移动通信基础理论与关键技术孕育突破，更加注重用户的需求，为用户带来全新的体验。移动交互式游戏、3D、虚拟现实及全息图像等新型移动业务应用将被纳入未来移动通信系统的技术要求，未来移动通信系统的未来业务应用将迈上新的台阶，从而更为深刻地改变人类社会的运行方式。因此，未来无线网络需要支持泛应用（无处不在的无线大数据应用），需求将愈具多样性和差异化。而大规模无线网络是集合了异构、高动态、多类型用户需求兼容等特性的复杂网络，如何实现大规模网络的虚拟化和柔性组网，按需调控网络资源，以智能适应业务时空分布多样性，成为亟待解决的问题。其涉及的具体研究内容包括探索大规模互联无线网络系统资源表征、虚拟化和运算的理论和方法，环境综合感知及动态资源调配理论方法，资源流与业务流精准匹配的方法，探索通信与计算的协同机制，提出适应业务时空分布多样性的虚拟化资源按需调控理论方法，完成实验验证，提出无线网络柔性编排、敏捷优化的理论与算法等。

在巨连接多址接入技术与系统方面，随着智能家居、医疗卫生、车载通信以及城市信息化等需求的大规模增长，机器通信（machine type communication, MTC）设备及通信连接数经历了井喷式的发展。移动通信网络因其具有覆盖范围广、基础设施丰富、可靠度高的优势，将成为 MTC 业务的主要承载网络，为此，业界试图将未来移动通信的应用范围从目前的人与人通信拓展至人机物协同通信、超密集连接物联网、车联网以及工业互联网等更为广泛的领域。典型的 MTC 业务涉及大量并发小数据传输，而终端连接数将达千亿量级，增加百

倍以上。新特征对未来无线网络的设计与优化带来了新的难题，因此，开展巨连接多址接入技术与系统研究成为未来无线网络研究的重要内容，其涉及具体内容包括探索巨连接无线网络容量和吞吐量分析理论方法，探索信息物理系统无线接入理论方法，挖掘空、时、频、码多域多址通信潜力，提出巨连接多址接入理论方法，研究巨连接环境下新接入方法与技术，开展相关芯片的研究开发，构建巨连接多址、广带多载波接入理论方法验证系统。

在大规模无线通信新型天线和射频理论与技术方面，对 4G LTE 多通道的天线已经完成研发，但现有多通道天线仍难以满足未来对无线通信的高速率传输需求，考虑未来移动通信的传输速率和指向增益需求，大规模天线可以提供更多的无线传输物理通道，但也面临更多的物理限制及技术难题，系统基站侧和终端侧均需要投入资源展开相应的研究。另外，面对未来更宽且非连续的射频带宽，高度集成化的射频器件面临包括功耗、噪声系数、非线性及尺寸等多项挑战，进一步，射频器件还需要完成一些“模拟计算”的功能。目前，射频理论和技术已日趋成熟，但针对更大带宽和小型集成化等需求，仍然有较多目标待实现，有较多理论和实现技术待突破。其涉及的具体内容包括探索跨频段大规模阵列天线参数之间的制约关系、多通道高集成度射频电路的非线性和干扰产生机理与行为表征，研制系统基站侧大规模阵列天线和终端侧大规模天线。对于系统基站侧，研究大规模阵列天线的系统架构、单元天线方案选型、通道间隔离方案、通道间幅度和相位一致性等；对于终端侧，研究终端大规模天线的系统布局方案、单元天线方案、单元间去耦等。

无线移动通信与网络已成为支撑经济繁荣和国家竞争力的基础，并成为人类社会信息共享与协作的基础平台。通信网络对科技与社会发展所起到的基础性、渗透性、引领性作用，在今后十年甚至更长的历史阶段无论如何强调也不过分。物联网技术

的进一步发展，将构造一个人机物和谐发展的美好世界，极大地扩展了信息技术的应用范围。移动互联网应用成为未来相当长一段时间内，带动信息产业发展的规模性增长点。新型智能手机应用极大地促进了互联网应用的深度与广度，移动通信应用业务流量在未来十年将呈现爆发式增长的状态。云计算、互联网、物联网、大数据技术相互融合发展，新型信息产品和服务不断涌现，信息产业、文化产业和社会事业进一步融合发展，民众将享有更加丰富多样、快捷经济的信息和文化服务。

“无线移动通信技术与设备”工程开发焦点的核心专利为 304 篇（表 2.2.1），排名前五的国家分别为：美国（148）、韩国（48）、加拿大（25）、芬兰（23）和中国（20），其中，美国作者所申请的授权发明专利占比达到了 58.96%，在专利数量方面比重较大，是该工程开发焦点的重点研究国家之一，平均被引频次为 44.64。核心专利授权排在前三的机构分别为：GLDS（24）、OYNO（23）和 QCOM（23），篇均被引频次排在前三的机构分别为 MOTI（66.42）、GOOG（57.86）和 IDIG（49.24）（表 2.2.2）。在授权专利主要机构中，MOTI 和 GOOG 合作较多（图 2.2.1、图 2.2.2）。2011—2016 年间，中国大陆与中国台湾地区授权

的与“无线移动通信技术与设备”工程开发焦点相关的核心专利分别为 25 篇和 3 篇。

2.2.2 车辆自动驾驶技术及应用

自动驾驶车辆是智能车辆发展的高级阶段，它能综合利用所具有的感知、决策和操控能力，在特定的环境中，代替人类驾驶员，独立地执行车辆驾驶任务。由于道路环境和天气条件复杂多变，实现车辆全自动驾驶的难度极大。要在所有区域和全天候条件下像人类驾驶员一样对车辆状态和环境变化做出实时的判断，并且相应地改变车辆驾驶方法，保证车辆安全行驶，自动驾驶系统必须具备很高程度的人工智能，这是一个遥远的目标。

近年来，美国、欧洲、日本等国的著名汽车厂商都非常重视自动驾驶技术的研究，它已经被作为新一代汽车产业革命的主要突破点。Google、百度等信息领域的高新技术企业也加入到自动驾驶技术研发的队伍中，并且进展迅速。各国的主要科研机构 and 院校也十分重视自动驾驶技术的研究，如美国国防高级研究计划局（DARPA）、中国国家自然科学基金委员会等。

目前，美国内华达州、佛罗里达州、加利福尼亚州、得克萨斯州、密歇根州以及首都华盛顿已立法准许自动驾驶车辆上路，但仅限于测试目的。德

表 2.2.1 “无线移动通信技术及设备”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	USA	148	58.96%	6607	66.23%	44.64
2	Korea	48	19.12%	1675	16.79%	34.90
3	Canada	25	9.96%	917	9.19%	36.68
4	Finland	23	9.16%	1041	10.44%	45.26
5	China	20	7.97%	444	4.45%	22.20
6	Japan	16	6.37%	322	3.23%	20.13
7	Germany	8	3.19%	230	2.31%	28.75
8	UK	7	2.79%	139	1.39%	19.86
9	Sweden	6	2.39%	161	1.61%	26.83
10	Taiwan of China	3	1.20%	46	0.46%	15.33

表 2.2.2 “无线移动通信技术及设备”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构*	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	GLDS	24	9.56%	749	7.51%	31.21
2	OYNO	23	9.16%	1111	11.14%	48.30
3	QCOM	23	9.16%	891	8.93%	38.74
4	SMSU	23	9.16%	892	8.94%	38.78
5	IDIG	17	6.77%	837	8.39%	49.24
6	RIMR	15	5.98%	595	5.96%	39.67
7	MOTI	12	4.78%	797	7.99%	66.42
8	APPY	9	3.59%	380	3.81%	42.22
9	TELF	8	3.19%	389	3.90%	48.63
10	GOOG	7	2.79%	405	4.06%	57.86

* 机构全称：GLDS 表示 LG Electronics Inc.；OYNO 表示 Nokia Corp.；QCOM 表示 Qualcomm Inc.；SMSU 表示 Samsung Electronics Co., Ltd.；IDIG 表示 Interdigital Patent Holdings Inc.；RIMR 表示 Research in Motion Limited；MOTI 表示 Motorola Mobility Inc.；APPY 表示 Apple Inc.；TELF 表示 Telefonaktiebolaget Ericsson L M；GOOG 表示 Google Inc.。

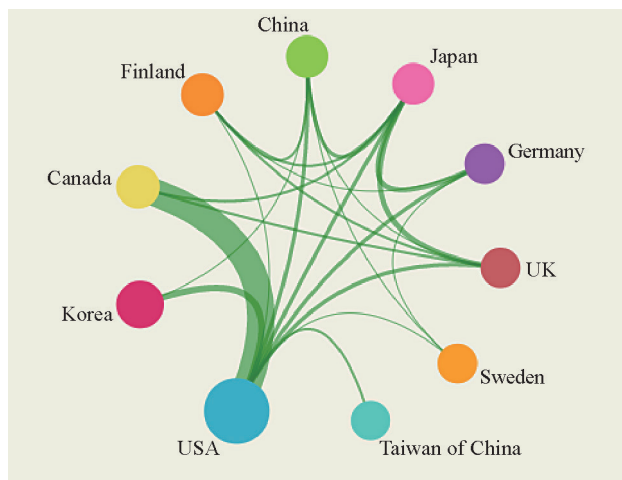


图 2.2.1 “无线移动通信技术及设备”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

国也是最早开始研究自动驾驶技术的国家。2013 年，采用自动驾驶技术的奔驰 S500 在城市和城际道路完成了长距离自动驾驶试验，重走了 125 年前奔驰夫人贝尔女士的旅程。作为以汽车主动安全产品为特色的汽车厂商，沃尔沃的自动驾驶车辆已在西班牙的公路和瑞典试车跑道上测试运行了 1 万英里（相当于 16 093 km）。沃尔沃对自动驾驶车辆可能出现的交通事故进行表态：若汽车处于自动驾驶状态，沃尔沃将承担全部责任。虽然国外对自主

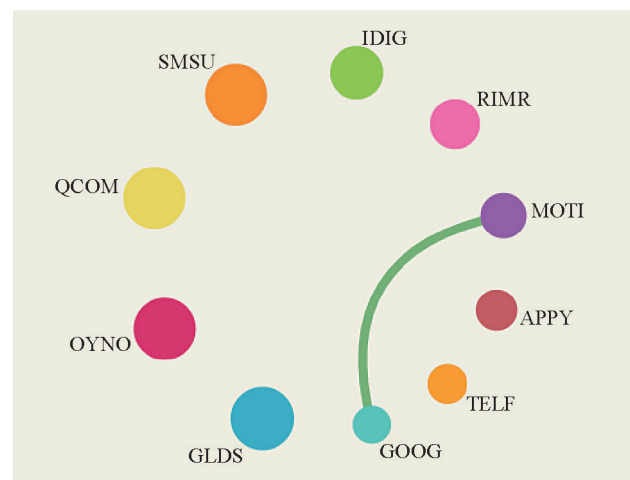


图 2.2.2 “无线移动通信技术及设备”工程开发焦点主要机构间的合作网络

驾驶领域的研究起步早、投入大，但是该领域的国内外技术差距正在逐步缩小。近年来，在国家自然科学基金“视听觉信息的认知计算”重大研究计划支持下，国防科技大学、南京理工大学、北京理工大学、西安交通大学、军事交通学院、中国科学院合肥物质科学研究院、清华大学、同济大学、上海交通大学等院校和研究所在自动驾驶领域取得一系列理论和关键技术的研究进展。

虽然自动驾驶技术已经取得了很大的进步，然

而依然面临着许多挑战，尤其是在复杂地形、复杂天气、复杂道路交通环境条件下，现有理论与方法难以实现环境感知、自主决策和控制的性能优化。车辆自动驾驶系统面临的技术挑战可以概括为以下几点：

- 复杂天气条件下的环境感知能力。环境感知无疑是自动驾驶系统面临的首要任务，特别是在雨、雪、雾等复杂天气条件下，自动驾驶系统要实现准确快速的环境感知将变得十分困难。

- 复杂交通条件下的行为决策能力与运动规划技术。在有多动态目标或是交通拥堵条件下，自动驾驶车辆需要估计各种物体对自身运动的影响，而在各种可能的行为策略中选择一个最优的策略。这一系列过程要求实时准确完成，并且满足安全性、平稳性的要求。

- 特殊交通条件下的车辆控制技术。车速较高时，横风、道路横坡等干扰因素对车辆转向的干扰变得越来越严重，如何适应路面结冰以及不同材质的路况是车辆控制技术必须面对的一个棘手问题。

- 密集车辆状况下的多源通信技术。未来的智能交通系统由地面智能控制中心、地面智能设备和自动驾驶车辆等三个部分组成。自动驾驶车辆需要具备同其他车辆、地面设备以及控制中心进行多源通信的能力，并充分利用多源信息以保证车辆的高效行驶。

在“十三五”期间继续加强基础理论研究，突破如下关键技术：

- 地面环境感知与理解技术。地面环境感知与理解技术依然是自动驾驶车辆面临的瓶颈难题，需要重点研究并突破基于地面环境特征的辅助定位技术、多源信息融合下的地面目标识别跟踪与行为分析技术、地面环境场景理解与语义分析技术以及大数据条件下的协同感知与信息融合技术。

- 自动驾驶的货车编队控制，完成3~5辆车的自主编队演示。车辆的编队行驶能够提高道路的导通率。需要重点研究在高速公路等结构化环境

中自动驾驶车辆自动编队的决策理论与技术以及车辆启动、变速、刹车等性能一致性的优化控制技术。

- 自动驾驶车辆多层次人机交互技术。研究分层认知地图建模技术、基于人机智能融合的多层次协同的辅助驾驶技术。

- 用于自动驾驶车辆的机器学习方法与技术。应用机器学习是提高自动驾驶车辆智能水平的有效途径，需要研究驾驶行为的多目标优化技术、适于机器学习的驾驶行为特征表示方法、基于自适应评价原理的驾驶行为增强学习方法及其他自动驾驶车辆机器学习新方法。

- 自动驾驶车辆车载通信技术。高速移动状态下的多信道、高可靠的车路/车车信息交互与融合技术；密集车辆场景下高效的多信道接入控制技术。

- 建立自动驾驶车辆演示和测试基地所需的主要技术。自动驾驶车辆的一个难点就是通过交叉路口，这需要地面设备的辅助。演示基地需要明确交叉路口提示信息的内容规范，并制定相应的法律法规。演示和测试基地需要具备对其中运行自动驾驶车辆状态的准确监控，这就需要准确的目标识别与跟踪能力。另外演示基地还需要为自动驾驶车辆提供专用导航地图，以帮助其在GPS信号受到干扰的情况下依然能够高精度定位。

- 自动驾驶车辆智能功能标准和测试方法。研究并制定自动驾驶车辆的标准以及分级体系，能够在该体系框架下制定一系列测试方法与测试规范，对自动驾驶车辆的智能水平进行科学的测试与评判。

- 基于智能手机的自动驾驶车辆操控技术。基于智能手机的自动驾驶车辆操控技术，如利用智能手机指定自动驾驶车辆自动泊车到指定停车位，基于智能手机的自动驾驶车辆环境识别辅助系统。

车辆自动驾驶技术的研究水平直接制约了我国汽车主动安全系统的技术性能，是一项关系国家建设和安全的基础性和战略性课题。其研究成果不仅

能够显著地提高我国汽车工业的自主创新水平，极大地促进我国汽车主动安全技术和汽车电子产品的发展，而且也将带动军事、航天、海洋、工业等领域智能车辆系统的研究。与此同时，复杂环境下的自动驾驶理论与技术研究也为多学科的交叉融合提供一个很好的平台，必将促进不同学科之间的相互应用、相互学习，推动相关学科基础理论的深入研究。

“车辆自动驾驶技术及应用”工程开发焦点中专利产出国家/地区排名前三位的分别为美国（129）、日本（35）和德国（34），其中，美国

占总公开量的 55.13%（表 2.2.3、图 2.2.3）。核心专利产出排名前三的机构分别为：GENK（18）、GOOG（18）、FORD（15），合作较多的是 FORD 和 BOSC、FORD 和 MASI（表 2.2.4、图 2.2.4）。

2.2.3 激光光源技术

世界上第一台激光器诞生于 1960 年，50 多年来，激光技术与应用发展迅猛，已与多个学科相结合形成多个应用技术领域，比如光电技术、激光医疗与光子生物学、激光加工技术、激光检测与计量技术、激光全息技术、激光光谱分析技术、非线性

表 2.2.3 “车辆自动驾驶技术及应用”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家/地区	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	USA	129	55.13%	2710	67.16%	21.01
2	Japan	35	14.96%	325	8.05%	9.29
3	Germany	34	14.53%	511	12.66%	15.03
4	China	18	7.69%	273	6.77%	15.17
5	Korea	7	2.99%	69	1.71%	9.86
6	Sweden	4	1.71%	73	1.81%	18.25
7	UK	3	1.28%	47	1.16%	15.67
8	Canada	2	0.85%	12	0.30%	6.00
9	India	2	0.85%	50	1.24%	25.00
10	The Netherlands	2	0.85%	9	0.22%	4.50

表 2.2.4 “车辆自动驾驶技术及应用”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构*	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	GENK	18	7.69%	292	7.24%	16.22
2	GOOG	18	7.69%	483	11.97%	26.83
3	FORD	15	6.41%	187	4.63%	12.47
4	NSUM	11	4.70%	159	3.94%	14.45
5	TOYT	11	4.70%	174	4.31%	15.82
6	BOSC	7	2.99%	119	2.95%	17.00
7	HOND	6	2.56%	117	2.90%	19.50
8	DAIM	4	1.71%	161	3.99%	40.25
9	MASI	4	1.71%	102	2.53%	25.50
10	TEVE	4	1.71%	36	0.89%	9.00

* 机构全称：GENK 表示 General Motors LLC；GOOG 表示 Google Inc.；FORD 表示 Ford Global Technologies LLC；NSUM 表示 Audi AG；TOYT 表示 Toyota Jidosha Kabushiki Kaisha；BOSC 表示 Robert Bosch GmbH；HOND 表示 Honda Motor Co., Ltd.；DAIM 表示 Daimler Trucks North America LLC；MASI 表示 Massachusetts Institute of Technology；TEVE 表示 Continental Teves AG & CO. OHG。

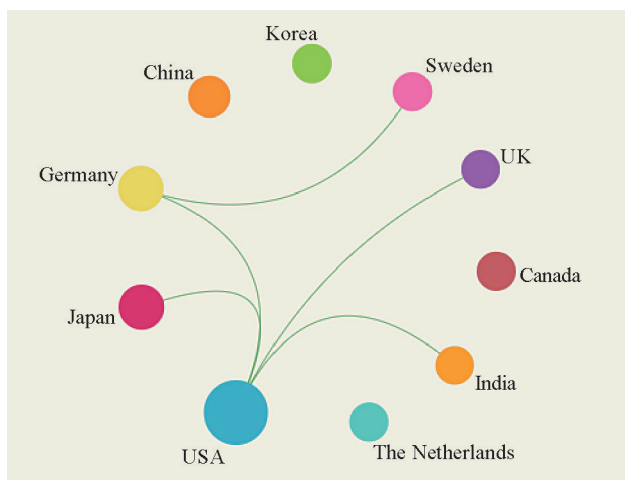


图 2.2.3 “车辆自动驾驶技术及应用”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

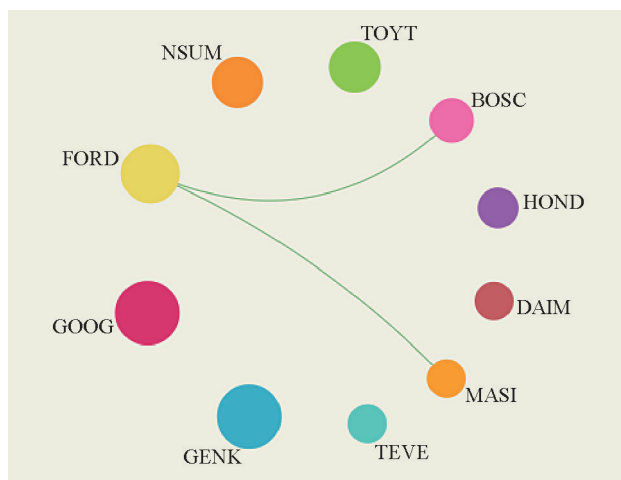


图 2.2.4 “车辆自动驾驶技术及应用”工程开发焦点主要机构间的合作网络（涉及机构较多，但机构间合作较稀疏，机构显示不充分）

光学、超快激光学、激光化学、量子光学、激光雷达、激光制导、激光分离同位素、激光可控核聚变、激光武器等。这些交叉技术与新学科的出现，大大地推动了传统产业和新兴产业的发展。激光光源技术主要指与激光器相关的光学、电子学等领域内的材料、工艺、技术、元件、工程实现技术等，具体包括不同波段激光器，连续或脉冲激光器，高功率激光器，固体、气体、半导体、光纤激光器等的实现；激光器的模式、功率、调制特性等性能的提升。

在各种激光光源技术中，最为活跃、增长最快的一类为半导体激光器，因其具有很明显的技术优

势，如体积小、重量轻、效率高、能耗小、寿命长以及金属对半导体激光吸收高等优点得到广泛应用，已成为光电子产业中的重要支柱。不同的应用对半导体激光器性能要求也不同，提升其性能的关键技术包括：基于超晶格量子阱的优异性能而迅速发展起来的量子阱、量子线和量子点大功率激光器；优化芯片结构和加工工艺，如外腔反馈光谱合束技术改善半导体激光器合束光源的光束质量；制备布拉格光栅进行选频等技术。

同时，随着半导体激光技术的不断发展，以半导体激光器为基础的其他固体激光器，如光纤激光

表 2.2.5 “激光光源技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	USA	98	64.90%	2476	76.97%	25.27
2	Japan	21	13.91%	324	10.07%	15.43
3	China	17	11.26%	254	7.90%	14.94
4	Germany	8	5.30%	89	2.77%	11.13
5	Austria	3	1.99%	35	1.09%	11.67
6	Switzerland	2	1.32%	4	0.12%	2.00
7	Israel	2	1.32%	30	0.93%	15.00
8	Canada	1	0.66%	61	1.90%	61.00
9	France	1	0.66%	2	0.06%	2.00
10	UK	1	0.66%	3	0.09%	3.00

器、半导体泵浦固体激光器、片状激光器等的发展也十分迅速。其中，光纤激光器发展较快，尤其是元素掺杂稀土元素的光纤放大器推动了光纤激光器的发展，在光通信、光纤传感、激光材料处理等领域获得了广泛的应用。实现光纤激光器的关键技术主要有：特种光纤技术，研制以光子晶体光纤为代表的新一代特种光纤；包层泵浦耦合技术，发展对纤芯影响最小的泵浦耦合技术室泵浦耦合器件；光纤光栅技术，光栅的性能的提高使其更好地应用在光纤激光器中。

未来激光器光源的发展方向就是继续提升自身

性能，将会是：继续提高输出功率、提高光束质量；扩展新的激光波段、拓展激光器的可调谐范围；压窄激光谱宽；开发极高峰值的超短脉冲高亮度激光器；进行整体小型化、实用化、智能化等研究。

“激光光源技术”工程开发焦点中专利产出国家/地区排名前三位的分别为美国(20)、日本(21)和中国(17)，其中，美国占总公开量的64.90%(表2.2.5、图2.2.5)。核心专利产出排名前三的机构分别为：FORO(20)、GIGA(8)、HONE(5)，合作较多的是ASML和CYME(表2.2.6、图2.2.6)。

表 2.2.6 “激光光源技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构*	公开量	公开量比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	FORO	20	13.25%	514	15.98%	25.70
2	GIGA	8	5.30%	192	5.97%	24.00
3	HONE	5	3.31%	198	6.15%	39.60
4	KLAT	5	3.31%	92	2.86%	18.40
5	ASML	4	2.65%	116	3.61%	29.00
6	CYME	4	2.65%	116	3.61%	29.00
7	ESII	4	2.65%	105	3.26%	26.25
8	LENS	4	2.65%	44	1.37%	11.00
9	LOCK	4	2.65%	130	4.04%	32.50
10	SORA	4	2.65%	182	5.66%	45.50

* 机构全称：FORO 表示 Foro Energy Inc.；GIGA 表示 Gigaphoton Inc.；HONE 表示 Honeywell；KLAT 表示 KLA-Tencor Corp.；ASML 表示 ASML Netherlands BV；CYME 表示 Cymer Inc.；ESII 表示 Electro Scientific Industries Inc.；LENS 表示 Lensar Inc.；LOCK 表示 Lockheed Martin Corp.；SORA 表示 SORAA Inc.。

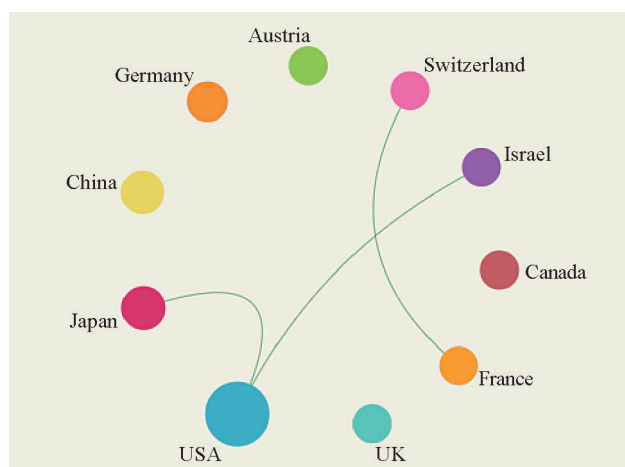


图 2.2.5 “激光光源技术”工程开发焦点主要国家或地区间的合作网络

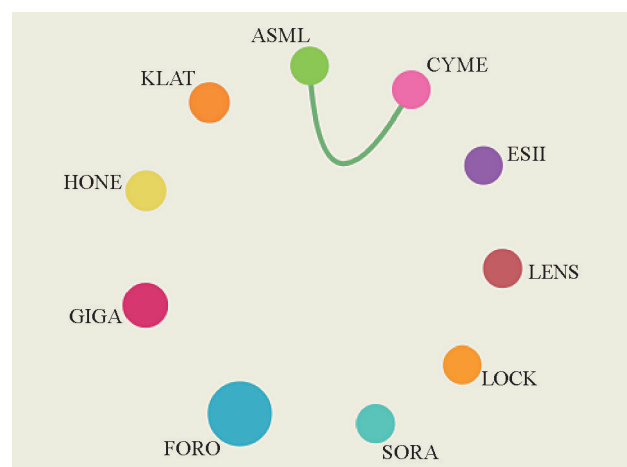


图 2.2.6 “激光光源技术”工程开发焦点主要机构间的合作网络（涉及机构较多，但机构间合作较稀疏，机构显示不充分）

项目参与人员

领域课题组人员

领域课题组专家

领域课题组长：潘云鹤 卢锡城

领域课题组副组长：

邬江兴 姜会林

院士专家：

第一组 李天初 陈良惠 龚惠兴 姜会林
周寿恒 韦 钰

第二组 邬江兴 段宝岩 陈志杰 刘韵洁
樊邦奎 吴伟仁

第三组 潘云鹤 卢锡城 郑南宁 李伯虎
费爱国 赵沁平 吴建平

工作组成员名单

学者：吴朝晖 吴 飞 张朝阳

工作组顾问：张月红

图情专家：杨未强 刘书雷 赵海洋 秦 利
耿国桐 钱 旭 李聪颖 刘 琼
陈振英

联络员：范桂梅 王 兵 曾建林

秘书：胡晓女 翟自洋

报告执笔人名单（按参与先后顺序）

赵义武 甘海勇 黄 韬 胡 源 孙宏滨
谢人超 崔 晋 万华根 章国锋 朱建科
李 磊 许 超 赵 洲 胡晓女 黄 颖
余 伟 时 磊 董树荣 刘妹琴 李道飞