2022年度《发展报告》的组织和策划工作得到了CCF各专业委员会和广大会员的大力支持与积极响应，共收到23份反映不同方向进展的报告申请，进入撰写状态共18篇。CCF学术工作委员会组织评审，遴选出11篇纸质出版，7篇电子出版。

计算机科学与技术发展的突出特点就是现有方向不断发展、深化，同时新兴方向不断涌现。今年的《发展报告》充分反映了这一趋势，这里面既有经典方向上的新挑战和新进展，也有新兴方向上的新问题，充分体现了中国计算机学会对计算技术发展中的新问题、前沿技术的思考。以下是《发展报告》中各篇文章的摘要内容：

**纸质出版报告**

一、持续学习的研究进展与趋势--CCF大数据专家委员会

作者：李文斌、熊亚锟、范祉辰、邓波、曹付元、高阳

随着深度学习技术的发展与应用，特别是资源受限场景和数据安全场景对序列任务和数据进行快速学习需求的增多，持续学习逐渐成为机器学习领域关注的一个新热点。不同于人类所具备的持续学习和迁移知识的能力，现有深度学习模型在序列学习过程中容易遭受灾难性遗忘的问题。因此，如何在动态、非平稳的序列任务及流式数据中不断学习新知识，同时保留旧知识，是持续学习研究的核心。近年来，持续学习方向得到极大的关注并快速发展，涌现出大量持续学习方法，但是其在理论、框架和实际场景中仍然存在很多可研究的内容。本文致力于将近几年国内外的相关研究进展进行梳理，给相关研究人员提供一个系统的技术参考体系，并对持续学习未来的发展和趋势做出一些展望。

二、图计算体系结构和系统软件关键技术研究进展与趋势--CCF分布式计算与系统专业委员会

作者：廖小飞、张宁、赵进、翟季冬、张岩峰、杨智、李超

近年来，国内外在图计算体系结构和系统软件关键技术方面取得了一定进展，大规模图计算也已广泛应用于诸多领域，包括科学计算、机器学习、社交网络、智慧交通和生物信息学等。然而，现实场景图计算大多具有动态变化、应用需求复杂多样等特征。这为图计算在基础理论、体系架构、系统软件关键技术方面提出了新的需求，带来了新的挑战。本文将综述国内外图计算体系结构和系统软件关键技术的研究发展现状，对国内外研究的最新进展进行归纳、比较和分析，并结合国家发展战略和重大应用需求，选取与我国国计民生密切相关的领域，从典型应用分析及总结图计算相关技术的行业进展。最后，就未来的技术挑战和研究方向进行展望。

三、无人集群网络技术研究进展与趋势—CCF互联网专业委员会

作者：苏金树、赵宝康、韩彪、刘敏、魏子令

无人集群是大量无人系统通过组网通信和任务协同，充分利用无人平台低成本、小型化、功能丰富、组网灵活等特性，以网络化协同控制为基础，以提升协同任务能力为目标的新型分布式系统。稳健可靠的通信网络是无人集群的重要支撑技术，是无人集群在运用过程中发挥效能的基础。本文从无人集群网络的需求出发，聚焦无人集群相关项目的最新国内外进展，重点围绕无人集群网络体系架构、数据链路层协议、网络层路由协议、网络协同规划、可靠传输与安全等相关技术进行梳理总结，并对无人集群网络技术的潜在发展方向进行展望。

四、深度认知网络的研究进展与趋势--CCF计算机视觉专业委员会

作者：黄岩、郭奕君、王亮

深度学习在计算机视觉、自然语言/语音处理等领域取得了很大成功，在单一感知任务上的精度逼近甚至超过人类水平。然而，真实场景下的任务更加复杂，更考验模型的信息选择性过滤、长时间存储、交互式推理等类人认知能力，这些是现有深度学习模型所不具备的。深度认知网络是近年来蓬勃发展的一类新型深度学习模型，在传统深度学习模型的基础上，结合认知神经学相关研究成果，对注意、记忆、推理等认知机制与认知过程进行建模，实现相应的类人认知功能。本报告首先从注意机制建模、记忆机制建模、推理机制建模三方面分别归纳总结当前国内外研究进展，然后联系认知神经学中与认知机制相关的重要理论、实验证据、计算模型，阐述深度认知网络的科学内涵，最后对国内外研究进展进行简要比较与分析，并对未来发展趋势进行讨论和展望。

五、从区块链到Web3.0: 研究现状与未来展望--CCF区块链专业委员会

作者：郑子彬、斯雪明、祝烈煌、朱建明

区块链技术在我国数字经济发展和数字产业化过程中扮演着重要的战略角色，同时也推动了分布式系统的发展，成为 We 3.0 的核心驱动力。Web 3.0 是更加开放、普惠和安全的新一代互联网，它实现了让用户拥有自主权并能够在网络中进行可信价值转移的关键特性，构建了用户和开发者共建共享的新经济系统。本文对区块链赋能 Web 3.0 的相关技术进行了系统性分析，从基础层、数据层、网络层和应用层四个方面自底向上地阐述了区块链技术与Web 3.0的紧密联系，突显了区块链在 Web 3.0 发展中的重要作用。同时，还总结和分析了国内外相关研究的进展，并展望了我国未来Web 3.0 的发展方向。

六、存内计算研究进展与发展趋势--CCF容错计算专业委员会&CCF集成电路设计专业委员会

作者：储著飞、洪庆辉、李冰、刘成、尹勋钊、岳金山、张吉良、卓成、李华伟

人工智能与物联网时代，大数据模型驱动的应用场景和计算任务层出不穷，极大地促进了国家数字化的发展。然而，传统的冯·诺依曼体系结构的硬件系统由于存算分离的结构特点导致存储墙瓶颈，在数据密集型应用中产生了大量的数据搬运成本，抑制了能效性能的提升。存算一体技术是后摩尔时代背离传统架构系统的新型计算范式，利用存储单元器件和电路内在特性，将基本的计算逻辑任务融入存储单元之中，从而消除数据搬运的开销，有望实现智能计算硬件平台能效性能的显著提升。本文从存算一体技术的应用、电路、架构和工具等方面对相关研究进行讨论，并针对目前业内的可行性方向给出了发展趋势的总结与展望。

七、数字孪生信息系统的研究进展与趋势--CCF信息系统专业委员会&CCF虚拟现实与可视化技术专业委员会

作者：杨世宇、孔祥杰、洪朝群、李伟、王鑫、罗训

随着数字孪生技术的发展和广泛应用，基于数字孪生技术的新一代信息系统正受到来自学术界与工业界的高度关注。本文从模型与建模方法、数据的采集与传输、数据管理技术、数据和模型的双驱动管理控制、虚拟现实与可视化交互以及数字孪生信息系统安全等方面对国内外研究进展进行了系统的归纳、比较和分析。围绕数字孪生信息系统的应用，本文选取数字孪生城市、数字孪生交通、数字孪生医疗和工业数字孪生等关键应用场景，介绍相关行业的应用进展。最后，对数字孪生信息系统的关键技术挑战和发展趋势进行了展望。

八、情感分析研究进展与趋势--CCF自然语言处理专业委员会

作者：夏睿、戴新宇、虞剑飞、吴震

随着网络技术的快速发展和普及，互联网进入了以用户生成内容为核心特征的社交网络时代。人们在社交网络平台上交流和互动，发表了大量的主观性文本数据，反映了民众对于新闻时事、政策法规、产品服务等话题的观点、态度、倾向性等主观情感。文本情感分析的目标是建立有效的计算模型来分析和处理 (含识别、抽取、理解、推理等) 文本中的情感信息，是自然语言处理领域的研究热点和重要方向。本发展报告将回顾文本情感分析的发展历史，总结文本情感分析主要研究问题和任务体系，从细粒度、多模态、可解释情感分析 3 个方面重点介绍近年来领域热点及其最新进展，综述情感分析应用现状，最后总结情感分析领域存在的挑战，并对未来研究做出展望。

九、类脑计算技术研究进展与发展趋势--CCF体系结构专业委员会

作者：王蕾、陈亮、裴颂文、杨玉超、邓磊、张悠慧、马德、徐子晨、赵地、康子扬

类脑计算已经逐渐成为当前计算机领域研究的热点之一。通过类脑计算的研究能够更好地理解脑计算模型，为实现类脑计算智能提供路径。本报告首先回顾了人工智能发展，突出了类脑计算智能发展和机遇。然后从类脑计算模型、新型器件、类脑处理器、类脑算法、工具链等方面介绍了类脑计算技术的国内外研究现状。接着，从文献、专利成果方面对现有国内外科研力量进行分析和对比。最后，展望类脑计算未来的发展方向、可能的应用领域与机遇，以及其对未来智能科学与人类社会潜在的深远影响。

十、面向安全泛在计算的系统软件的研究进展与趋势--CCF系统软件专业委员会&CCF软件工程专业委员会&CCF形式化方法专业委员会

作者：胡振江、谢涛、詹乃军、曹东刚、郝丹、孙泽宇、吴志林、熊英飞、张伟、张昕、卜磊、曹钦翔、陈钢、陈俊洁、陈立前、陈渝、董威、符鸿飞、高鹏飞、贺飞、江贺、姜宇、李栋、李炼、庞军、蒲戈光、汪宇霆、夏壁灿、夏虞斌、杨争峰、詹博华、赵永望

当前人机物融合泛在计算的时代正在开启，泛在计算模式的新特征对新型系统软件带来了全方位的挑战。有必要为面向泛在计算场景的新型系统软件建立新的安全理论、技术和应用体系，推动安全保障等方面的研究发展。本发展报告在总结面向安全泛在计算的新型系统软件在学术界和产业界最新进展和关键技术的基础上，分析了面向安全泛在计算的系统软件面临的主要挑战和发展趋势。

十一、元宇宙中的人机交互技术研究进展与趋势--CCF人机交互专业委员会

作者：史元春、易鑫、王党校、韩腾、阎裕康、王运涛、宋维涛、蔡玮、朱长宝、陈震、喻纯

近年来，元宇宙概念的出现和飞速发展给学术研究和产业界带来了广泛的影响，元宇宙成为影响未来人机交互形态的重要领域。人机交互作为元宇宙的核心支撑技术之一，在元宇宙的发展中发挥着不可或缺的作用。然而，由于元宇宙中的人机交互技术需要多学科、多领域的交叉，具有与传统人机交互显著不同的研究挑战。本文从拓展现实中的信息呈现和交互感知、输入和交互反馈输出技术、NFT、座舱交互等特定情境的元宇宙交互技术等角度，总结近几年国内外研究进展，并对国内外研究现状进行分析和比较，最后对相关研究方向发展趋势进行展望。

**电子出版报告**

一、约束求解技术与应用--CCF形式化方法专业委员会

作者：张健、蔡少伟、陈振邦、贺飞、李占山、马菲菲、吴志林、钟卓炜、储著飞

约束求解一直是计算机科学与人工智能的重要研究方向。很多实际问题可以使用各种形式的约束来描述和建模，进而用约束求解技术来解决。本报告对近年来该领域的国内外研究进展进行分析总结，介绍一些基本概念、理论基础、求解算法和工具，以及在调度、硬件设计自动化、软件分析与验证等方面的应用，最后对发展趋势进行展望。

二、    软件供应链安全的研究进展与趋势--CCF计算机安全专业委员会

作者：贾相堃、张源、闫佳、苏璞睿、杨珉、冯登国

软件供应链安全是网络空间安全的重要内容，是关乎国家安全、产业健康的重大战略需求。相比于传统的网络攻击，软件供应链攻击具有攻击面增多、攻击危害性扩大、攻击防御难度大、治理难度大等特点。本文围绕软件供应链安全这一主题，从软件供应链安全模型与框架研究、软件供应链攻击检测与分析技术、软件供应链加固与防御技术和软件供应链安全管理方案等四个方面对相关工作进行了整理和介绍。总结发现，当前软件供应链安全已经得到了广泛重视，并有了一些成果，然而目前仍缺少软件供应链安全实践所需的具体框架和措施，相关研究零散、针对性研究仍然较少，综合治理能力仍需提高。特别是中国相比于欧美国家，软件供应链安全研究和标准制定方面仍处于落后状态，需要重视“技术突破、技术综合、协同治理、自主合作”等关键点，实现技术创新。

三、开源软件生态治理技术: 现状、问题与展望--CCF开源发展委员会

作者：王莹、张宇霞、石琳、王涛、周明辉

在全球范围内，开源软件正在推动深度信息技术的创新发展，是软件产业的发展趋势也是核心动力。近年来，开源软件生态的研究吸引了产业界和学术界的广泛关注。本文针对开源软件生态系统的形成和可持续发展机制机理、群智开发支撑技术、开源软件供应链的质量保障机制的发展历史与现状进行综述。结合我国开源软件产业和软件教育发展特点，讲述国产开源软件生态的探索与实践历程。为进一步发展和治理开源生态，我们在四个方面提出建议:(1) 组织优势科研力量突破开源创新生态，发展核心机理和关键技术:(2) 着力构建我国主导的开源基础设施和开源生态体系:(3) 全面推进产教研深度融合，发展高校开源教育:(4)建立国际视野，促进开源国际化合作。

四、组合优化问题的机器学习求解研究进展与趋势--CCF人工智能与模式识别专业委员会

作者：严骏驰、郝建业、曾嘉、陆品燕、查宏远

机器学习和组合优化作为两个各自相对独立的领域，已经被各国学者广泛研究，得到了蓬勃的发展。其中，组合优化作为运筹学的重要和极具挑战分支，在 EDA (EIectronic Design Automation)、供应链等关键行业和领域扮演着重要角色，在工业界和学术界均受到广泛关注。事实上，传统组合优化算法的设计往往以具体问题的局部结构为导向，人工设计策略在充分利用历史迭代信息和先验知识等方面往往有所不足，设计机制缺乏与具体问题的适配性。而人工智能、特别是机器学习技术则注重以数据驱动的全局信息为导向，充分利用环境和先验，并通过模型训练等机制来充分适配具体问题。以此提高求解速度、缩短算法设计周期、降低人工设计成本。在这一领域，近年来出现的大量相关工作与研究进展，有望在组合优化等困难问题的求解方面另辟蹊径，并对机器学习乃至人工智能的发展带来深刻影响。在本报告中,我们对该交叉领域的研究进展进行梳理和分析，包括当前主流的研究方向、具体的组合优化问题实例及其基于机器学习的求解方案，组合优化问题的工业应用，该交叉领域的国内外研讨会等。此外，我们还创建并维护了一个组合优化机器学习这一研究主题相关文献列表:https://github.com/Thinklab-SJTU/awesome-ml4co，以追踪该领域的最新动态和研究进展，并吸引更多力量加入这一激动人心的领域。

五、编译器构造、验证与测试--CCF系统软件专业委员会

作者：陈俊洁、崔慧敏、冯新字、郝丹

编译器是应用程序和硬件间的桥梁，是软件生态中的重要基础软件。近年来，在国家政策的大力支持下，国内编译器的研发取得了较大进展，但与国际领先水平尚有一定距离。本发展报告在总结编译器构造、验证与测试的国际研究进展的基础上，分析了国内研究现状及与国际差距。在此基础上，指出编译器构造、验证和测试的发展趋势和展望。

六、音乐人工智能的研究进展与趋势--CCF语音对话与听觉专业委员会

作者：李 伟、夏凡、李子晋、河昇旻、李圣辰

从 1990 年代末开始，音频压缩技术逐渐成熟，互联网快速普及，半导体存储技术飞速发展，这些因素的共同作用使得音乐迅速从磁带和激光唱盘 (CD) 转变为互联网上以 MP3 格式为代表的数字音乐。海量数字音乐带来分类组织、查询检索、内容理解分析与创作等一系列问题和新应用，与人工智能 (Artifcial Intelligence，AI) 技术结合后促使产生了一个新兴的科技与艺术交融的交叉学科，即音乐人工智能 (Music AI)，其中又包括基于内容的音乐信息检索(Music Information Retrieval，MIR) 和音乐生成 (Music Generation) 两大部分。本文首先介绍声音的基本知识，之后阐述音乐科技、声音与音乐计算、音乐人工智能、计算机听觉、语音信息处理、音乐声学等各个相关领域概念的区别与联系，将该技术的数十个研究领域按照与音乐要素的密切程度划分为核心层与应用层。分类总结了各领域的概念、原理、应用、基本技术框架及典型文献，同时介绍了研究中常用的音乐领域知识并明确了中英文术语。最后总结音乐人工智能领域存在的各方面问题，并展望其未来发展趋势。

七、智能社会协同治理：研究现状与发展趋势--CCF协同计算专业委员会

作者：吕鹏、卢暾、张鹏、蒋嶷川、汤庸、顾宁

智能社会是以“人机物”的高度耦合为核心特征，以智能社会协同治理为核心治理模式，形成生物人到智能体的主体性转变，全面拓展人类的生物、时间、空间等存在属性的社会形态。智能社会协同治理是智能社会智能体充分调动各类智慧、技术、资源而形成的有机整合的治理模式，以解决智能社会的个体成员、运行规律、社会机构、治理模式、政策制定、伦理规范等一系列重大问题。国内外学者综合运用模型驱动和数据驱动的方法对智能社会进行建模，从智能社会拓扑、协同决策优化等角度研究智能环境下的协同治理技术，发展出了一系列智能社会协同治理的机理与模型。近些年来，物联网、人工智能、大数据等技术的发展进一步拓宽了智能社会协同治理的范畴，呈现出广阔的应用前景，但同时也对智能社会协同治理的模型与应用提出了新的挑战。本报告从人类发展历史与核心社会特征演化趋势、数字社会向智能社会过渡阶段研究，协同计算的主要模型和方法，协同计算在智能社会行为体“人机物”互动中的应用三个方面，对国内外的相关研究现状和进展进行综述和对比分析，凝练存在的关键科学与技术问题，分析各研究分支的特色和可能存在的互补性，最终给出该方向未来的潜在发展与研究方向。