

申报领域	信息科学领域
申请资助类别	B 类
受理日期	2014-04-15
受理编号	SQ2015CB030481

国家重点基础研究计划（973 计划） 项目申请书

项目名称：网络通信与计算的协同理论与方法

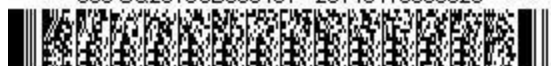
申报单位：中国科学院数学与系统科学研究院

项目首席科学家：吕金虎

申报日期：2014 年 03 月 24 日

中华人民共和国科学技术部制

009 SQ2015CB030481 20140415095323



项目摘要

信息通信技术作为国家新兴产业的核心技术，其战略性、基础性、先导性作用日趋突出。移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用造成了EB级的数据通信需求，而通信能力却正遭遇瓶颈问题：“时空频码”等通信资源的利用已逼近理论上限，而系统级的密集复用又带来资源互扰等问题，“打开通信瓶颈、承载海量业务”已成为全球最具挑战性的课题之一。通过网络通信与计算的有机协同，提高资源利用效率，提供绿色高效的通信能力，突破通信瓶颈，在开发和捍卫国家网络信息疆域激烈的国际竞争中抢占制高点，是国家安全和经济社会发展的重大战略需求。

针对指南方向“网络通信与计算的协同理论与方法”，本项目提出在网络空间中构建精准时空体系，以此为支撑，探索通信能力与计算能力的协同机理，促进网络通信与计算的高效时空协同，实现网络资源的精准投放与精细管理，突破通信瓶颈，适应业务时空分布多样性特征。在上述思路指导下，聚焦3个关键科学问题：网络空间中精准时空体系的构建机制与机理、网络群体行为的时空规律认知与干预调控机理、精准时空体系中网络通信与计算的相互作用规律。

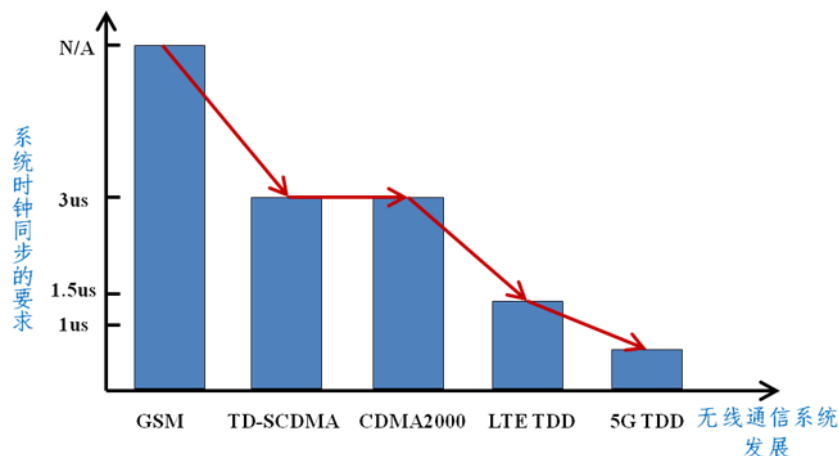
围绕上述科学问题,设置6个课题:网络空间中精准时空体系的表征与建模、网络群体行为的本质特征与运动规律的认知、移动环境下通信与计算时空协同机理、网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理、网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障、基于北斗精准时空体系的实验验证。

预期目标：基于上述研究，提出异构组网和路由算法、服务质量保障的按需调控方法、时空协同的计算通信协作模型以及可获得的网络增益上限等，并选择中国教育科研网、TD-SCDMA/TD-LTE 测试环境、湖北省北斗精密定位服务系统等载体完成实验验证。通过项目实施提升中国在网络通信与计算协同领域的话语权、国际地位和学术影响力，更好地服务于国家重大战略和国家重大工程需求。

团队包括中科院院士 1 人，IEEE Fellow 3 人，长江学者 2 人，国家杰青 7 人，国家千人 2 人，国家百千万人才 7 人，中科院百人 4 人，863 专家 3 人，国家重大科技专项专家 2 人，工程院光华奖获得者 2 人。团队基础扎实，已在相关领域取得突破，发表 100 余篇 IEEE/SIAM/ACM 会刊论文，SCI 他引 10000 余次，研制 100 余项发明专利及技术标准，出色完成过一系列重要的国家级科研项目并

获得 9 项国家科技奖励。依托单位拥有 7 个国家级实验室和 8 个省部级实验室。
申请总经费 3800 万元。





空间信息是移动互联网、信息-物理融合系统关注的基础信息。移动互联网的主体具有典型天然的空间分布和移动特性,位置信息的感知和利用是移动互联网研究中如干扰拓扑结构、动态变化规律等多个方向的共同关注点。

互联网与无线传感网等领域中，如何利用节点与数据的地理位置信息成为大数据传输与异构组网机制的研究热点。研究表明：用户对数据信息的需求呈现强地域性特点，基于地理位置的信息聚合既可贴近用户需求又可降低通信压力，同时还可以根据数据中心负载情况动态分配就近节点，利用计算与通信的协同提高系统性能。以内容分发网络为典型代表的网络缓存技术考虑了用户的地理位置，把数据内容放在离用户更近的服务器上，既加快了访问速度，也节省了带宽资源。但是，该技术在信息组织结构的设计和聚合过程中没有充分利用地理位置信息，数据存储存在冗余。在移动互联网领域，资源的地理空间分布信息也逐渐引起关注。移动互联网干扰研究目前大都局限于频率空间或信号空间等单一维度，缺乏多维空间的联合处理。现有基于资源正交划分方法的干扰管理方案均会不同程度的降低资源复用因子，从而影响系统整体效率。因此，在密集网络干扰抑制和利用的研究中，将空域和频域相结合，利用信号空间自由度等来规避干扰的协调技术正成为研究的热点。

由此可见，时空信息是网络通信和计算的基石，时空信息技术也是网络通信和计算的共性基础技术，能够成为网络通信与计算协同的着力点与突破点。

通信瓶颈产生的本质在于资源与需求的时空失配。通信瓶颈通常表现为由于

“时空频码”等通信资源的投放与用户动态需求不匹配而造成的通信阻塞，且随用户需求的时空动态变化而变化，本质是资源与需求的时空失配。如“12306”网站的通信与计算资源全年绝大多数时候能够满足用户需求，但是大量业务需求会集中在某些时间段内（如春运、国庆假期等）爆发呈现出潮汐式特征，造成通信与计算资源在时间维度上的不匹配。再如奥运会、演唱会等大型群体活动时，大量移动业务需求集中在空间上某个点或区域中爆发，导致通信与计算资源在空间维度上的不匹配。

综上所述，通过研究资源与业务需求时空分布、时空动态演变规律，将有助于解决通信瓶颈问题。

1.2 精准时空体系是网络通信和计算高效协同的基础

网络通信与计算的协同是解决通信瓶颈的有效途径，二者高效协同依赖于精确的时空信息以及高精度、自主可控的时空基准。

高精度的时间同步有助于提高网络通信与计算的协同效能：网络编码是网络通信与计算协同的典型范例，当同步精度达到符号级别（纳秒级）时，使用物理层网络编码可获得 50% 的性能增益（相对于传统的网络编码）。在信息上附加高精度的时空信息（即时空戳，类似于分布式系统中的时间戳）将有助于对网络信息的空间定位。如马来西亚航空 MH370 失联事件中，飞行轨迹推算是基于如下原理：通过机上设备与 Inmarsat 卫星 6 次握手信号（ping）的时间延迟量确定卫星与飞机的距离，通过多普勒频移确定飞机移动方向，从而给出概略航迹（南北两个弧形地带）。如果在握手信号中加入少量的位置标识信息（仅十几个字节，可视为一种“时空戳”），那么根据位置和时间差可以求取运动速度和方向，简单的运算即可精确计算飞机坠海的区域。

因此，时空信息在移动互联网、信息-物理融合系统中都起着十分关键的基础性作用，在网络空间中建立精确、自主可控的时空基准，用“时空戳”恢复信息的时空属性，构建网络空间中的精准时空体系，研究该体系支持下的网络通信与计算协同，将是提高协同效能，解决通信瓶颈问题的有效途径之一。



1.3 实现精准时空体系下网络通信与计算高效协同的科学挑战

科学挑战一：网络空间中精准时空体系的构建

由于移动互联网、信息-物理融合系统等构成的网络空间不具备欧式空间的特性,因此如何在网络空间中构建精准时空体系将是面临的挑战性问题。基于北斗卫星导航系统的高精度时空信息感知技术为解决这一挑战提供了可行途径,但是如何利用部分、稀疏节点的高精度时空信息建立整网高精度时空基准是一个难点。而网络信息时空戳的制订、产生、撤销、跟踪、更新、维护,以及衍生出的测量、路由、信息表示等,则是另一个难点。

科学挑战二：精准时空体系下网络群体行为运动规律的认知

融入精准时空信息的网络空间，包含移动互联网、信息-物理融合系统以及卫星导航系统等，是一个更加复杂的多元异构网络系统，具有典型的多重复杂性特征，如有限或不确定信息、非线性、时滞、网络博弈等。上述多重复杂性导致了精准时空体系下网络群体行为具有不同的运动规律及其干预调控机理。精准时空体系下网络群体行为的认知为实现资源的精准投放、精细管理以及按需服务提供强有力的理论支撑。因此，对精准时空体系下网络群体行为的运动规律认知也是本项目面临的基础性挑战。

科学挑战三：建立网络通信与计算协作模型，实现高效协同

网络通信与计算资源均具有典型时空分布特性,在精准时空体系中上述时空特性会有怎样的作用以及具有时空属性的资源之间又如何相互作用,这些问题直接关系到网络通信与计算的协同效能。另外,不同应用中网络通信与计算资源的形态与运行机制不同,需求特点也不同,从而协同的内在机理也不同。因此研究网络通信与计算的协作模型及其高效协同机制,实现质量保障的按需服务是本项目面临的重大挑战。

1.4 科学意义

(1) 揭示科学规律

通过本项目研究,揭示精准时空体系下网络通信与计算协同的科学规律,包

括精准时空体系下网络空间与欧式空间的映射和转换机理；精准时空体系下网络群体行为的决策、反应与协调机制及其演化规律；融合精准时空信息的网络中业务流、控制流和资源流之间的相互作用原理及运动规律；时空协同的微观干预与宏观调控机制；网络通信与计算在时空域中的演化和相互作用规律；大数据计算在精准时空体系中的分布及其迁移规律。

（2）创立新原理与新方法

本项目将为精准时空体系下网络通信与计算协同提供新原理和新方法。包括：基于北斗地基增强系统的整网高精度时间同步理论与方法；网络信息加载精准时空标识的“时空戳”方法以及相应传输协议；以网络编码理论为支撑，设计多维分辨特性计算与处理方法；基于地理位置信息的“位址”标识的“存储-计算-转发”的新路由策略和方法；服务质量保障的网络通信资源与计算资源协同按需部署与动态调控方法；异构网络融合条件下的混合域多媒体信息流的自适应编码技术及鲁棒传输方法。

（3）促进多学科交叉

精准时空体系下网络通信与计算协同的研究跨越了网络通信、计算机科学和卫星导航等多个学科领域，是一个多学科汇聚融合的课题。上述研究不仅可以带动这些学科领域的发展与提高，也能推动这些学科间的协作与促进。



二、国内外研究现状和发展趋势

针对上述三个科学挑战，本章简要概述国内外研究现状和发展趋势。

2.1 网络空间中的时空体系

在网络空间中构建时空体系，首先要在网络空间中构建时空基准，然后将时空信息作用于网络资源，通过时空同步与定位的手段更精准地调控网络行为。

2.1.1 网络空间中的时间基准

移动互联网、信息-物理融合系统依靠时间同步技术建立并维持整网的统一时间基准，时间同步包含了时钟同步和频率同步两层含义。大规模网络高精度时间同步技术一直是网络通信等领域的研究热点和难点。通信传输速率和移动性的快速增长，都对时间基准提出了更高的要求[1-3]。通信技术从固定到移动、从低传输率到高传输率、从点对点到多点对多点、从单一网络到异构多网络等发展过程中（图 2-1），时间同步一直起着非常重要的作用：移动互联网中 FDD 无线系统（如 WCDMA）仅需节点间的频率同步即可，而 TDD 无线系统（如 LTE 等）则需要精确的时钟同步实现漫游和切换；在信息-物理融合系统中，由于物理世界的连续时间与信息世界的离散时间具有明确的鸿沟，因此通信需要更为精确的时间基准（如卫星导航系统中卫星之间的时钟同步要达到十纳秒级），且时间同步渗透到系统计算、网络和控制各个层面[4,5]。

2.1.3 网络信息时空戳

网络空间中构建时空基准后，网络信息即可用对应的时空信息所标识，即加上时空戳，此概念类似于分布式系统中的时间戳。时间戳是计算机系统记录事件发生的时间信息，通常用来判定计算机系统的事件发生顺序，在分布式系统、数据库事务处理、信息安全中具有极其重要的地位。

基于地理位置的路由是空间戳的研究热点。针对地理位置路由的研究大多集中于无线传感器网络，用于无线传感网与互联网的异构组网。其核心思路是：数据传输机制和路径由地理位置决定，网络节点不用时刻交换链接信息来维持网络。在大数据应用的背景下，数据和地理位置往往紧密关联，在对网络中的通信和计算资源进行统一调配和协同过程中，必须考虑地理位置信息。现有理论和技术不能很好地满足实际需求，如何利用更加丰富的时空信息来优化网络路由效率成为一个重要研究方向。

2.1.4 北斗精准时空体系的建立

北斗卫星导航系统（BDS）是我国自主建设拥有完全控制能力的卫星导航系统，与 GPS、GLONASS、GALILEO 并称世界卫星导航四大服务提供商。BDS 的坐标框架采用中国 2000 大地坐标系（CGCS2000）的时间基准为北斗时（BDT），坐标系统和时间基准的定义与维持均采用国内自主研发的核心技术。截至到 2013 年 12 月 31 日，北斗卫星导航系统已成功发射 16 颗卫星，分析及大量实测数据表明：BDS 在中国及周边地区可提供平面 10m，高程 10m，单机授时 50ns 标准定位和授时，以及 120 个汉字/次的短报文通信服务[9,10]。

北斗地基增强系统又称为北斗连续运行参考站网络，是建筑于地表的，由感知时空信息的基准站、通信网络、多级数据中心、移动互联网和带有北斗接收处理功能的用户终端构成的，提供定位定时服务的系统，也是北斗卫星导航系统重要的地面基础设施[11]，本质上属于信息-物理融合系统。通过采用实时载波相位差分、广域精密定位等技术，北斗地基增强系统可以向覆盖范围内的用户提供平面优于 10cm，时间同步精度优于 1ns 的时空信息[12,13]。

2000 年至今我国已经建设接近 3500 个 GNSS 基准站，分属 100 个独立运行



十多年来,很多国内外专家深入开展了网络动力学及其规律的研究,并做出了一系列重要成果[17-25]。项目首席吕金虎等给出了一类重要时变复杂动力网络同步的基本准则[26],发现并建立了一类时不变复杂网络同步和无向耦合系统同步之间的内在本质联系[27]。

2.2.2 网络群体行为干预调控

网络群体行为的运动规律是网络群体行为干预调控的基础。由于复杂网络规模庞大的特性,一般不可能通过控制所有网络节点来实现一个特定的目标,因此传统的控制手段显然遇到很大的挑战。牵制控制是通过控制部分节点动力学来实现一个特定目标的有效方法。R.O. Grigoriev, M.C. Cross 和 H.G. Schuster 探讨了规则网络时空牵制控制问题[28]; 汪小帆和陈关荣研究了无标度网络的牵制控制问题[29]; 项目首席吕金虎等给出了一类基本复杂网络的耦合强度、牵制节点数与控制强度之间的定量关系以及关键节点与控制增益的选取和优化策略[30]。2011 年, Barabási 等在 Nature 上发表了关于复杂网络的可控性的文章[31]。

2.2.3 时空信息与复杂网络

在网络空间中构建精准时空体系后,有助于对网络群体行为的精细化研究。

网络是信息传输、接收、共享的虚拟平台,通过它把各个点、面、体的信息联系到一起,从而实现这些资源的共享。精准时空体系下的网络是移动位置网、计算机网、通信网、应用网等多个网络的融合,它们相互关联且依存组成一个大系统,可以将之称为“网络的网络”,这方面已有众多研究成果[32-38]。

网络科学与工程已有研究成果为认知融合精准时空信息的网络群体行为的本质特征和运动规律提供了理论指导和技术支撑,为探讨和设计自适应时空协同的干预与调控机制开辟了新的思路,为实现资源的精准投放、精细管理以及按需服务提供强有力的理论支撑。

互补共赢、异构融合。因此对通信资源复用增益的挖掘是无线网络研究的国际学术前沿。然而,网络节点的密集部署将带来严重的干扰问题,从而阻碍了系统性能的进一步提升,现有干扰管理方案大都通过资源正交划分的方法来减轻网络的干扰问题,但同时会不同程度的降低资源复用因子,影响网络通信的整体效率。卫星定位技术的发展使准确时空信息的及时获取成为可能,也为在无线网络中设计更加高效的资源管控机制提供了新的契机。

通过引入精准时空信息来提升单位面积上的资源利用效率将成为通信领域关注的新增长点，也是本项目的研究重点。

2.3.3 网络通信与计算的协同

为解决通信瓶颈问题,出现了新的通信模型和借助计算能力减轻通信压力的网络通信与计算的协同方法。

2000 年以来, 项目成员蔡宁等提出的确定性网络通信编码技术彻底摆脱了“存储-转发”的传统网络信息传递思维, 以“存储-计算-转发”这一崭新模式来解决网络通信瓶颈, 成为通信与计算协同的典型代表[41]。2005 年提出的“Linear Network Coding”在网络编码理论和实践上进一步取得重要进展[42], 2007 年, Scientific American 刊载专文将网络编码誉为“新信息科学技术革命”。十年来, 网络编码已被 Microsoft、HP、Intel、Cisco、Samsung 等研究机构与公司付诸实用。由于网络动态特性的增强导致了拓扑状态不稳定, 随机网络编码因无需获取整个网络的拓扑信息而受到普遍关注。精准时空信息有利于更准确地捕获网络的动态特性, 因此自适应时变网络编码理论与方法具有极大的发展潜力。

2.4 小结

上述分析表明：网络通信与计算的协同是解决网络通信瓶颈的有效途径，但相关理论与技术尚未成熟，仍处于探索阶段。我国通信用户和网络规模均为世界第一，信息需求强劲。截至 2013 年 12 月，中国网民规模达 6.18 亿，其中，手机网民规模达 5 亿。到 2015 年，我国信息消费规模将超过 3.2 万亿元，年均增长 20% 以上，带动相关行业新增产出超过 1.2 万亿元；基于互联网的新型信息消费规模达到 2.4 万亿元，年均增长 30% 以上。北斗卫星导航系统为代表的时空技

术为网络通信与计算的协同研究提供了基础技术和应用环境。本项目承担单位在在相关技术领域具有雄厚实力，通过优势互补、强强联合、协同创新，有望在网络通信与计算的协同理论与方法研究中取得实质性突破，推动并引领相关领域的发展。

参考文献：

- [1] D. Raychaudhuri, N. B. Mandayam, “Frontiers of Wireless and Mobile Communications,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 4, pp. 824-840, 2012.
- [2] N. Radia, Y. Zhang, M. Tatipamula, V. K. Madiseti, “Next-Generation Applications on Cellular Networks: Trends, Challenges, and Solutions,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 4, pp. 841-854, 2012.
- [3] C. X. Wang, F. Haider, X. Gao, X. H. You, et al., “Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 122-130, 2014.
- [4] K. D. Kim, P. R. Kumar, “Cyber-Physical Systems: A Perspective at the Centennial,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. SI, pp. 1287-1308, 2012.
- [5] N. M. Freris, H. Kowshik, P. R. Kumar, “Fundamentals of Large Sensor Networks: Connectivity, Capacity, Clocks, and Computation,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 98, no. 11, pp. 1828-1846, 2010.
- [6] M. J. Freedman, K. Lakshminarayanan, D. Mazières, “OASIS: Anycast for any service,” *In Proc. 3rd USENIX/ACM Symp. Networked Systems Design and Implementation (NSDI'06)*, San Jose, CA, USA, May, 2006, pp. 129-142.
- [7] M. Szymaniak, D. Presotto, G. Pierre, V. S. Maarten, “Practical large-scale latency estimation,” *Computer Networks*, vol. 52, no. 7, pp. 1343-1364, 2008.
- [8] Y. Chen, Y. Xiong, X. Shi, J. Zhu, et al., “Pharos: Accurate and decentralised network coordinate system,” *IET Commun.*, vol. 3, no. 4, pp. 539-548, 2009
- [9] 北斗系统公开服务性能规范（1.0 版），<http://www.beidou.gov.cn/>
- [10] Y. Yang, J. Li, A. Wang, J. Xu, et al., “Preliminary assessment of the navigation and positioning performance of BeiDou regional navigation satellite system,” *Sci. China Ser. D*, vol. 57, no. 1, pp. 144-152, 2014.
- [11] H. Liu, S. Guo, J. Liu, Z. Tian, et al., “Present status analysis on the construction and application of CORS in China,” *In 2012 Proc. China Satellite Navigation Conf. (CSNC)*, Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, pp. 401-409, 2012.
- [12] H. He, J. Li, Y. Yang, J. Xu, et al., “Performance assessment of single- and dual-frequency BeiDou/GPS single-epoch kinematic positioning,” *GPS Solutions*, Doi. 10.1007/s10291-013-0339-3, 2013.
- [13] W. Meng, H. Zhang, P. Huang, J. Wang, et al., “Design and experiment of onboard laser time transfer in Chinese Beidou navigation satellites,” *Adv. Space Res.*, vol. 51, no. 6, pp. 951-958, 2013.



- [14] A. Vespignani, "Predicting the behavior of techno-social systems," *Science*, vol. 325, no. 5939, pp. 425-428, 2009.
- [15] D. J. Watts, S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," *Nature*, vol. 393, no. 6684, pp. 440-442, 1998.
- [16] A. L. Barabási, R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, no. 5439, pp. 509-512, 1999.
- [17] R. Albert, R. Jeong, A. L. Barabasi, "Error and attack tolerance of complex networks," *Nature*, vol. 406, no. 6794, pp. 378-382, 2000.
- [18] R. Milo, S. Shen-Orr, S. Itzkovitz, N. Kashtan, et al., "Network motifs: Simple building blocks of complex networks," *Science*, vol. 298, no. 5594, pp. 824-827, 2002.
- [19] G. Palla, I. Derenyi, I. Farkas, T. Vicsek, "Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society," *Nature*, vol. 435, no. 7043, pp. 814-818, 2005.
- [20] M. F. Mason, M. I. Norton, J. D. Van Horn, D. M. Wegner, et al., "Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought," *Science*, vol. 315, no. 5810, pp. 393-395, 2007.
- [21] H. Ohtsuki, C. Hauert, E. Lieberman, M. A. Nowak, "A simple rule for the evolution of cooperation on graphs and social networks," *Nature*, vol. 441, no. 7092, pp. 502-505, 2006.
- [22] S. Eubank, H. Guclu, V. S. A. Kumar, M. V. Marathe, et al., "Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks," *Nature*, vol. 429, no. 6988, pp. 180-184, 2004.
- [23] R. Milo, S. Itzkovitz, N. Kashtan, L. Boitani, et al., "Superfamilies of evolved and designed networks," *Science*, vol. 303, no. 5663, pp. 1538-1542, 2004.
- [24] A. S. L. Rodrigues, S. J. Andelman, M. I. Bakarr, et al., "Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity," *Nature*, vol. 428, no. 6983, pp. 640-643, 2004.
- [25] C. M. Song, S. Havlin, H. A. Makse, "Self-similarity of complex networks," *Nature*, vol. 433, no. 7024, pp. 392-395, 2005.
- [26] J. Lü, G. Chen, "A time-varying complex dynamical network models and its controlled synchronization criteria," *IEEE Trans. Auto. Contr.*, vol. 50, no. 6, pp. 841-846, 2005.
- [27] J. Lü, X. Yu, G. Chen, D. Cheng, "Characterizing the synchronizability of small-world dynamical networks," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 51, no. 4, pp. 787-796, 2004.
- [28] R. O. Grigoriev, M. C. Cross, H. G. Schuster, "Pinning Control of Spatiotemporal Chaos," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 79, no. 15, pp. 2795-2798, 1997.
- [29] X. Wang, G. Chen, "Pinning control of scale-free dynamical networks," *Physica A*, vol. 310, no.3-4, pp. 521-531, 2002.
- [30] J. Zhou, J. A. Lu, J. Lü, "Pinning adaptive synchronization of a general complex dynamical network," *Automatica*, vol. 44, no. 4, pp. 996-1003, 2008.
- [31] Y. Y. Liu, J. J. Slotine, A. L. Barabasi, L. Albert, "Controllability of complex networks," *Nature*, vol. 473, no. 7346, pp. 167-173, 2011.
- [32] A. Clauset, C. Moore, M. E. J. Newman, "Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks," *Nature*, vol. 453, no. 7191, pp. 98-101, 2008.



- [33] G. Kossinets, D. J. Watts, “Empirical analysis of an evolving social network,” *Science*, vol. 311, no. 5757, pp. 88-90, 2006.
- [34] R. Guimera, B. Uzzi, J. Spiro, L. A. N. Amaral, “Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance,” *Science*, vol. 308, no. 5722, pp. 697-702, 2005.
- [35] Y. Y. Ahn, J. P. Bagrow, S. Lehmann, “Link communities reveal multiscale complexity in networks,” *Nature*, vol. 466, no. 7307, pp. 761-764, 2010.
- [36] D. Centola, “The Spread of Behavior in an Online Social Network Experiment,” *Science*, vol. 329, no. 5996, pp. 1194-1197, 2010.
- [37] D. Achlioptas, R. M. D’Souza, J. Spencer, “Explosive Percolation in Random Networks,” *Science*, vol. 323, no. 5920, pp. 1453-1555, 2009.
- [38] P. J. Mucha, T. Richardson, K. Macon, “Community Structure in Time-Dependent, Multiscale, and Multiplex Networks,” *Science*, vol. 328, no. 5980, pp. 876-878, 2010.
- [39] M. Ferdman, A. Adileh, O. Kocberber, S. Volos, et al. “Clearing the clouds: a study of emerging scale-out workloads on modern hardware,” *ACM SIGARCH Comput. Architect. News*, vol. 40, no. 1, pp. 37-48, 2012.
- [40] 李德毅, 林润华, 李兵. 中国电子学会云计算专家委员会. 2013 云计算发展报告, 科学出版社, 2013.
- [41] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, R. W. Yeung. “Network information flow,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 4, pp. 1204-1216, 2000.
- [42] S.-Y. R. Li, R. W. Yeung, N. Cai, “Linear network coding,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 2, pp. 371-381, 2003.



细管理，是实现按需服务、解决通信瓶颈的必经之路。

在精准时空体系下，研究网络群体行为的决策、反应与协调机制及其演化规律；研究物理与认知融合中的时空过程与行为模式；感知自下而上涌现的群体行为的动态演化机制，探索群体行为时空协同的干预与调控机理；研究可接受复杂度条件下目标驱动的、质量敏感的分布式资源自组织和自适应机制。

科学问题三：精准时空体系中网络通信与计算的相互作用规律

网络特性逐渐从传统“存储-转发”的透明方式，演变为赋予通信节点计算能力的“存储-计算-转发”的通信-计算方式，使得网络通信和计算的相互耦合趋势日益凸显。同时，由于网络通信和计算资源均具有典型天然和时变的地理空间分布特性，它们的精准投放与精细管理均需要精准时空信息。因此，迫切需要深入分析网络通信和计算资源的地理空间分布特性、演化规律和相互作用机理，形成柔性可控的网络通信与计算协同模型。

研究基于精准时空信息的网络通信与计算在时空域中演化和相互作用的规律；提出基于精准时空信息的异构组网方法；以网络编码理论为支撑，设计多维分辨特性的计算与处理方法，提升网络整体容量；探求可获得的网络增益上限，实现网络通信与计算的时空协同，进而解决通信瓶颈问题。

上述科学问题是在深刻理解指南基础上的高度凝炼，完全符合指南的各项要求。科学问题与指南内容的对应关系如图 3-1 所示。首先，通过网络空间中精准时空体系的构建，以及对网络群体行为运动规律与干预调控机理的认知，实现对通信瓶颈问题的剖析，建立物理与认知的融合理论。其次，通过对精准时空体系中网络通信与计算相互作用规律的认知，建立通信能力与计算能力的协同机制，提出异构组网和路由算法以及资源按需调控方法。最后，导出网络通信与计算的协同模型以及可获得的网络增益上限。

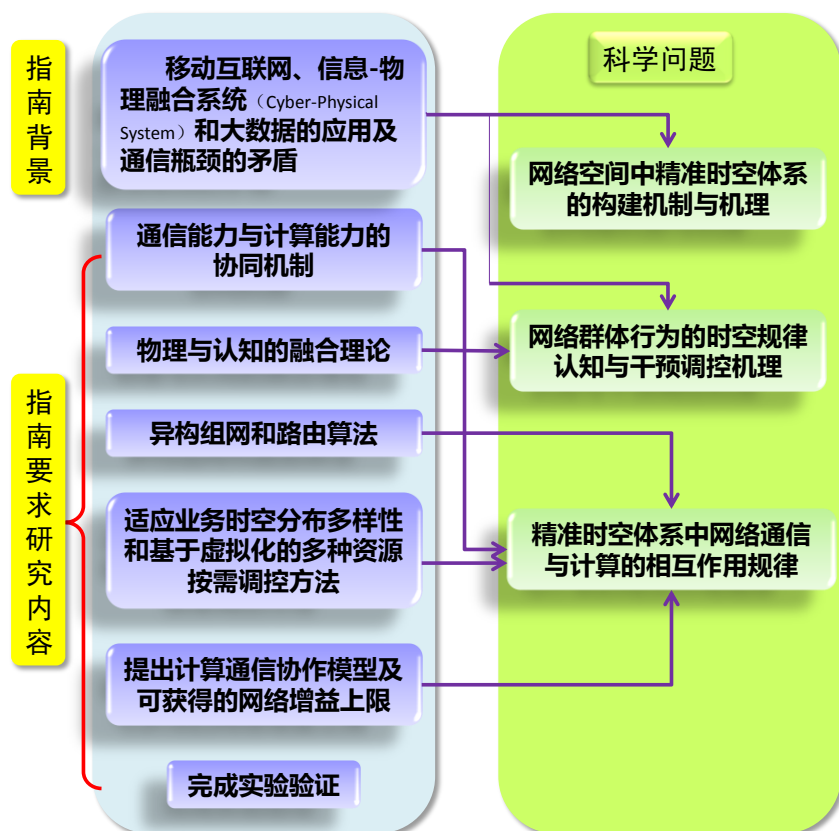


图 3-1 关键科学问题与指南要求的对应关系

3.2 主要研究内容

围绕关键科学问题,本项目拟从以下 4 个方面开展研究。本项目的科学问题与研究内容的对应关系如图 3-2 所示。

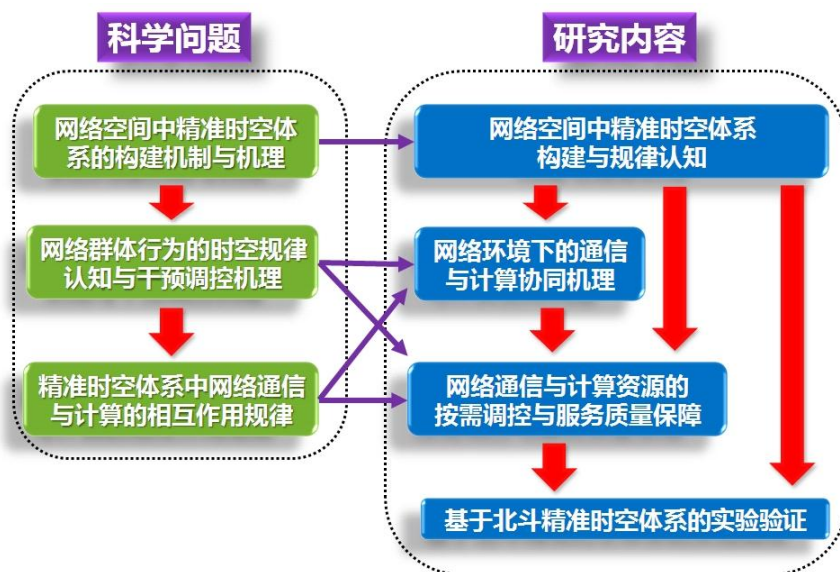


图 3-2 研究内容的总体框架

的复杂网络，本项目将在网络科学指导下，研究网络群体行为的建模、涌现机理、演化规律、规律分类以及干预调控机制，为网络通信与计算的协同提供数学理论支撑。具体如下：

- 网络群体行为的本质特征与建模。在精准时空体系支撑下，研究网络群体行为的涌现规律、鲁棒性与脆弱性等具有普适性的本质特征；探索特征之间内在关联关系与相互转化规律，建立描述网络群体行为的基本动力学模型。
- 网络群体行为的涌现机理与演化规律。研究融合精准时空信息的网络中业务流、控制流和资源流之间的相互作用原理及运动规律，分析微观层次的个体交互方式与宏观层次的群体行为之间的关联关系，研究物理与认知融合中的时空过程与行为模式，揭示网络群体行为的涌现机理及其演化规律。
- 网络群体行为时空协同的干预调控机制。研究网络之间与网络内部的多重耦合关系及其动力学反演机制，建立网络群体行为的自适应同步理论，设计时空协同的微观干预与宏观调控机制。

3.2.2 网络环境下的通信与计算协同机理

（1）移动环境下通信与计算时空协同机理

以精准时空体系为支撑，建立通信有效性与计算准确性的协同优化模型，研究移动环境下精准时空信息的可靠性承载方法，发掘欧氏空间与信号空间的联合处理增益，逼近通信计算协同容量上限。具体如下：

- 通信有效性与计算准确性的协同优化模型。未来通信网络具有多维资源动态匹配业务的时空随机性与多样性，一方面需要可靠通信资源为计算资源的使用提供保障，从而对当前环境做出准确的分析和判断；另一方面，需要计算的实时性和准确性为通信资源的使用提供指导和依据。本项目将分析通信量与计算准确性之间的理论折中关系，揭示通信资源的使用有效性与计算资源的使用准确性之间的本质联系，以网络编码理论为支撑，提出网络通信-计算能力的动态转换方法，设计最大化用户时空接入概率的协议体系。



的新路由策略和方法, 将网络数据路由和缓存到离用户最近的位域, 提高访问效率。

3.2.3 网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障

针对网络环境中业务需求的时空分布多样性与差异性,结合网络资源的时空特征,研究服务质量保障的网络通信资源与计算资源协同按需部署与动态调控方法,设计服务质量保障的虚拟机按需聚合策略,建立资源感知业务时空分布的多样性内容高效网络传输机制。

- 服务质量保障的网络化计算按需部署与动态调控方法。提出随时空变迁的通信代价模型、计算代价模型以及服务质量描述方法。构建以计算代价为节点、传输代价为边的分布式计算-通信协作模型。设计满足服务质量需求的通信与计算的按需部署与动态调控机制。
- 服务质量保障的虚拟机按需聚合策略。针对虚拟机动态聚合导致的计算资源竞争与服务质量损失，研究以系统能耗与虚拟机性能为双目标的虚拟机聚合优化策略。
- 融合资源感知和时空分布多样性的内容高效传输方法。研究时空变迁条件下多样化资源的动态感知方法，建立异构网络融合条件下的混合域多媒体信息流的自适应编码技术及鲁棒性传输机制。

3.2.4 基于北斗精准时空体系的实验验证

面向移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用环境，验证本项目所提出理论和方法。

- 以北斗精准时空体系为支撑，依托清华 CERNET 平台验证互联网大数据迁移的计算理论和方法；依托电信科学技术研究院 TD-SCDMA/TD-LTE 测试环境，验证移动互联网通信与计算时空协同理论与方法。
- 项目承担单位武汉大学承建的湖北省北斗精密定位服务系统，是由国务院中国卫星导航管理办公室批准的全国唯一已投入运营的北斗地基增强系统示范项目。本项目依托这一典型的信息-物理融合系统，验证服务质量保障的网络通信与计算资源的按需聚合与动态调控方法。

四、预期目标

4.1 总体目标

面向国家重大战略需求、国际学术前沿和国家重大工程需要，针对移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用与通信瓶颈的矛盾，以精准时空信息为桥梁，以提高网络资源利用率为导向，重点解决网络空间中精准时空体系构建、多元异构网络行为机制，以及网络通信与计算资源的时空分布特性等方面存在的挑战性问题，以网络空间中精准时空体系的构建机制与机理、网络群体行为的时空规律认知与干预调控机理、精准时空体系中网络通信与计算的相互作用规律等科学问题为核心，提出网络通信与计算协同的基础理论体系，突破若干关键技术并完成实验验证，为我国信息通信技术与产业的发展做出基础性贡献。

4.2 五年预期目标

4.2.1 基础理论研究成果

本项目拟建立以下基础理论：

- 基于精准时空体系的网络坐标系统构建理论；
- 精准时空体系下网络反演与调控理论；
- 网络群体行为的自适应同步理论；
- 移动环境下通信与计算时空协同模型；
- 网络大数据迁移与计算分配的协同理论。

4.2.2 技术创新和应用成果

本项目在上述基础理论支撑下，拟突破如下关键技术：

- 精准时空体系下信息空间时空统一建模方法；
- 精准时空体系下网络测量与性能评估方法；
- 基于“位址”的网络数据聚合与路由方法；
- 欧氏空间与信号空间的多维联合优化方法；
- 质量保障的计算与通信按需动态调控方法；
- 网络设备与北斗高精度时空信息感知的融合技术；

- 网络空间中时空基准完好性实时监测与精度评估技术；
- 基于北斗地基增强系统的整网高精度时间同步技术。

4.2.3 知识产权

发表高水平研究论文、专著、发明专利、国际标准为代表的知识产权，包括 IEEE/ACM Transactions 等国际著名学术期刊 SCI 论文 100 篇以上，以及发明专利和计算机软件著作权 30 项以上。

培养出具有国际影响的青年教师 10 名以上，并努力培养出长江学者、国家杰青、国家优青、教育部新世纪人才等。培养博士、博士后 30 名以上，举办国内外重要学术会议 3 次以上。



五、总体研究方案

5.1 学术思路

围绕关键科学问题,从基础理论和关键技术展开研究,分解为四项研究内容,通过严格的组织管理、密切的课题协作、以及高水平的国际合作与交流,力争获得有重要国际影响的学术成果。本项目确定“以自主可控的精准时空体系为桥梁,构建物理认知融合理论、异构组网和新型路由算法;以基于精准时空体系的网络群体行为演化规律认知为基础,重点研究移动环境下通信与计算时空协同机理、网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理,提出计算通信协作模型及可获得的网络增益上限,实现适应业务时空分布多样性和基于虚拟化的多种资源按需调控,突破通信瓶颈”的研究思路(如图 5-1 所示),汇聚国内相关领域优秀团队,通过多学科交叉,实现优势互补、强强联合、协同创新,力争在网络计算与通信协同的基础理论与关键技术方面形成重大突破。

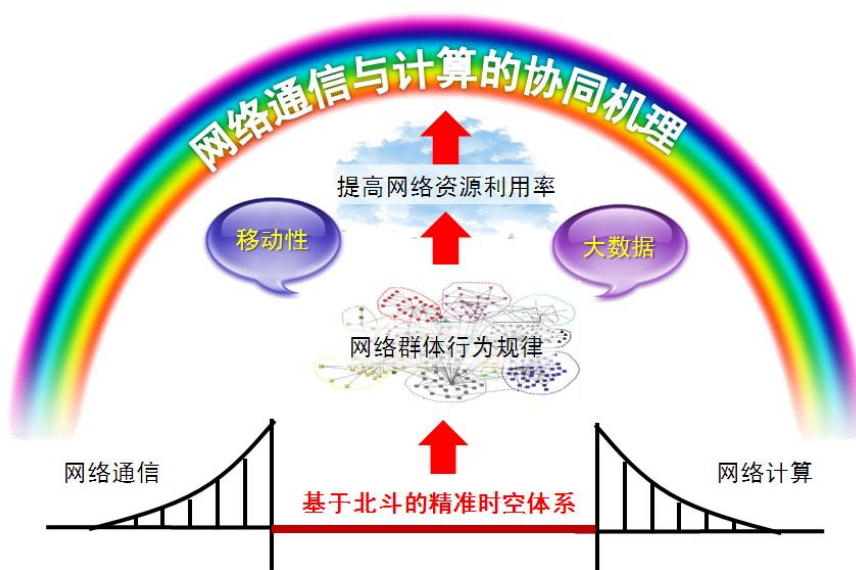


图 5-1 本项目的学术思路描述

5.2 技术途径

围绕关键科学问题,在上述学术思路指导下,开展时空体系构建、规律认知、协同机理、按需服务以及实验验证等方面的研究。图 5-2 给出本项目的技术路线图。首先,基于北斗卫星导航系统构建精准时空体系,实现对网络信息的精准定位,建立精准时空体系下网络坐标系统与建模方法。一方面为网络行为的感知提

供测量数据,另一方面为协同机理研究提供同步基准与坐标定位。然后,深入探讨网络群体行为的规律,为协同机理研究提供调控机制与调度基准。在此基础上,从研究对象的状态(移动性)与内容(大数据)两个方面展开网络通信与计算的协同机理研究,研究成果为网络资源的按需调控与服务质量保障提供理论指导。最后,面向移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用进行实验验证。

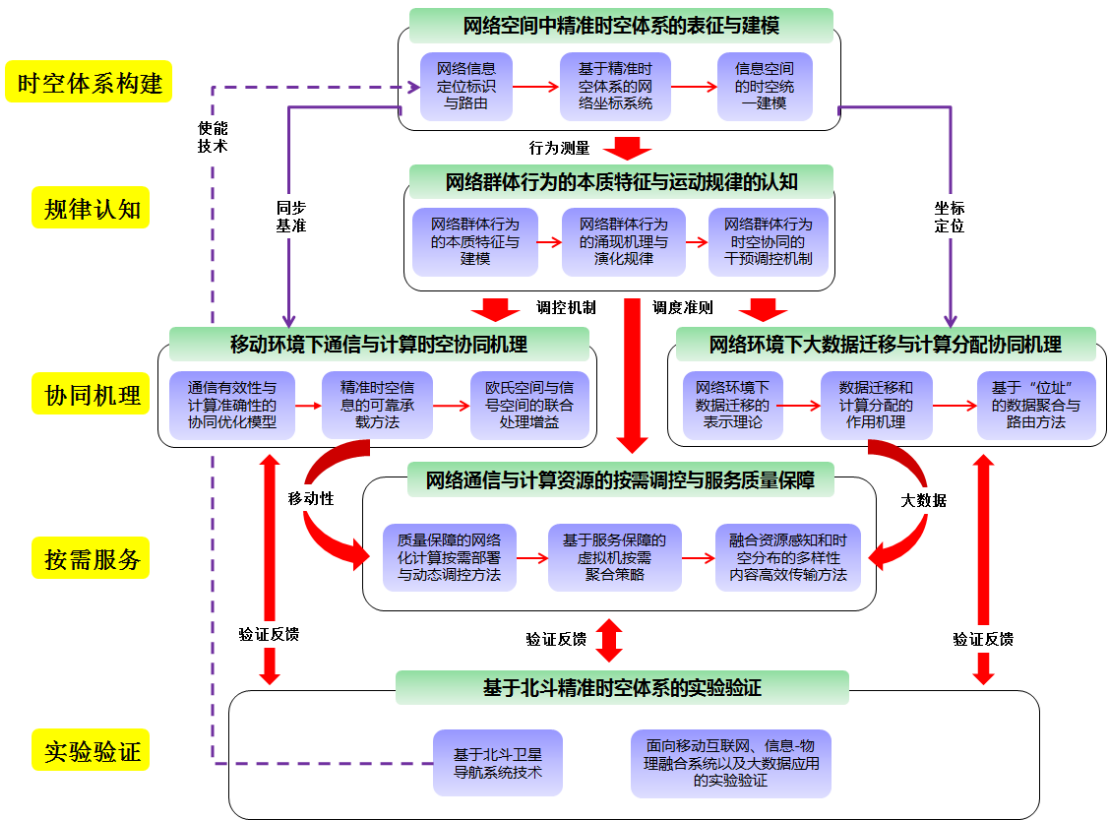


图 5-2 项目整体技术路线图

5.2.1 网络空间中精准时空体系的表征与建模

首先,在北斗高精度时空信息感知理论与方法的指导下,探索北斗高精度定位时间同步技术,建立整网高精度时间同步数学模型,突破北斗高精度定位时间同步终端关键技术;研究与网络融合的终端集成技术,构建基于北斗卫星导航系统的网络空间高精度时空体系。研究系统监测评估理论,突破系统完备性监测技术,实现时空信息精度的实时监测和评估,确保所构建精准时空体系的可靠性。

然后,基于高精度时空体系,从网络信息与网络空间两个层次研究精准时空信息的融合理论。一方面,研究网络信息单元中精准时空标识的嵌入,修改现有网络协议,改时间戳为“时空戳”,实现对信息的空间精准定位。另一方面,从几

何与逻辑两个角度研究网络信息空间的表征与建模,实现基于精准时空信息的网络坐标系统以及信息空间的时空统一建模。设计分布式、地域邻近聚类的分层式网络坐标计算系统,采用矩阵分解模型的计算方法,降低因 TIV 因素带来的预测误差,探索利用移动设备实时定位能力提供精确度补偿的网络坐标计算方法。采用项目组原创的本体元建模方法从语法、语义、语境对异构多元网络中的时空对象进行统一时空建模,建立语义表征与推理机制,探索多模型协同技术。

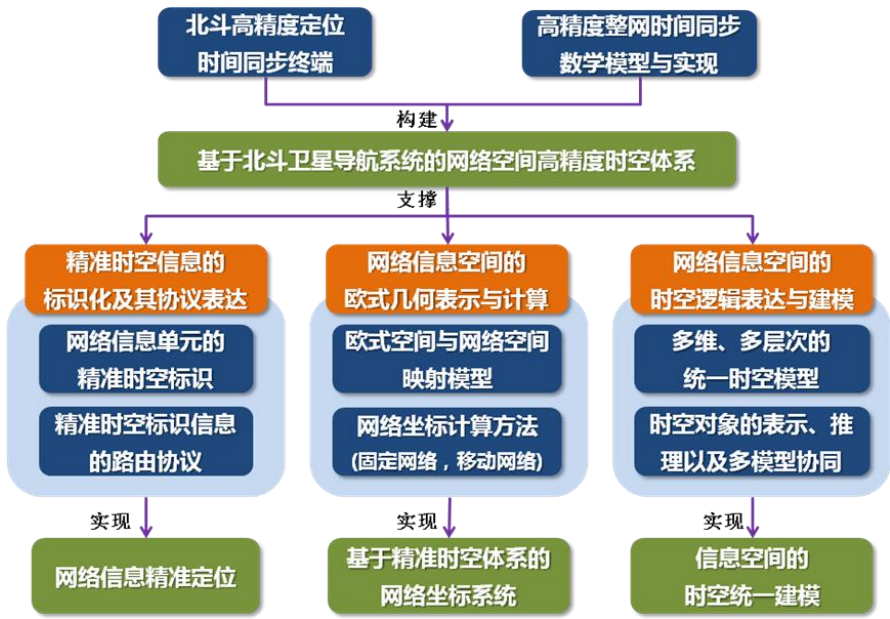


图 5-3 网络空间中精准时空体系的表征与建模技术路线

5.2.2 网络群体行为的本质特征与运动规律的认知

以精准时空体系为支撑,通过概率论、渗流理论、随机几何图、动力系统、复杂网络、滤波、自适应控制等多学科交叉,从网络群体行为的本质特征与建模、涌现机理和演化规律、以及时空协同的干预调控机制等 3 个方面开展研究,建立网络群体行为特征感知、建模、分析、以及干预调控的基础理论与方法,技术路线如图 5-4 所示。

首先,从网络建模角度出发,通过随机图论和网络粗粒化方法,突破“独立同分布”、“采样充分性”等传统假设,挖掘网络群体行为的时空特征,感知网络群体行为的演化规律、鲁棒性与脆弱性等本质特征;其次,基于多元统计分析、参数拟合及机器学习等方法,通过格兰杰因果关系辨识网络结构,建立融合精准时空信息的网络群体行为的基本模型;基于复杂自适应系统理论,通过“自下而

上”和“自上而下”相结合的分析方法，揭示各种网络流的运动规律和网络群体行为的涌现机理；基于网络动力学、自适应控制和牵制控制理论，建立融合精准时空信息的网络群体行为的干预调控机制及其普适性的设计方法。

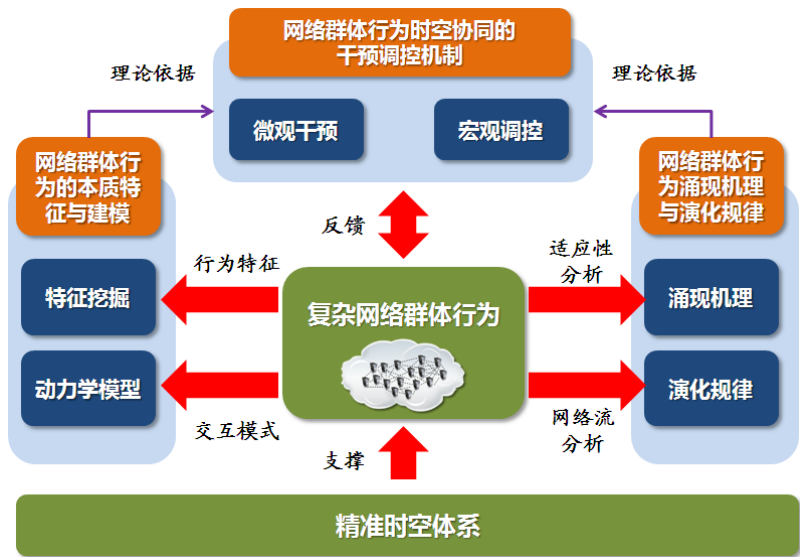


图 5-4 网络群体行为的本质特征与运动规律的认知技术路线

5.2.3 移动环境下通信与计算时空协同机理

在精准时空坐标体系下，结合无线移动环境特征，以通信有效性与计算准确性的协同优化模型为理论基础、精准时空信息可靠承载为技术支撑、欧氏空间与信号空间联合处理为增益保障，研究可变环境下通信与计算时空协同机理，技术路线如图 5-5 所示

首先，以网络编码为纽带，建立通信资源与计算资源的关联关系，通过随机图论和编码理论相结合，研究具有精准时空信息的动态网络的网络编码容量上限，突破传统确定性网络编码拓扑鲁棒性差、随机网络编码计算开销大的固有缺点，形成通信资源与计算资源的柔性转化模型；其次，利用网络微积分理论对网络服务质量进行刻画，同时对时空信息的时效性指标进行等级划分，建立精准时空信息在无线网络中承载的基本模型，通过灰度关联，实现有限无线资源的最优匹配，为无线网络精准时空体系的建立提供支撑；依据通信链路收发节点的精准时空坐标，确立通信链路与管理机制的映射关系，构建网络干扰拓扑，通过信号空间和地理位置空间的联合对齐，有效提升单位体积内的通信资源利用率。

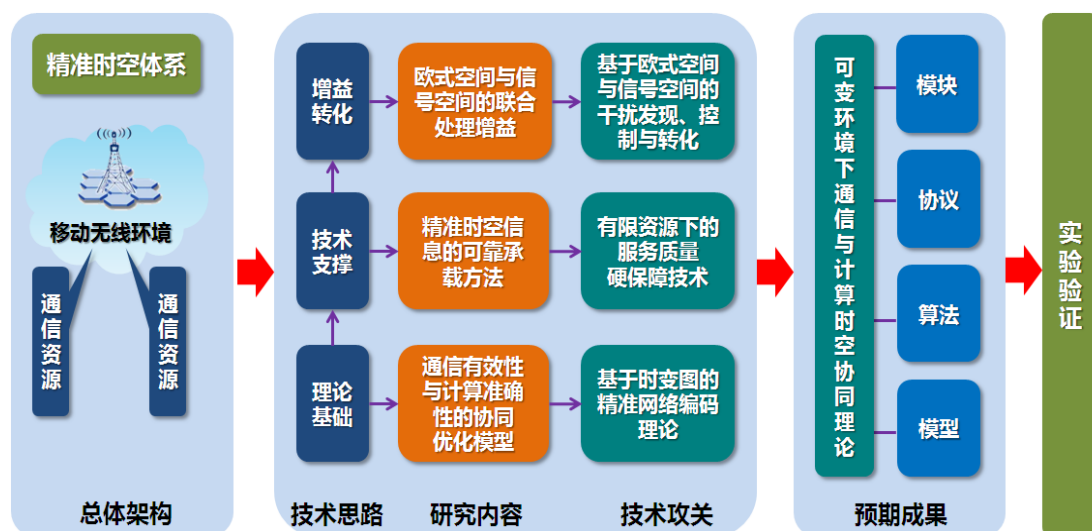


图 5-5 移动环境下通信与计算时空协同机理课题技术路线

5.2.4 网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理

从网络环境下数据迁移的表示理论入手，探索大数据在网络环境下的迁移规律，建立网络环境下大数据迁移的表示模型，构建相关理论支撑体系。然后，探索大数据计算在多时空维度上的分布规律，建立面向大数据迁移的网络通信资源和计算资源的效益兑换模型，制定以优化数据传输效率为目标的计算分配策略。最后，将结合网络大数据迁移的特点和规律，提出一种基于精准时空体系下的网络数据聚合和路由方法。各研究内容之间的相互关系如图 5-6 所示。

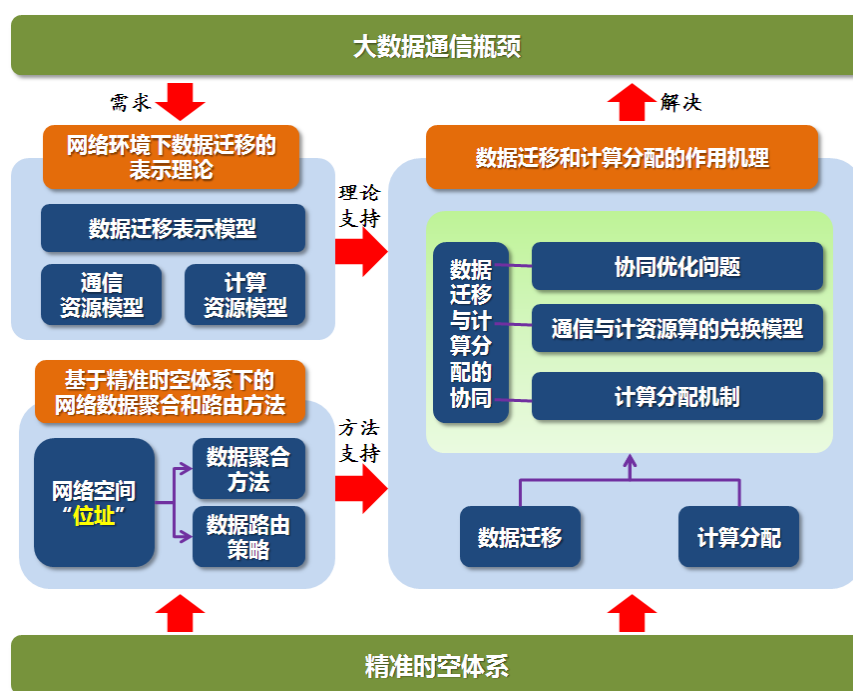


图 5-6 网络数据迁移与计算分配协同机理技术路线

在网络环境下数据迁移的表示理论方面,在项目组前期工作基础上,采用信息论等对通信和计算资源的描述方法进行建模,单链接的通信资源表示为式 5-1:

$$R_T(t) = \frac{B(t)}{[D(t)]^\gamma} \quad (\text{式 5-1})$$

其中 $B(t)$ 和 $D(t)$ 分别是 t 时刻的带宽和时延度量;单节点计算资源表示为式 5-2:

$$R_C(t) = A[C(t)]^\alpha[S(t)]^\beta \quad (\text{式 5-2})$$

其中 A 表示算法的度量,代表了对 CPU 和存储的利用能力, $C(t)$ 和 $S(t)$ 分别表示 t 时刻 CPU 和存储度量;进而研究网络环境下大数据迁移与通信和计算的关系,并利用欧式空间与网络拓扑空间映射关系和精准时空信息,建立数据迁移的表示模型。

在数据迁移和计算分配的作用机理方面,将重点研究通信和计算资源在效益层面上的兑换模型,以精确描述计算分配的改变对通信资源的影响为目标,为大数据迁移过程中的计算和通信分配决策提供理论依据。

在基于精准时空体系的网络数据聚合和分发方面,将借助欧式空间和网络空间的映射机制,提出网络空间中“位址”的新概念,构造出融合时空特征的网络拓扑图,建立分布式的“位址”信息管理机制;在分析网络数据访问的地理位置特点基础上,重点研究基于“位址”的数据组织和聚合方法;创建一种基于“位址”标识的“存储-计算-转发”的数据分发模式,实现网络数据高效访问,以解决互联网大数据传输的瓶颈问题。

5.2.5 网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障

以计算和通信的部署与调控、计算能力优化、通信能力优化以及协同调度问题为重点开展研究,技术路线图如图 5-7 所示。具体研究计算在通信系统中的按需部署与全局调控方法。在此基础上,研究面向计算能力优化的虚拟机按需聚合策略,以及面向通信能力优化的自适应多样性内容传输方法。



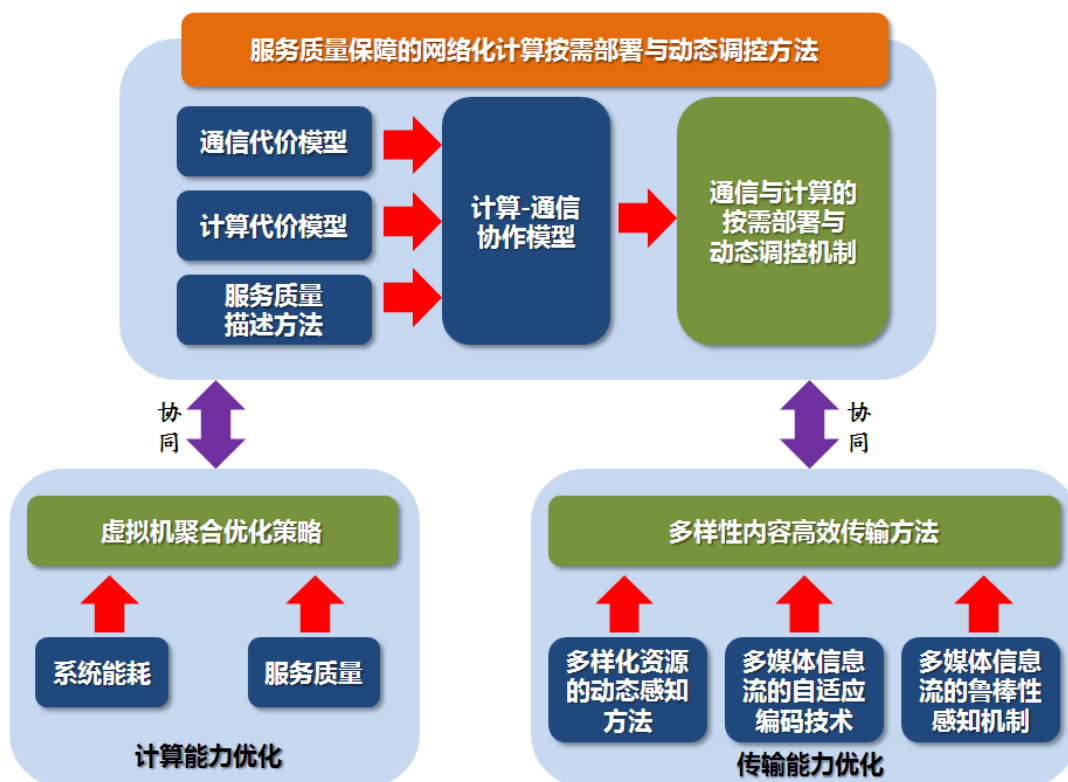


图 5-7 网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障技术路线图

在按需部署方面，设计提出有向无环图分布式执行的代价模型及其服务质量估算方法，并将最优 DAG 部署问题转化成项目组前期提出的最短 DAG 问题进行求解；采用项目组提出的动态资源发现工具感知网络环境中的计算和通信资源变化，并采用质量敏感的持续化 DAG 算法实现信息流的自适应重组。在计算能力优化方面，根据资源约束以及虚拟机需求演化约束，建立服务质量最优化以及能耗最小化的双目标优化问题，通过求解该优化问题得到虚拟机的聚合策略，在降低能耗的前提下达到保证服务质量的目标。在传输能力优化方面，分析异构网络融合后的特性，建立混合域跨层联合设计模型，形成基于网络认知的多媒体数据编码的处理方法；由于不同的终端之间存在资源竞争和局部合作的关系，采用宏观非合作博弈以及微观不完全信息竞争的方法对异构终端协作多媒体传输进行研究，在满足多元约束条件下，使传输效用达到最大。

5.2.6 基于北斗精准时空体系的实验验证

利用集成技术和研制的终端设备改造 CERNET 和移动互联网测试平台，在互联网和移动互联网中建立精准时空体系，分别进行互联网大数据环境，以及移动互联网环境下的实验验证；利用上述技术和设备改造湖北省北斗精密定位服务

系统,在信息-物理融合系统中建立北斗精准时空体系,进行按需服务实验验证。

5.3 创新点和特色

5.3.1 研究思路的创新与特色

本项目针对移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用与通信瓶颈的矛盾，围绕网络通信与计算对“精准时空信息”的基础性、共性需求，聚焦网络通信与计算的协同问题。充分利用团队成员在北斗卫星导航定位系统上的技术优势，构建网络空间中的精准时空体系。以此为突破口，展开关键科学问题的研究，从时空规律的基础层面上深刻认识与理解网络空间的结构、行为、状态、内容、演变以及需求，从信息定位、网络坐标、行为涌现、网络编码、“位址”路由、按需服务等多学科交叉的新途径与新视角探究网络通信与计算的本质特征与内在关联，进而在网络通信与计算协同机理研究上取得根本突破，并在典型应用环境中验证新机理的有效性和可行性。

5.3.2 研究内容的创新

(1) 提出了一种精准时空体系下的欧式空间与网络空间映射模型与网络坐标计算方法

节点之间的欧氏距离对网络距离测量至关重要,利用导航卫星系统的精准定位能力,改变了依靠节点的网络坐标选择路由的现状,采用“地理位置粗筛、网络距离校准”的快速路由策略,实现基于位置的互联网信息组织与聚合。在移动互联网中,节点的移动性导致网络坐标的频繁变更,通过融合精确地理位置提供更灵活便捷的网络定位。

(2) 建立精准时空体系下网络群体行为的协同理论及其调控方法

在精准时空体系的支撑下，针对时空演变的网络群体行为的收敛性瓶颈问题，通过引入随机图论和矩阵论等分析方法，突破网络群体行为的时变性、多样性、多层耦合性等复杂性本质困难，提出一种处理广义随机矩阵乘积收敛性的基本理论和通用方法，建立一类基本网络群体行为的协同理论。通过复杂自适应系统理论、博弈论与控制论等学科交叉，建立网络群体行为的多层耦合特征与动力

学反演之间的本质联系,提出一类网络群体行为自适应时空协同的干预调控基本准则。

(3) 提出了融合精准时空信息的网络编码理论和方法

基于精准时空体系,突破传统确定性网络编码拓扑鲁棒性差、随机网络编码计算开销大的固有缺点,提出自适应时变网络编码理论与方法,建立编码计算复杂度和网络通信性能的最优折中关系,揭示通信资源使用有效性与计算资源使用的准确性间的本质联系,为通信资源与计算资源动态转换提供指导。

(4) 提出了基于“位址”的网络数据聚合和路由方法

根据精准时空体系下欧式空间与网络空间的映射关系,提出与传统互联网“网址”相对应的网络“位址”新概念及其支撑系统。建立基于“位址”的网络数据聚合和路由方法。该方法可优化网络通信与计算协同机制,以期解决网络大数据的通信瓶颈问题。

(5) 提出了基于 DAG 图与双目标优化的网络资源按需调控的理论和方

针对业务需求、网络通信与计算资源的多样性以及时空分布与变迁特性，建立精准时空体系下基于 **DAG** 图的需求与资源的匹配模型，并提出时空感知的动态自组织机制及其按需调控方法；设计基于双目标优化的虚拟机聚合机制。实现保障服务质量、最大化资源利用率的目标。

(6) 提出了北斗整网高精度时间同步的理论与方法

分别针移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用环境对时间同步的要求和特点,结合卫星导航定位理论和方法,提出基于北斗地基增强网,在稀疏观测值条件下的整网高精度时间同步理论,通过在网络关键节点加装时间同步设备来实现整网同步的方法。

5.4 可行性分析

5.4.1 优秀的创新团队

本项目由吕金虎研究员(**IEEE Fellow**, **杰青**)牵头, 形成了一支理论结合实际、富有开拓精神的创新团队, 其中包括**院士 1 人**(57 岁), **IEEE Fellow 3 人**, **国家千人 2 人**, **长江学者 2 人**, **国家杰青 7 人**, **国家百千万人才 7 人**, **中科院百**

人 4 人，863 专家 3 人，国家重大科技专项专家 2 人，工程院光华奖 2 人，科技部中青年科技创新领军人才 1 人，中国科协求是杰出青年实用工程奖 1 人。上述项目骨干在通信网、通信与信息系统、复杂系统、网络编码、软件工程、网络优化、数据处理、计算机网络、普适计算、分布式系统、导航与位置服务等领域具有良好的研究积累。成员间通过优势互补、强强联合、分工协作形成一支优秀的协同创新团队。

5.4.1 完备的创新平台

本项目的主要承担单位由中科院 2 个研究所、教育部 4 所高水平大学、电信科学技术研究院以及西安测绘技术研究所组成，包括：

1 个国家实验室：

清华信息科学与技术国家实验室

5 个国家重点实验室：

综合业务网理论及关键技术国家重点实验室、无线移动通信国家重点实验室、软件工程国家重点实验室、计算机体系结构国家重点实验室、地理信息工程国家重点实验室

1 个国家工程技术中心：

国家卫星定位系统工程技术研究中心

8 个省部级实验室：

移动计算与新型终端北京市重点实验室、多媒体计算与通信教育部—微软重点实验室、中国教育和科研计算机网(CERNET/CERNET2)、中科院智能信息处理重点实验室、中科院系统控制重点实验室、中科院随机复杂结构与数据科学重点实验室、中科院国家数学与交叉科学中心、中科院管理、决策与信息系统重点实验室。

上述这些国家和省部级实验室及工程中心为本项目提供了良好的仪器设备和实验环境。

5.4.3 突出的创新成果

本项目成员承担了 973、国家重大科技专项、863 重点、基金委重点、创新



群体及重大等一系列国家级课题，特别是主持了 7 项国家杰出青年基金。在这些项目的持续支持下，项目组成员在通信网、无线通信系统、网络体系结构的理论和技术、多媒体传输、动态网络资源管理、复杂系统、网络优化等领域取得了一系列具有重要国际影响和重大实际应用成果，授权 专利 100 余项，发表 100 余篇 IEEE/SIAM/ACM 会刊论文，包括 25 篇 ESI 高被引论文，这些原创性成果被 SCI 他引 10000 余次。上述成果也获得了一系列重要奖励，包括 国家科技进步一等奖 1 项、国家自然科学二等奖 2 项、国家技术发明二等奖 2 项、国家科技进步二等奖 4 项、省部级一等奖 11 项。这些原创性成果为本项目的顺利开展奠定了良好的研究基础。

5.4.4 协同创新

西安测绘研究所杨元喜院士团队具有卫星导航的深厚底蕴，武汉大学李兵教授团队具有长期的软件工程建模经验，中国科技大学吴枫教授（**IEEE Fellow**）团队在计算机通信方面取得了一批具有重要国际影响的成果，上述团队强强联合，通过地学与信息科学的深度交叉，在网络空间中建立精准时空体系。

中科院数学与系统科学研究院吕金虎研究员（**IEEE Fellow**，**杰青**）团队在复杂网络理论方面有着长期的积累，特别是在网络同步与协同理论上发表了一系列具有重要国际影响的高水平论文（**SCI 他引 7000 余次**）；大唐电信陈山枝研究员团队在无线通信领域具有深厚的实践工作积累；两个团队理论与应用互补，在网络群体行为的时空规律认知与干预调控机理方面有望取得突破。

西安电子科技大学李建东教授（**杰青**，**长江学者**）团队在宽带无线移动通信、认知无线网络等领域具有深厚的工作积累，蔡宁教授是网络编码的创始人之一；清华大李星教授（**杰青**）团队在计算机网络、信号处理与多媒体通信方面具有学术专长；中国科技大学李卫平教授（**千人**）团队在多媒体通信方面取得了国际领先的研究成果；中科院计算所李锦涛研究员（**863 专家**）团队在服务质量保障方面有着丰富经验；上述团队通过强强联合、协同攻关，有望在精准时空体系中网络通信与计算的相互作用规律认知方面取得原创性成果。

武汉大学刘晖教授（国际海事无线电技委会北斗工作组副组长）团队在中国

80%的省份支持了参考站网建设，积累了丰富的实践经验，中科院数学与系统科学研究院杨晓光研究员（杰青）、王启华研究员（长江学者，杰青）和邹国华研究员（杰青）在网络优化与数据分析方面具有深厚的底蕴，上述团队通过协同攻关，有望实现基于北斗精准时空体系的实验验证。



六、课题设置

课题间关系如图 6-1 所示。各课题之间既紧密耦合，又有创新特色，能够在保持各课题独立性的同时共同推进项目的进展。课题 1 是项目的基础，提供网络空间中精准时空体系构建基础；课题 2 是项目的核心，探讨网络群体行为的本质运动规律。基于规律认知，部署课题 3 与课题 4，分别对移动环境的通信与计算的时空协同机理和网络环境大数据迁移与计算分配的协同机理进行研究。课题 5 在运动规律和协同机理的理论指导下，从服务质量保障的角度，研究网络通信与计算资源的按需调控问题。上述研究成果，将通过相应的实验环境进行实验验证，其中采用的精准时空体系将主要基于北斗导航卫星系统，为此，部署课题 6 进行研发。

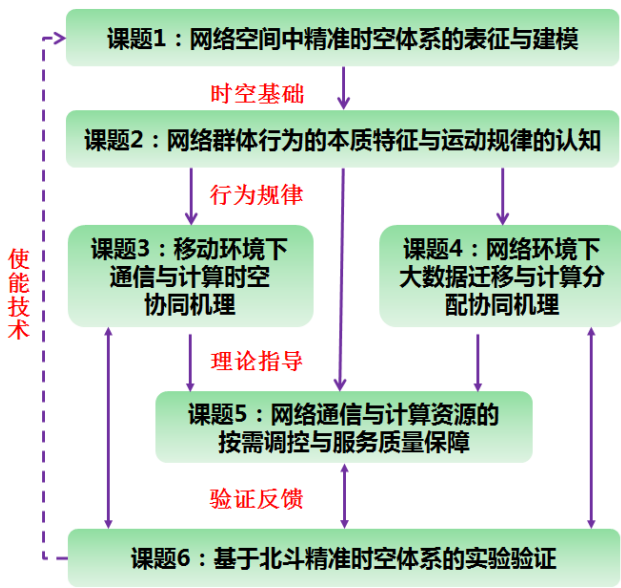


图 6-1 课题之间的整体关系



课题名称： 网络空间中精准时空体系的表征与建模

研究目标：

在精准时空体系支持下，实现互联网与移动互联网信息的空间定位与路由；建立精准时空体系下的网络空间与欧式空间的映射模型与网络坐标计算方法，以及适合移动环境的网络坐标系统；提供精准时空体系下信息空间的时空统一建模理论。

研究内容：

依托北斗系统，在网络空间中构建精准时空体系。以此为基础，研究对网络信息进行精准时空标识的“时空戳”方法以及相应路由协议；研究精准时空体系下的网络坐标系统构建理论，实现欧式空间与网络空间映射，探索移动环境下网络坐标获取与网络状态测量，实现准确、高效、鲁棒的网络坐标计算；研究精准时空体系下信息空间的时空统一建模方法。

经费比例： 16%

承担单位： 武汉大学、西安测绘研究所、中国科学技术大学

课题负责人： 李兵

参加人员： 杨元喜、吴枫、万显荣、徐天河



课题名称： 网络群体行为的本质特征与运动规律的认知

研究目标：

认知融合精准时空信息的网络群体行为的本质特征，构建精准时空体系中网络群体行为的基本动力学模型，揭示上述复杂网络群体行为的涌现机理和具有普适性的演化规律，探索具有精准时空信息的网络群体行为运动规律的分类及其时空协同的干预调控机制，为实现网络通信与计算资源的精准投放和精细管理乃至按需服务提供坚实的理论基础和有效的技术手段与方法。

研究内容：

在精准时空体系支撑下，研究网络群体行为具有共性的本质特征，探索上述特征之间内在关联关系和相互转化规律，建立精准时空体系中描述网络群体行为的基本动力学模型；基于复杂自适应系统理论、网络博弈论、运筹学等，探讨融合精准时空信息的网络中大量业务流、控制流和资源流之间的相互作用原理及其运动规律，并研究微观层次的个体交互方式和宏观层次的群体行为之间的关联关系，揭示网络群体行为自下而上的涌现机理和具有普适性的演化规律；基于网络层次间的耦合关系和动力学反演方法，设计自适应时空协同的干预调控机制，为实现资源的精准投放、精细管理以及按需服务提供理论、技术和方法支撑。

经费比例： 18%

承担单位： 中国科学院数学与系统科学研究院、武汉大学、电信科学技术研究院

课题负责人： 吕金虎

参加人员： 陈山枝、崔晓晖、吴晓群、刘志新、李婵颖



课题名称： 移动环境下通信与计算时空协同机理

研究目标：

以精准时空体系为支撑，从网络空间、欧式空间、信号空间等多个角度，解析移动环境下通信与计算资源的多重属性及其关联关系，突破融合精准时空信息的网络编码理论和方法，实现欧氏空间与信号空间的多维联合优化。

研究内容：

研究无线环境中通信资源使用的有效性与计算资源使用的准确性间的本质联系，提出以网络编码为支撑的计算资源与通信资源动态转换方法，设计最大化用户时空接入概率的协议体系。研究移动环境下精准时空信息的可靠性承载方法，提出动态、可靠承载个性化的时空定位信息的智能管理机制。研究欧氏空间与信号空间的联合处理增益，设计基于干扰拓扑的波束成形技术与干扰消除技术，设计欧氏空间与信号空间的多维联合优化机制。

经费比例： 16%

承担单位： 西安电子科技大学、中国科学院计算技术研究所

课题负责人： 李建东

参加人员： 盛敏、蔡宁、刘伟、纪雯



课题名称： 网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理

研究目标：

针对大数据应用的特点，通过研究网络环境下数据迁移与计算分配的协同机理，建立基于精准时空体系下数据迁移的计算理论和方法，实现网络传输效率的最优化目标，解决通信瓶颈问题。

研究内容：

探索网络环境下大数据的迁移规律与表示模型，制定数据迁移的性能度量方法；研究数据迁移与计算分配的相互作用机理，制定以数据传输效率优化为目标的计算分配策略；研究网址到“位址”的映射关系及位址标识方法，突破基于位址标识的网络数据组织与聚合、数据浏览和搜索引擎等关键技术，建立基于位址标识的路由方法。

经费比例： 16%

承担单位： 清华大学、中国科学技术大学

课题负责人： 杨健

参加人员： 李星、李卫平、邓北星、卢汉成



课题名称： 网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障

研究目标：

提出服务质量保障的网络通信资源与计算资源协同按需部署与动态调控方法，设计服务质量保障的虚拟机按需聚合策略，建立资源感知的业务时空分布的多样性内容的高效网络传输机制，满足业务服务质量需求，提高资源利用率，突破应用与通信瓶颈的矛盾。

研究内容：

研究服务质量保障的网络化计算按需部署与动态调控方法，提出随时空变迁的分布式计算-通信协作模型以及服务质量描述方法，设计满足服务质量需求的通信与计算的按需部署与动态调控机制。针对虚拟机动态聚合导致的计算资源竞争与服务质量损失，研究以系统能耗与虚拟机性能为双目标的虚拟机聚合优化策略。研究融合多样化资源感知和时空分布的多样性内容高效传输方法，建立异构网络融合条件下的混合域多媒体信息流的自适应编码技术及鲁棒性传输机制。

经费比例： 16%

承担单位： 中国科学院计算技术研究所、中国科学院数学与系统科学研究院

课题负责人： 李锦涛

参加人员： 王启华、虎嵩林、张法



课题名称： 基于北斗精准时空体系的实验验证

研究目标：

基于北斗卫星导航系统技术，面向移动互联网、信息-物理融合系统和大数据的应用环境，验证本项目所提出理论和方法。

研究内容：

研发高精度的定位时间同步终端及网络集成技术，单机时间同步精度达到 20ns，多机时间同步精度达到 5ns；研究基于北斗地基增强系统的整网高精度时间同步技术，整网时间同步精度达到 1ns；研究系统监测评估技术，通过对系统的完备性监测，保证网络空间中精准时空体系的可靠性。以北斗精准时空体系为支撑，依托清华大学 CERNET 平台验证互联网大数据迁移的计算理论和方法；依托电信科学技术研究院 TD-SCDMA/TD-LTE 测试环境，验证移动互联网通信与计算时空协同理论与方法；依托湖北省北斗精密定位服务系统，验证服务质量保障的网络通信与计算资源的按需聚合与动态调控方法。

经费比例： 18%

承担单位： 武汉大学、中国科学院数学与系统科学研究院

课题负责人： 刘晖

参加人员： 韩绍伟、杨晓光、邹国华、王泽民



括 5 个 IEEE Transactions: TCAS-I/TCAS-II/TNN/TIE/TII 的 Associate Editor, 以及自动化学报的编委等。现任 IEEE 电路与系统学会 **IEEE Fellow** 评委会委员 (2013- 2014)、IEEE 神经系统与应用技委会主席、中国电子学会/中国通信学会云计算专委会委员、中国计算机学会大数据专委会委员、中国工业与应用数学学会副秘书长兼复杂网络与系统控制专委会副主任、中国自动化学会理事/青工委副主任等。

与本项目相关的代表性论文[GS:Google Scholar]:

[1] J. Lü*, G. Chen, "A time-varying complex dynamical network model and its controlled synchronization criteria," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 50, no. 6, pp. 841-846, 2005. [ESI 高被引论文, ISI 引用 **391 次**, GS 引用 **624 次**, SCI]

[2] J. Zhou, J. Lu, J. Lü*, "Adaptivesynchronization of an uncertain complex dynamical network," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 51, no. 4, pp. 652-656, 2006. [ESI 高被引论文, ISI 引用 **295 次**, GS 引用 **433 次**, SCI]

[3] J. Lü*, X. Yu, G. Chen, D. Cheng, "Characterizing the synchronizability of small-world dynamical networks," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 51, no. 4, pp. 787-796, 2004. [ESI 高被引论文, ISI 引用 **236 次**, GS 引用 **346 次**, SCI]

[4] W. Yu, G. Chen, J. Lü*, "On pinning synchronization of complex dynamical networks," *Automatica*, vol. 45, no. 2, pp. 429-435, 2009. [ESI 高被引论文, ISI 引用 **229 次**, GS 引用 **346 次**, SCI]

[5] J. Zhu, J. Lü*, X. Yu, "Flocking of multi-agent non-holonomic systems with proximity graphs," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 60, no. 1, pp. 199-210, 2013. [ESI 高被引论文, SCI]

近五年主持与本项研究有关的主要项目:

项目名称	所属计划	项目经费 (万元)	起止年月	本人承担 的任务	投入时间 (月/年)	与申报项目 的关系
复杂多个体系统的建模、分析与应用	国家杰出青年基金	200	2011.01-2014.12	负责人	6	密切相关

主要学术成果获奖:

- **IEEE Fellow** (2013)
- **国家自然科学二等奖** (2012, 排名 1)
- **国家自然科学二等奖** (2008, 排名 2)
- 中国工程院光华工程科技奖"青年奖" (2012, 每学部每 2 年评选 2 名)
- 中国青年科技奖 (2009)
- **ISI Highly Cited Researcher** (2014, 学科前 1% 高影响力学者)



- 澳大利亚 ARC Future Fellowship(2009)
- 教育部自然科学一等奖(2007, 排名 1)
- 北京市科学技术一等奖(2007, 排名 1)
- 亚洲控制会议最佳论文奖(2013, 排名 2)
- 中科院卢嘉锡青年人才奖(2008)
- 北京青年科技奖(2008)、
- 中国物理学会 2012 年“最具影响力论文”一等奖(排名 3)
- 中国百篇最具影响国际学术论文奖(2013, 排名 3)

7.2.2 推荐课题一负责人

李兵, 教授、博导, 湖北省杰出青年基金获得者, 武汉大学复杂网络研究中心副主任。2005 年至今任软件工程国家重点实验室教授。主要从事软件工程、复杂网络、云计算和人工智能等研究。现任中国计算机学会高级会员/软件工程/服务计算/开放系统专委会委员, 中国电子学会高级会员/云计算专委会委员, 中国人工智能学会不确定性人工智能专委会委员, 中国工业与应用数学学会复杂网络与系统控制专委会委员。2004 年创办国内首个校级复杂网络研究中心, 2005 年作为组委会主席承办“首届全国复杂网络学术会议”, 2008 年在科学出版社出版专著《软件网络》, 积极推动了国内复杂网络的发展。曾获国家科技进步二等奖(2009, 排名 10)、教育部自然科学一等奖(2007, 排名 6)、2 项湖北省科技进步一等奖(2011, 排名 2; 2008, 排名 5)、湖北省标准创新贡献一等奖(2010, 排名 2)等多项奖励。在 JCST、JSCC、IJBC、计算机学报、计算机研究与发展等著名期刊或顶级会议发表论文近 100 篇, 科学出版社专著 2 部。

与本项目相关的代表性论文:

- [1] P. He, **B. Li***, Y. Ma, L. He, “Using Software Dependency to Bug Prediction,” *Math. Prob. Eng.*, Article ID 869356, 2013. [SCI]
- [2] H. Wang, K. He, **B. Li***, J. Lü “On some recent advances in complex software networks: Modeling, analysis, evolution and applications,” *Int. J. Bifurcation Chaos*, vol. 22, no. 2, art. no. 1250024, 2012. [SCI]
- [3] W. Pan, **B. Li***, Y. Ma, J. Liu, “Multi-granularity evolution analysis of software using complex network theory,” *J. Syst. Sci. Complexity*, vol. 24, no. 4, pp. 1068-1082, 2011. [SCI]



[4] W. Pan, **P. Li***, Y. Ma, Y. Qin, X. Zhou, “Measuring structural quality of object-oriented softwares via Bug propagation analysis on weighted Software Networks,” *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 25, no. 6, pp. 1202-1213, 2010.[SCI]

[5] J. Liu, J. Lü, K. He, **B. Li***, C. K. Tse, “Characterizing the structure quality of general complex software networks via statistical propagation dynamics,” *Int. J. Bifurcation Chaos*, vol. 18, no. 2, pp. 605-613, 2008. [SCI]

近五年主持与本项研究有关的主要项目：

项目名称	所属计划	项目经费 (万元)	起止年月	本人承担 的任务	投入时间 (月/年)	与申报项目 的关系
基于网络智能的群体软件开发行为建模与分析方法	国家自然科学基金	81	2012.1-2015.1	负责人	6	关系密切
基于软件网络的软件度量研究	国家自然科学基金	30	2009.1-2011.12	负责人	6	关系密切
需求元模型、需求获取与分析	973 课题	297	2007.7-2011.8	骨干	6	关系密切

7.2.3 推荐课题三负责人

李建东，教授、博导，国家杰出青年基金获得者，长江学者，首批国家百千万人才，**863** 通信领域专家，国家新一代宽带无线移动通信网重大专项总体组专家，总装通信和信息安全专业专家组成员，中国通信学会会士，国务院政府特殊津贴获得者，陕西省和电子部有突出贡献专家。1982、1985、1990 年分获西安电子科技大学学士、硕士和博士学位。1985 年留校工作至今，1994 年破格晋升为教授，2002-2003 年访问美国 Cornell 大学。曾任通信工程学院院长、综合业务网理论及关键技术**国家重点实验室**主任，现任西安电子科技大学副校长。主要从事宽带无线移动通信、认知无线网络、软件无线电、ad hoc 自组织网络等方面的研究。曾主持 973 课题、基金委杰青、重点项目等。在 *IEEE Trans. Wireless Communications*、*IEEE Trans. Signal Processing* 等国际权威期刊发表论文 100 余篇，出版专著和教材 5 本。曾获**陕西省科学技术一等奖**(2011，排名 1)等省部级奖励 8 项，科技部 **863** 十五周年“先进个人”，教育部“青年教师奖”，**全国教育系统先进工作者**，陕西省“三五人才”第一层次人选等。曾任信息产业部宽带无线 IP 技术标准工作组组长，宽带无线通信技术专家组成员，总装备部通信导航测控专业专家组成员等。

与本项目相关的代表性论文：

[1] W. Han, **J. Li***, Z. Tian, Y. Zhang, “Efficient cooperative spectrum sensing with minimum overhead in cognitive radio,” *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 9, no. 10, pp. 3006-3011, 2010. [SCI]

[2] W. Han, **J. Li***, Z. Tian, Y. Zhang, “Dynamic sensing strategies for efficient spectrum utilization in cognitive radio,” *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 10, no.11, pp. 3644 - 3655, 2011. [SCI]

[3] W. Han, **J. Li***, Z. Li, J. Si, Y. Zhang, “Spatial false alarms in cognitive radio network,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.61,no.6,pp.1375-1388,2013.[SCI]

[4] W. Han, **J. Li***, Z. Li, Y. Zhang, J. Si, “Efficient soft decision fusion rule in cooperative spectrum sensing,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.61, no.8, pp. 1931-1943, 2013.[SCI]

[5] H. Ju, B. Liang, **J. Li***, X. Yang, “Dynamic joint resource optimization for LTE-Advanced relay networks,”*IEEE Trans. Wireless Communications*, vol.12, no.11, pp.5668-5678, 2013. [SCI]

近五年主持与本项研究有关的主要项目：

项目名称	所属计划	项目经费 (万元)	起止年月	本人承担 的任务	投入时间 (月/年)	与申报项 目的关系
智能的动态网络资源管理模型与控制机制研究	973 课题	500	2009.1-2013.12	负责人	5	关系密切
通信网	国家杰出青年基金	200	2008.01-2011.12	负责人	4	关系密切
无线网络的干扰管理与容量研究	国家自然科学基金重点	270	2013.01-2017.12	负责人	5	关系密切

主要学术成果获奖：

- 认知无线电技术，陕西省科学技术一等奖，2011 年，排名 1
- 大规模无线自组织网络技术，陕西省科学技术一等奖，2013 年，排名 2

7.2.4 推荐课题四负责人

杨健，教授、博导。1999 年获日本新泻大学博士学位并留校任教，2000 年通过人才引进到清华电子系工作至今，2002 年晋升为教授。长期从事信号与信息处理研究，主持完成了多项国家与国防科研项目，发表论文 100 多篇，其中 SCI 论文 50 余篇。法国 Pottier 教授、日本山口芳雄教授、美国 Mott 教授等国际著名学者对其研究工作均给予高度评价，如他在目标分解方面的工作被称为“**杨分解定理**”。现任 IEEE AES 学会北京分会副主席，曾任 IEICE 北京分会主席，担任 IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 等国际著名期刊编委。

与本项目相关的代表性论文：

- [1] **J. Yang***, Y. Chen, Y. Peng, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, “New formula of the polarization entropy”, *IEICE Trans. Communications*, vol. E89-B, no. 3, pp.1033-1035, 2006.[SCI]
- [2] J. Chen, Y. Chen, **J. Yang***, “Ship detection using polarization cross-entropy,” *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.6, no.4, pp. 723-727, 2009.[SCI]
- [3] Y. Cui, G. Zhou, **J. Yang**, Y. Yamaguchi, “Unsupervised estimation of the equivalent number of looks in SAR images,” *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.8, no.4, pp.710-714, 2011.[SCI]
- [4] Y. Cui, **J. Yang**, Y. Yamaguchi, G. Singh, S.-E. Park, H. Kobayashi, “On semiparametric clutter estimation for ship detection in SAR images,”*IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.51, no.5, pp.3170-3180, 2013.[SCI]
- [5] Z. Jiao, J. Yang, C. Yeh, J. Song, “Modified three component decomposition method for polarimetric SAR data,”*IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, vol.11, no.1, pp.200-204, 2014.[SCI]

7.2.5 推荐课题五负责人

李锦涛，研究员、博导，**863** 数字化技术总体组组长、**863** 智能化农业信息处理系统总体组副组长，国家“十五计划和 2015 年远景规划”技术总体组顾问、国务院政府特殊津贴专家。1991 年至今在中科院计算技术研究所工作，现任中科院计算所党委书记兼副所长、移动计算与新型终端北京市重点实验室主任、前瞻研究实验室主任等。主要从事普适计算技术、多媒体与通信等研究。主持多项 973 课题、863 课题、国家科技攻关课题、科技部国际科技合作项目、基金委课题和北京市科技计划项目等。发表 SCI/EI 论文 89 篇，专著 2 部，授权发明专利 32 项。曾获国家科技进步二等奖 1 项(2002, 排名 5)、北京市科学技术一等奖(2005, 排名 1)等省部级奖 6 项、**863** 智能计算机系统主题先进个人一等奖、中科院研究生院优秀教师、中科院与省市、企业合作先进个人奖、中科院科技副职先进个人、第 14 届全国发明展览会银奖等。北京市自然科学基金委副会长，全国信息技术标准化技委会委员，计算机研究与发展主编，计算机辅助设计与图形学学报编委。

与本项目相关的代表性论文：

- [1] Y. Zhang, Z. Mao, **J. Li***, Q. Tian, “Salient region detection for complex background images using integrated features,”*Information Sci.*, DOI:10.1016/j.ins.2013.12.043, 2014. [SCI]
- [2] Y. Song, Y. Zhang, J. Cao, T. Xia, W. Liu, **J. Li***, “Webvideogeolocation bygeotagged social resources,” *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 14, no. 2, pp. 456-470, 2012.[SCI]



[3] W. Wang, D. Zhang, Y. Zhang, **J. Li***, X. Gu, “Robust spatial matching for object retrieval and its parallel implementation on GPU”, *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 13, no. 6, pp.1308-1318, 2011.[SCI]

[4] W. Wang, D. Zhang, Y. Zhang, **J. Li***, X. Gu, “Parallel spatial matching for object retrieval implemented on GPU,”*ICME (Best Paper Award)*, pp. 890-895, 2010. [SCI]

[5] T. Xia, J. Cao, Y. Zhang, **J. Li***, “On defining affinity graph for spectral clustering through ranking on manifolds,” *Neurocomput.*, vol. 72, no. 13-15, pp. 3203-3211, 2009. [SCI]

近五年主持与本项研究有关的主要项目：

项目名称	所属计划	项目经费 (万元)	起止年 月	本人承担 的任务	投入时间 (月/年)	与申报项目 的关系
***** (2007CB311105)	973 课题	453.3	2007.8- 2011.12	负责人	4	关系密切
***** (2010-建-181)	国家计算机网络与信 息安全中心项目	868	2010.9- 2011.12	负责人	4	关系密切

主要学术成果获奖：

- 个人计算与移动计算相结合的算通机技术，国家科技进步二等奖，2002 年，排名 5
- 智能化网络访问终端系统研究及其应用，北京市科学技术一等奖，2005 年，排名 1

7.2.6 推荐课题六负责人

刘晖，教授、博导，国际海事无线电技委会北斗工作组副主席(中国代表，RTCM BDS WG)，科技部国家遥感中心软件评测专家，北京市北斗导航工程应用中心专家。1991 年本科毕业于武汉测绘科技大学，2005 年博士毕业于武汉大学。1991-2000 年在北京市测绘院、国家光电测距仪检测中心、中国测绘科学研究院大地所工作，2005 年至今在武汉大学卫星导航定位技术研究中心工作，现任教授。主要从事连续运行参考站网络的理论和技术方法、差分 GNSS 技术及标准化研究、实时精密定位技术等。主持 863 项目、973 子课题等。过去十年以第一或通信作者发表 40 篇高水平论文。主持 1 项国家标准、1 项行业标准、2 项军工项目制定，主持了全国 80%在建和已建省级系统的技术支持工作，有力地推动了我国参考站网的建设，获 5 项省部级科技奖励。

近五年主持与本项研究有关的主要项目:

项目名称	所属计划	项目经费 (万元)	起止 年月	本人承 担的任 务	投入时间 (月/年)	与申报项 目的关系
大规模基准站网数据处理 与服务技术	863 课题	94	2007~ 2010	负责人	8	关系密切
需求工程-对复杂系统的 软件工程的基础研究	973 课题	30	2008~ 2011	子课题 负责人	3	关系密切

主要学术成果获奖:

- 深圳市连续运行卫星定位服务系统, 测绘科技进步一等奖, 2005 年, 排名 3

7.3 其他中青年学术带头人概况

杨元喜, 教授、博导, 中科院院士, 国家杰出青年基金获得者, 总参"优秀中青年专家"。1991 年获中科院大地测量学博士学位。1992 年任西安测绘研究所教授, 1996-1997 年在德国 Bonn 大学做 Humboldt 学者, 2012 年至今任地理信息工程国家重点实验室主任。主要从事卫星导航、动态大地测量以及测量数据处理与质量控制理论研究。专著 2 部, 合著 3 部, 论文 200 余篇。曾获何梁何利科学与技术进步奖(2011)、国家科技进步二等奖、国家测绘科技进步一等奖和 3 项陕西省科技进步一等奖。曾任陈嘉庚奖第四届评奖委员会委员, 中国第二代卫星导航系统重大专项专委会委员, 中国卫星导航学术年会执行主席, 国家重大科技基础设施建设中长期规划编制工作专家组成员, 第七届国家杰出青年基金评委会委员(2012-2014)。任美国导航学会技委会委员, 英国皇家协会 The Journal of Navigation 专委会委员, 测绘学报的常务副主编, 中国科学、地球物理学报等期刊编委。

吴枫, 教授、博导, **IEEE Fellow**。1999 年获哈尔滨工业大学博士学位, 师从高文院士。1999-2014 年在微软亚洲研究院工作, 2014 年加盟中国科技大学。长期从事多媒体编码与通信方面的研究, 发表 IEEE T-IP、IEEE T-CSVT 和 IEEE T-WC 等 IEEE 会刊论文 44 篇, MOBICOM 和 INFOCOM 等 CCF A 类会议论文 12 篇, 国内首篇 IEEE T-CSVT 最佳期刊论文奖。授权美国发明专利 77 项, 15 项技术提案被 MPEG 系列标准采纳, 曾任中国 AVS 首届视频组组长, 完成 AVS 视频编码标准 1.0 的技术指定工作, 并于 2006 年被批准为国家标准。曾任 IEEE TCAS-VT、IEEE TM 等国际著名期刊的 Associate Editor。曾获国家技术发明二



陈山枝，教授级高工、博导，国家百千万人才，中国通信学会会士，863 信息领域专家，“新一代宽带无线移动通信网”国家科技重大专项专家，政府特殊津贴专家，国家科技基础条件平台建设顾问，国家物联网发展咨询专家等。1997 年获北京邮电大学博士学位。1997 年至今在电信科学技术研究院工作，现任副院长兼无线移动通信国家重点实验室主任等。主要从事无线移动通信网络、网络生存性和应急通信等研究，主导制定国际标准 11 项，发明专利 10 项，专著 3 部，SCI/EI 论文 100 余篇。获国家科技进步一等奖(2012，排名 4)、国家科技进步二等奖(2001，排名 3)、中国通信学会科技进步一等奖(2012，排名 1)、中国工程院光华工程科技奖“青年奖”(2012)等。任 4 个 IEEE 通信期刊及通信学报各类编委。

李卫平，教授、博导，国家千人，**IEEE Fellow**。1983、1988 年分获美国斯坦福大学硕士和博士学位。1987-1998 年任美国里海大学电机工程和计算机科学系助理教授、副教授、教授。2002-2010 年任美国八达网络公司任副总裁兼首席技术官。2010 年加盟中国科技大学，现任信息科学技术学院院长。在 **IEEE Transactions** 等刊物发表一系列高水平论文并拥有 20 多项美国专利，是 **MPEG-4** 国际标准制定的主要参与者，**MPEG FGS** 标准的代表论文单篇 **Google** 引用 1100 余次。曾获 **IEEE** 和 **ISO** 的多项重要国际奖励。

2005 年因网络编码方面的突出贡献而获 **IEEE 信息论学会最佳论文奖**。此外，在组合数学极值理论上取得重要成果，被国际同行称为“**Alhs wede-Cai 理论**”；解决了长期悬而未决的 **Kleitman 猜想**。17 篇 **IEEE Trans. Information Theory** 论文和专著 1 部。

韩绍伟，教授、博导，国家千人，北京市海外高层次人才，中关村高端领军人才，北京市特聘专家。1988 年获武汉大学硕士学位并留校任教，1997 年获澳大利亚新南威尔士大学博士学位。2000-2009 年在美国 Magellan、Centrality Communications、SiRF 等工作，曾任副总裁；2009 年回国创办和芯星通科技(北京)有限公司。2012 年参与创办武汉导航与位置服务工业技术研究院并受聘武汉大学教授，2013 年任院长。主要从事高集成度芯片设计和高精度 GNSS 核心算法研究。主持多项基于北斗的国家重大科技专项。曾任**全球华人定位导航协会 CPGPS 主席**。曾获省部级一等奖 1 项。

杨晓光，研究员、博导，国家杰出青年基金获得者，中科院百人，国家百万人才，中国青年科技奖获得者。中科院系统科学研究所副所长，中科院管理决策与信息系统重点实验室主任。1986、1993 年分获清华大学学士、博士学位。1993 年至今在中科院数学与系统科学研究院工作，现任研究员。主要从事运筹学、博弈论、系统科学、管理学等研究。在 Theoretical Computer Science 等国际著名期刊发表论文 100 余篇。主持基金委重点项目、杰青、973 课题等。获北京市科学技术一等奖、教育部科技进步一等奖、北京青年科技奖、国务院政府特殊津贴等。

王启华，研究员、博导，国家杰出青年基金获得者，长江学者，中科院百人。1996 年博士毕业于北京大学。1996 年至今在中科院数学与系统科学研究院工作，现任研究员，其中 2001-2004 年在美国 Yale 大学、德国 Humboldt 大学等做博士后。主要从事复杂数据统计分析与建模、高维数据分析等研究。在 Journal of the American Statistical Association 等国际著名期刊发表论文 100 余篇。主持基金委重点项目、杰青等，获首届全国优博、钟家庆数学奖等。现任中国科学编委。

邹国华，研究员、博导，国家杰出青年基金获得者，中科院百人，国家百万人才。1995 年博士毕业于中科院系统所。1995-1997 年在北京师范大学做博士后，1997 年至今在中科院数学与系统科学研究院工作，现任研究员。主要从事复杂数据统计建模与分析等研究。在 *Journal of the American Statistical Association*

等国际著名期刊发表杂志论文 90 余篇。曾获**全国优博**、**全国优秀统计教材奖**等。现任系统科学与数学的副主编。

盛敏，教授、博导，**教育部新世纪人才**，**陕西省首届“三秦学者”**，霍英东青年教师奖获得者。1997、2000、2004 年分获西安电子科技大学学士、硕士和博士学位。2000 年留校工作，现任通信工程学院教授。主要从事分组无线网、移动通信、传感器网络和宽带传输等方面研究。主持国家重大科技专项课题、国防 973 课题等。论文 60 余篇，专著和教材 2 本，授权专利 25 项。曾获 2 项陕西省科学技术一等奖(排名 1、2)等。



八、现有工作基础和条件

8.1 工作基础及研究成果

本项目组成员过去十多年承担了一系列与所申请项目密切相关的国家级课题，积累的丰富的课题工作经验。具体而言，承担了 7 项国家杰青基金项目、5 项 973 课题、3 项国家重大科技专项课题、1 项国家科技支撑计划课题、2 项 863 课题、2 项国家基金委重大或重点项目、1 项中央国有资本经营预算重大技术创新及产业化项目等，详见 8.1.1 相关课题工作经验。

本项目组成员在通信网、无线通信系统、网络体系结构的理论和技术、多媒体传输、动态网络资源管理、复杂系统、网络优化等领域取得了一系列具有重要国际影响的理论成果和重大实际需求的应用成果(详见 8.1.2 相关研究成果)，具体表现为：

- 100 余篇 IEEE/SIAM/ACM 会刊论文
- 100 余项授权专利
- 25 篇 ESI 高被引论文
- 30 篇单篇 SCI 他引超 100 次
- SCI 他引 10000 余次
- 1 项国家科技进步一等奖
- 2 项国家自然科学二等奖
- 2 项国家技术发明二等奖
- 4 项国家科技进步二等奖
- 11 项省部级一等奖

上述这些数据表明本项目已经具备坚实的工作基础。

8.1.1 相关课题工作经验

- 7 项国家杰青基金项目：

杨元喜院士、吕金虎、李建东、李星、杨晓光、邹国华、王启华

- 5 项 973 课题：

智能的动态网络资源管理模型与控制机制研究(2009CB320404，李建东主持)



XXX 基本理论与关键技术研究(2007CB311100, 李锦涛主持)

验证示范研究: 服务大众的按需回答原型系统(2007CB310806, 李星主持)

需求元模型、获取与分析(2007CB310801, 李兵参与)

需求导向的服务资源交互与协同(2007CB310805, 吕金虎、刘晖、虎嵩林参与)

● **1 项中央国有资本经营预算重大技术创新及产业化:**

基于 TD-SCDMA 技术的复杂环境和机动应用的宽带无线应急通信系统开发与示范应用(陈山枝主持)

● **2 项国家基金委重大或重点项目:**

无线网络的干扰管理与容量研究(61231008, 李建东主持)

XXX 计算方法(9112XXXX, 李锦涛主持)

● **3 项国家重大科技专项课题:**

基于 TD-LTE 高频高速热点接入关键技术和样机研发及验证(陈山枝主持)

XX 分析与检测技术研究(2011XXXXXXXX, 李锦涛主持)

冠状病毒传播、进化与预警等模型研究(2014ZX10004-001-014, 吕金虎主持)

● **2 项 863 课题:**

大规模基准站网数据处理与服务技术(2007AA12Z309, 刘晖主持)

支持无线标准的低功耗智能跟踪定位终端及系统研发(2007AA01Z305, 虎嵩林参与)

● **1 项国家科技支撑计划课题:**

IPV6 过渡机制及其应用示范(李星主持)

8.1.2 相关研究成果

● **1 项国家科技进步一等奖:**

TD-SCDMA 关键工程技术研究及产业化应用(陈山枝, 2012, 排名第 4)

● **4 项国家科技进步二等奖:**

个人计算与移动计算相结合的算通机技术(李锦涛, 2002, 排名第 5)

AS800 多业务接入交换机(陈山枝, 2001, 排名第 3)

2000 国家大地控制网(杨元喜, 2006, 排名第 2)



究中心，承办了首届全国复杂网络会议。项目首席科学家吕金虎研究员、课题负责人李兵教授任中心正副主任。

国家卫星定位系统工程技术研究中心于 1998 年依托武汉大学等成立。主要从事卫星导航定位及相关领域的基础理论研究、新技术开发和推广应用研究,培养卫星导航领域“高、精、尖”人才。中心现有“**卫星导航与定位**”教育部重点实验室、“**导航与位置服务**”国家测绘地理信息局重点实验室等基地,拥有一流的卫星导航软件、硬件研发平台。现有 27 人,其中院士 1 人、国家千人 1 人、长江学者 2 人、国家杰青 1 人。该中心为本项目试验验证提供强有力保障。

8.2.3 西安电子科技大学

综合业务网理论及关键技术国家重点实验室于1989年由国家计委批准立项，1995年通过国家验收。依托信息与通信工程以及军队指挥学两个国家一级学科，主要从事通信网络体系架构及关键技术，高效信源和信道编码技术，信息传输理论与技术等研究。现有55人，其中国家杰青3人，长江学者4人，国家千人1人，国家百千万人才3人。拥有“宽带无线通信”和“网络与信息安全”两个教育部长江学者创新团队。近五年获国家级二等奖2项，省部级奖励13项。

8.2.4 清华大学

电子工程系建于 1952 年，是中国无线电电子学科的开创单位之一，拥有电子科学与技术、信息与通信工程两个国家一级学科。现有 129 人，其中**院士 2 名**、教授 39 名。拥有“**微波与数字通信国家重点实验室**”等 3 个国家重点实验室。该系在互联网体系结构、网络通信与网络信息处理等领域取得了国际领先水平的成果，获数十项国家和部委级科技奖励。

中国教育和科研计算机网(CERNET/CERNET2)是由国家投资建设，教育部负责管理的全国性学术计算机互联网络，联网主机 120 万台，用户超过 2000 万人，由清华大学主持运行管理。**CERNET2** 是中国下一代互联网的试验网络，也是全球最大的 **IPv6** 网络，并第一个实现了中国与国际下一代高速网 INTERNET 2 的互联。项目团队依托 **CERNET** 主干网和网络管理系统进行了大规模示范应用部署和试验研究，积累了丰富网络研发经验，为本项目提供互联网验证平台。

8.2.5 中国科学院计算技术研究所

计算机体系结构国家重点实验室筹建于2011年，于2013年通过国家验收。主要从事高端计算机体系结构 and 设计方法、微体系结构、编译和编程、VLSI与容错计算、非传统计算机体系结构研究。现有研究人员60人，其中院士2人，国家杰青3人，国家千人2人，中国青年科技奖2人，中国十大杰出青年1人，中科院百人4人。2个团队曾获中科院杰出科技成就奖。

移动计算与新型终端北京市重点实验室于 2011 年成立，源于计算所下一网
网络中心无线通信研究课题组。它的成立是针对移动通信与计算技术融合的革命
性发展趋势而做出的重要部署。实验室也是移动计算与智能通信北京市国际科
技合作基地、北京市 4G 工程公共服务平台。

中科院智能信息处理重点实验室成立于 1987 年。主要从事知识网格、智能科学、大规模知识处理、基于图像的人机交互、多媒体信息的编码与理解、大规模高维数据可视化等基础性和前瞻性研究工作。现有 38 人，包括国家杰青 1 人，中科院百人 3 人。

8.2.6 中国科技大学

多媒体计算与通信教育部—微软重点实验室是中国高校与微软亚洲研究院首批建立的 5 所“教育部—微软重点实验室”之一，主要从事视频编码与通信、多媒体内容分析与检索、计算机视觉与模式识别等研究。实验室拥有 100 台服务器构成的数据及计算中心、Cisco 网络传输试验平台、误码分析仪 N4906B、泰克公司图像质量分析仪 PQA600、SONY 高清视频采集系统、Optech ILRIS-3D 大地激光扫描仪、3D 视频显示系统等设备。获得安徽省科学技术一等奖、IEEE Trans. CSVT 最佳论文奖、ACM Multimedia 最佳论文奖、ACM KDD 最佳应用论文奖等一批成果。

8.2.7 电信科学技术研究院

无线移动通信国家重点实验室筹建于 2007 年，2009 年通过国家验收。实验室是国内无线移动通信领域唯一的依托企业建立的国家级重点实验室，开展共性和关键技术研究，主导 3GPP LTE TDD 等国际标准制定，具有核心知识产权的 **TD-LTE-Advanced** 成为国际电联 4G 候选标准之一，为提升我国在无线移动通信技术与标准领域的国际竞争力做出了重大贡献。实验室拥有保证产品成熟稳定

的实体测试环境、系统集成测试环境和外场测试环境，可为本项目移动互联网环境下的实验验证提供支撑平台。

8.2.8 西安测绘研究所

西安测绘研究所长期从事卫星导航技术研究，在卫星导航基础理论研究、应用研究、数据处理及工程建设方面取得了大量的研究成果，获十余项国家及军队科技进步奖。卫星导航定位实验室和空间数据处理中心包括了各种导航和测量型接收机、各种数据处理设备以及各种数据处理软件，可收集全球 IGS 站的观测数据和采集北斗、GPS、GLONASS 观测数据。目前承担的北斗精密定轨任务和全球监测评估系统数据分析中心建设任务为本项目奠定了技术基础。

地理信息工程国家重点实验室是 2012 年经科技部批准建立的首批军民融合国家重点实验，依西安测绘研究所建设。该实验室是我国军事测绘导航领域唯一的国家重点实验室，主要从事全球地理空间信息基础研究和应用研究，重点是时空基准维持与精确、新导航理论与技术等。所属国家标准长度检测中心是目前亚洲长度最长、精度最高的长度基线检定场；具有 GPS 观测站 9 座，SLR 固置观测站 1 座，VLBI 流动观测站 1 座，用于网络工程观测及实验数据获取；建成天绘卫星应用中心 1 个，可获取海量天绘卫星遥感数据。



九、经费概算

金额单位：万元

序号	研究任务（课题名称）	合计	专项经费	自筹经费
1	网络空间中精准时空体系的表征与建模	608	608	0
2	网络群体行为的本质特征与运动规律的认知	684	684	0
3	移动环境下通信与计算时空协同机理	608	608	0
4	网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理	608	608	0
5	网络通信与计算资源的按需调控与服务质量保障	608	608	0
6	基于北斗精准时空体系的实验验证	684	684	0
累计		3800	3800	0



十、申报人员签字

本人承诺，我参与国家重点基础研究发展计划网络通信与计算的协同理论与方法项目的申报，符合《国家重点基础研究发展计划项目申报要求》中有关人员的申报资质要求，申请书中有关本人的信息真实可靠。

姓名	性别	证件类型	证件号码	专业技术职务	专业	单位	作用	每年工作时间(月)	签字
吕金虎	男	身份证	422723197409201014	研究员	复杂系统的行为和模型的研究	中国科学院数学与系统科学研究院	首席科学家	7	
李兵	男	身份证	42010619690330083X	教授	软件工程学	武汉大学	课题负责人	8	
杨元喜	男	身份证	610103195607239511	教授	大地测量学(物理大地测量、动力大地测量)	西安测绘研究所	其他参加人员	4	
吴枫	男	身份证	422428196907075410	教授	计算机通信	中国科学技术大学	其他参加人员	5	
万显荣	男	身份证	420111197510264079	教授	通信网	武汉大学	其他参加人员	6	
徐天河	男	身份证	421127197509295611	副研究员	大地测量学(物理大地测量、动力大地测量)	西安测绘研究所	其他参加人员	4	
吕金虎	男	身份证	422723197409201014	研究员	复杂系统的行为和模型的研究	中国科学院数学与系统科学研究院	课题负责人	7	
陈山枝	男	身份证	610113196902012253	研究员	通信网	电信科学技术研究院	其他参加人员	5	
崔晓晖	男	身份证	420106197107144914	教授	软件工程学	武汉大学	其他参加人员	6	
吴晓群	女	身份证	422123197801034924	教授	复杂系统的行为和模型的研究	武汉大学	其他参加人员	8	
刘志新	女	身份证	372431197907150466	副研究员	复杂系统的行为和模型的研究	中国科学院数学与系统科学研究院	其他参加人员	3	



李婵颖	女	身份证	510107197910230043	副研究员	随机系统与状态估计	中国科学院数学与系统科学研究院	其他参加人员	9	
李建东	男	身份证	610113196210252176	教授	通信网	西安电子科技大学	课题负责人	6	
盛敏	女	身份证	610113197508152201	教授	通信网	西安电子科技大学	其他参加人员	5	
蔡宁	男	护照	C7JTYCHTG	教授	通信网	西安电子科技大学	其他参加人员	6	
刘伟	男	身份证	610102197706030337	副教授	通信网	西安电子科技大学	其他参加人员	8	
纪雯	女	身份证	610103197602062824	副研究员	计算机通信	中国科学院计算技术研究所	其他参加人员	6	
杨健	男	身份证	610103196502013852	教授	智能信息处理	清华大学	课题负责人	8	
李星	男	身份证	110108195604161812	教授	通信网	清华大学	其他参加人员	5	
李卫平	男	护照	221365628	教授	通信网	中国科学技术大学	其他参加人员	6	
邓北星	男	身份证	230103196408240994	教授	计算机通信	清华大学	其他参加人员	4	
卢汉成	男	身份证	420205197704125710	副教授	通信网	中国科学技术大学	其他参加人员	4	
李锦涛	男	身份证	110108196203233779	研究员	算法的设计与分析	中国科学院计算技术研究所	课题负责人	8	
王启华	男	身份证	310107196307181230	研究员	数理统计	中国科学院数学与系统科学研究院	其他参加人员	6	
虎嵩林	男	身份证	142602197310202039	副研究员	计算机网络与分布式计算系统	中国科学院计算技术研究所	其他参加人员	8	
张法	男	身份证	130105197402240938	副研究员	计算机网络与分布式计算系统	中国科学院计算技术研究所	其他参加人员	6	



刘晖	男	身份证	110108196811033711	教授	大地测量学(物理大地测量、动力大地测量)	武汉大学	课题负责人	8	
韩绍伟	男	身份证	420111196501054059	教授	大地测量学(物理大地测量、动力大地测量)	武汉大学	其他参加人员	6	
杨晓光	男	身份证	110108196407149018	研究员	运筹学	中国科学院数学与系统科学研究院	其他参加人员	6	
邹国华	男	身份证	220104196407111538	研究员	数理统计	中国科学院数学与系统科学研究院	其他参加人员	6	
王泽民	男	身份证	420106196511274898	教授	大地测量学(物理大地测量、动力大地测量)	武汉大学	其他参加人员	6	



十一、申报单位意见

我单位根据《973 计划管理办法》、《国家科技计划项目承担人员管理的暂行办法》等有关规定，以及《国家重点基础研究发展计划项目申报要求》，对申报人员资格、研究条件等项目申请书各项内容的真实性进行审核。

单位盖章:

负责人签字:

年 月 日

