

# PaperPass旗舰版检测报告

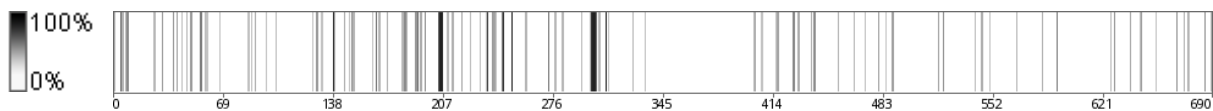
## 简明打印版

### 比对结果(相似度):

总体: 9% (总体相似度是指本地库、互联网的综合对比结果)  
本地库: 9% (本地库相似度是指论文与学术期刊、学位论文、会议论文、图书数据库的对比结果)  
期刊库: 6% (期刊库相似度是指论文与学术期刊库的对比结果)  
学位库: 6% (学位库相似度是指论文与学位论文库的对比结果)  
会议库: 2% (会议库相似度是指论文与会议论文库的对比结果)  
图书库: 3% (图书库相似度是指论文与图书库的对比结果)  
互联网: 1% (互联网相似度是指论文与互联网资源的对比结果)

编号: 5AD717E0705ED1H7X  
版本: 旗舰版  
标题: 11  
作者: 111  
长度: 20746字符(不计空格)  
句子数: 690 句  
时间: 2018-4-18 18:03:12  
比对库: 学术期刊、学位论文、会议论文、书籍数据、互联网资源  
查真伪: <http://www.paperpass.com/check>

### 句子相似度分布图:



### 本地库相似资源列表(学术期刊、学位论文、会议论文、书籍数据):

1. 相似度: 1% 篇名: 《国家卫星导航产业中长期发展规划》  
来源: 学术期刊《卫星应用》2013年6期

### 互联网相似资源列表:

1. 相似度: 1% 标题: 《国家卫星导航产业中长期发展规划\_0a89cc37...》  
<https://wenku.baidu.com/view/0e764d81a8114431b80dd813.html>

### 全文简明报告:

#### 项目摘要

{43%: 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” {70%: 已成

为全球最具挑战性的课题之一。} {46%：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， {46%：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，} {59%：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，设路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 Fellow3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， {45%：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

2

获得9项国家科技奖励。 {52%：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。

3

## 一、 立项依据

移动互联网、信息-物理融合系统（Cyber-Physical System，CPS）和大数据的应用造成了EB级的数据通信需求，对通信资源的利用已逼近理论极限(点对点通信的香农上限、无线频谱资源稀缺等)，而通信资源的密集复用又带来了资源间干扰和大量的能源消耗， {53%：阻碍了通信能力的进一步提高，形成了通信瓶颈。} 因此，迫切需要借助其它途径提供绿色、高效的通信能力，这是国家在信息通信技术（Information Communication Technical，ICT）领域的重大战略需求。 {52%：同时，计算能力的增长速度远超过通信能力的增长速度。} 在通信中进一步发挥计算的作用，通过网络通信与计算的高效协同，成为突破通信瓶颈的重要途径。网络通信与计算资源以及应用需求都具有典型天然的时空属性，网络通信与计算的高效协同需要统一时空基准和更精确的时空信息。 {42%：因此依靠北斗卫星导航系统（BeiDou Satellite Navigation System，BDS）建立的高精度、自主可控的时空体系（整网同步精度纳秒量级，} 定位精度厘米量级）为深入研究网络通信与计算的高效协同，以及实现与业务需求的精准匹配提供了新的技术基础。

### 1.1 时空信息对网络通信与计算的重要性

{45%：网络时间同步是保证移动互联网、信息-物理融合系统正常工作的基础。} 移动互联网依靠基站设备（带有GNSS接收机或铷原子钟）产生时间同步信息来实现无线组网和

通信，依靠网络时间协议（Network Time Protocol，NTP）进行基站间时间同步。{53%：随着移动通信系统的不断发展，对系统时间同步精度的要求也不断提升（如图1-1）：} CDMA要求同步精度为 $3\mu\text{s}$ ；LTE则是 $1.5\mu\text{s}$ 甚至亚微秒量级；未来5G系统预计将达到 $1\mu\text{s}$ 以内，且存在大量并没有高精度时钟的无线通信设备（如5G的高密度小基站、大量低端移动设备和传感器等），这种情况下如何利用稀疏的高精度同步点建立整网的高精度时间同步成为亟需解决的关键问题，{62%：也是网络通信性能进一步提升的基础。}

4

图1-1无线通信系统对时钟同步的需求 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。{43%：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} {41%：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。{41%：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

5

“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。{42%：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，{42%：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。{48%：如马来西亚航空MH370失联事件中，飞行轨迹推算

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，{41%：将是提高协同效能，解决通信瓶颈问题的有效途径之一。}

6

### 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。{43%：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

7

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；{41%：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：{53%：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；{41%：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。

8

{93%：二、国内外研究现状和发展趋势}

{42%：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。{48%：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、{40%：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：{56%：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；}{46%：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]。

图2-1 移动时代的通信系统速率发展

### 2.1.2 网络空间中的空间基准

在网络空间中建立空间基准，就是借助地理空间位置信息建立网络坐标系

统。网络坐标系统研究是互联网领域中与地理位置有关的热点问题，但在移动

互联网领域则刚刚开始。Michael 和Karthik 研究发现互联网主机网络距离和主机地理距离基本成正比关系[6]，通过建立网络距离空间与欧式空间的映射关系

建立了网络坐标系统。{41%：网络坐标系统可用于刻画网络属性的时变分布规律与性质、性能状况、以及节点间相互关系等，在最优传输路径选择，增加传输速率，

{66%：增强网络稳定性等方面具有重要作用。}在Google CDN 中采用了基于欧氏距离的

{46%：中心式网络坐标系统GNP [7]，而分布式网络坐标计算在P2P 文件共享、分布式}

哈希和应用层路由中也有着广泛应用。项目成员李星等曾提出了几类网络坐标计

算模型，具有较高的准确性以及对节点抖动的鲁棒性，在互联网广播系统中获得较好的应用效果[8]。

{47%：目前移动环境下的网络坐标系统的研究刚刚开始，尚未取得突破。} 与互联网的桌面环境不同，几乎所有移动终端和基站都具备实时定位能力，可获得不同精度的空间位置信息，可以借助这些信息构建移动环境中网络坐标系，研究网络拓扑、资源与业务分布等，关键是如何在大量广义精度谱的位置信息中提取移动终端的精确位置，本项目拟在此领域进行深入研究。

10

### 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。{45%：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，} {45%：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。}

{58%：基于地理位置的路由是空间戳的研究热点。} {45%：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

{54%：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。} {67%：BDS的坐标框架采用中国2000大地坐标系统（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。{48%：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10 m，高程10 m，单机授时50 ns标准定位和授时，以及120个汉字/次的短报文通信服务[9，10]。{58%：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10 cm，时间同步精度优于1 ns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

11

的系统，由于年代久远绝大部分不能接收并处理北斗信号。{74%：在《国家卫星导航中长期发展规划》提出：} {97%：统筹建设国家统一的多模连续运行参考站网，为各类用户

导航增强服务提供支撑；} {90%：基于该系统形成门类齐全、互联互通的位置服务基础平台，为地区、行业和大众共享应用提供支撑服务。} 因此改造升级现有资源组建 全国一张网不仅是用户的实际需求，更是国家的重大工程与战略需求， 最终是要实现向全国用户提供从毫米级到米级的广义精度谱的可靠安全泛在位置服务。 2013年3月， {44%：由国务院中国卫星导航管理办公室批准的全国首个北斗地基增强系统示范项目—湖北省北斗精密定位服务系统在武汉通过验收，} 本项目的示范验证将基于该系统构建而成，为本项目研究提供精准的时空信息， 同时又对研究成果进行实验验证。

{47%：2.2网络群体行为的运动规律从网络动力学的角度，} 通信瓶颈是复杂通信网络中大量业务流、控制流和资源流通过相互作用而涌现出的一种网络群体行为（如通信阻塞、业务潮汐、非合作信息涌现等）， 具有多重复杂性如有限或不确定信息、非线性、时滞、网络博弈等典型特征。 研究动态、复杂条件下的网络通信与计算的协同，需要从网络群体行为的本质特征入手进行剖析， 探索网络群体行为具有普适性的运动规律及其干预调控机理，为网络资源的精准投放与精细管理提供理论支撑。 {50%： 2.2.1 网络动力学 网络动力学是探索网络群体行为的基础。} 2009年，美国Science出版了 复杂系统与网络专刊[14]。 2013年，美国化学家M. Karplus、M. Levitt和A. {42%： Warshel 因将传统的化学实验搬到网络世界的多尺度复杂化学系统模型的贡献而获得诺贝尔化学奖。} 复杂网络群体行为运动规律的探索是网络科学与工程领域最重要的前沿问题之一。 传统地，人们通过随机图论来研究复杂网络。 由于计算能力的飞速发展和大数据的涌现，迫使人们不得不重新认识网络结构与功能之间的关系。 Watts和Strogatz发现了复杂网络中的小世界（Small-World）特征[15]。 Barabási 和Albert发现了复杂网络的无标度（Scale-Free）特征[16]。 {42%：这两个发现极大的推动了复杂网络的研究，促进了网络科学与复杂实际工程系统研究的交叉融合。} 近

12

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]。 {41%：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} {82%：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

{53%：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。} {51%：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。} {41%：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. {63%： Schuster探讨了规则网络时空牵制控制问题[28]；} {84%：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。 {100%：网络是信息传输、接收、共享的虚拟平台，通过它把各个点、面、体的信息联系在一起，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。

## 2.3 网络通信与计算的相互作用

通信与计算协同技术的发展趋势是实现通信资源与计算资源之间的自适应与柔性智能转换，  
{45%：目标是最大化资源利用率，解决网络应用中的通信瓶颈问题。}

### 2.3.1 计算技术

计算技术发展趋势是网络化和移动化，目的是提供移动、泛在的计算能力。 计算网络化带来的是资源具有了天然的地理分布特性，移动计算带来的则是与通信的强交互过程，二者都需要利用精准时空信息进行资源调配。 计算机单核的计算能力增长几近停滞，横向扩展与计算资源的综合调度成为提高计算能力的主要途径[39]。 从2008年到2014年， Intel主流处理器的频率从3.33GHz变化到3.4GHz，与之相对应的是： 处理器核数则从4核增至15核，因此终端设备计算能力仍在持续增强。 大数据压力下，数据中心规模也在快速扩张，Google十三个数据中心的规模已达90万台服务器， 消耗2.6亿度电，相当于全球耗电量的0.01%。 同时，核间、计算机、数据中心之间的通信能力成为制约计算能力持续提升的瓶颈，因此虚拟化技术应运而生， 成为运维管理超大规模计算系统并实现绿色计算的重要手段[40]。

### 2.3.2 网络通信技术

移动互联网是网络通信技术发展的热点之一，其发展呈现高速率、高移动性的趋势，目的是提供泛在、高质量、大容量的通信服务。 为了满足人们的多样化移动通信需求，各种新技术和新标准不断涌现，呈现了无线广域网、 {65%：无线城域网、无线局域网和无线个域网齐头并进的盛况(图2-1)。} 然而，纵观无线通信的发展与变革，均是由引入新的资源域所推动的。 如今已很难再找到新的通信资源维度来继续推动无线通信系统的革命。 因此，如何精准、充分、高效的利用现有通信资源，已经成为未来通信系统的发展方向，也是推动无线通信技术继续变革的动力。

{45%：未来5G无线网络容量有望提升至今天的1000倍，其基本形态是：} {44%：超高密度布设小基站（热点 / 家庭基站 / 微微小区）+ 微小区 + 宏小区，并与密集WiFi}

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。 {45%：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年提出的一 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。{43%: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。{42%:我国通信用户和网络规模均为世界第一,信息需求强劲。}{84%: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。}{98%: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;}{100%: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。}{70%:北斗卫星导航系统为代表的时空技}

15

{46%: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:

{100%:三、拟解决的关键科学问题和主要研究内容}

### 3.1拟解决的关键科学问题

{41%:通过信息科学与地学的学科交叉,在网络空间中建立精准时空体系,实现导航与移动通信、互联网等融合应用,}提供网络通信与计算的协同新机制,优化资源配置、提高资源利用率并实现按需服务,是突破移动互联网、信息-物理融合系统、大数据的应用中通信瓶颈的有效途径。针对其中的挑战性问题,本项目研究的关键科学问题归纳如下:

科学问题一:网络空间中精准时空体系的构建机制与机理

移动互联网、信息-物理融合系统、大数据的应用与通信瓶颈的矛盾,本质上是资源的有限供给与需求的快速增长之间的矛盾,解决该问题的关键是根据需求对有限资源进行精细投放与精准管理。精准时空信息是网络资源与业务需求优化匹配的纽带和桥梁,也是通信资源与计算资源高效协同与柔性转化的重要支撑,更是掌握物理与认知融合规律的必要途径。自主时空标识通过对信息的精确定位、追踪与管理,区分合作与非合作信息,对于网络安全、信息安全与国防安全等具有根本重要性。通过自主可控的北斗卫星导航技术在网络空间中构建精准时空体系,在信息中引入精准时空标识,实现网络资源与信息的精准定位,建立网络资源与信息之间的时空关联,研究相互作用机理,为在精确、自主可控的时空基准下的网络通信与计算的协同提供基础理论和方法支撑。

科学问题二:{45%:网络群体行为的时空规律认知与干预调控机理}

融入精准时空信息的网络空间,将是一个包含导航定位系统、互联网/移动互联网、计算基础设施、应用网络等端、网、云的复杂网络系统,该网络的群体行为是在大量业务流、控制流和资源流相互作用下涌现出来的可认知现象,如网络拥塞、通信业务潮汐及非合作信息的出现等。在精准时空体系支撑下,从新的视角认识网络群体行为的涌现规律、鲁棒性、脆弱性等本质特征,揭示其运动规律,探索时空协同的干预调控机理,实现网络通信与计算资源的精准投放和精

{42%：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。

异构组网和路由算法

通信能力与计算能力的

协同机制

物理与认知的融合理论

适应业务时空分布多样性

和基于虚拟化的多种资源

按需调控方法

完成实验验证

提出计算通信协作模型及

可获得的网络增益上限

指

南

背

景

精准时空体系中网络通信

与计算的相互作用规律

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

指

南

要

求

研

究

内

容

移动互联网、信息-物

理融合系统（Cyber-Physical

System）和大数据的应用及

通信瓶颈的矛盾

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

### 3.2.1 网络空间中精准时空体系构建与规律认知

(1) 网络空间中精准时空体系的表征与建模 基于北斗卫星导航系统及其高精度时空信息感知技术,在网络空间中建立精准时空体系。 针对融入精准时空信息的网络空间多样异构与动态时变的特点,建立适合移动环境下的网络坐标系统, 实现准确高效的网络测量与计算,提供信息空间的时空统一建模方法。 具体内容如下: {45%: 基于北斗卫星导航系统的高精度时间同步技术,研发高精度的定位时间同步终端及网络集成技术,} {50%: 北斗支持下单机时间同步精度优于20 ns,多机同步精度优于5 ns。} 研究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,达到整网关键节点1ns的时间同步精度。研究网络空间中时空基准完好性实时监测与精度评估技术,提升时空基准维持与评估能力,确保网络空间中精准时空体系的可靠性。

研究精准时空基准条件下,网络信息的空间定位方法与路由协议。 {41%: 利用卫星导航定位技术,在网络空间中构建高精度时空体系;} 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,实现对网络信息的精准定位。 探索无线传感网与互联网的异构组网中精准时空信息的作用机制与路由技术。

研究精准时空体系下的网络坐标系统构建理论。 研究精准时空体系下网络空间与欧式空间的映射模型,提供准确、高效、鲁棒的网络坐标计算方法; 探索移动环境中,基于移动设备实时定位能力的网络坐标获取与网络状态测量技术。

研究精准时空体系下信息空间的时空统一建模方法。 根据时空关系的同一性及相互作用,建立多维、多层次时空模型,分析模型中的映射关系、转换机制以及语义表达与推理,形成信息空间的统一时空模型。 {41%: 研究对时空对象进行表示和推理的方法,实现多模型协同。}

#### {50%: (2) 网络群体行为的本质特征与运动规律的认知}

精准时空体系下,网络通信与计算资源的精准投放和精细管理,依赖于对网络群体行为本质特征及其运动规律的认知。 融入精准时空信息的网络是一个典型

22

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。

{59%: 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, {48%: 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: {46%: 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, {58%: 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。

23

精准时空信息的可靠承载方法。无线网络异构性、随机性与高度动态性给精准时空体系的建立带来不确定性, 导致了网络通信性能下降。本项目将分析移动环境下网络及其业务特征, 建立精准时空信息传输服务质量需求的刻画与分类模型, 及可靠承载精准时空信息的智能资源管理机制, 提出异构网络环境下差异化差错补偿及资源预留方法。欧氏空间与信号空间的联合处理增益。无线环境下, 超密集网络部署是提高时空频码等通信资源复用率的主要途径, 但也会带来严重的干扰问题。本项目将在精准时空体系支持下, 构建网络干扰拓扑, 挖掘网络干扰特性, 设计基于干扰拓扑的信息成形技术与干扰消除技术, 实现欧氏空间与信号空间的多维联合优化, 提高联合处理增益。

(2) 网络环境下大数据迁移与计算分配协同机理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, 建立精准时空体系下大数据迁移的计算理论和方法, {46%: 实现网络传输效率的最优化目标, 解决通信瓶颈问题。} 具体如下: 网络环境下数据迁移的表示理论。数据迁移表现为数据在网络空间中通过网络通信实现数据位置变化, 或者表现为数据在计算过程中的数据状态变化。前者需要消耗通信资源, 后者需要消耗计算资源。本项目将探索大数据在网络环境下的迁移规律; 建立相应的大数据迁移表示模型; 提出数据迁移的性能度量方法。数据迁移和计算分配的作用机理。探索大数据计算在精准时空体系中的分布规律, 研究数据迁移与计算分配的相互作用机理, 建立相应的网络通信资源与计算资源的效益兑换模型, {45%: 制定以数据传输效率优化为目标} 的计算分配策略。} 基于位址信息的网络数据聚合和路由方法。研究网址到位址的映射关系及位址标识方法, 建立位址信息的存储、查询、数据交换和共享等机制。研究基于位址标识的网络数据组织与聚合方法, 及其相应的数据浏览和搜索引擎等技术。建立基于位址标识的存储-计算-转发

24

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。

{42%: 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。

{52%：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

{40%：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 {52%：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。

25

## 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；

26

网络空间中时空基准完好性实时监测与精度评估技术；

{51%： 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， {55%：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。

27

## 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

28

{43%：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。 {47%：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；{41%：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，实现对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

29

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， {45%：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

30

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；{46%：依据通信链路收发节点的精准时空坐标，确立通信链路干扰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。

31

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。{63%：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

32

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：

$$(\quad)$$

$$[\quad(\quad)]$$

$$(\quad)$$

$$] \quad T$$

$$B \quad t$$

$$D$$

$$R$$

$$t$$

$$t$$

$$(\text{式5-1})$$

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：

$$\begin{pmatrix} C(t) \\ R(t) \\ A(t) \\ C(t) \\ S(t) \end{pmatrix} \quad (式5-2)$$

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。

#### {44%：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

{55%：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。

33

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，{48%：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

{43%：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，} {52%：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

34

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。{41%：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，{56%：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

35

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

{46%：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， {48%：建立编码计算复杂度和网络通信性能的最优折中关系，} {42%：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法

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。 {57%：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， {43%：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。}

检测报告由PaperPass文献相似度检测系统生成

Copyright 2007-2018 PaperPass