

项目名称： 物联网的基础理论与实践研究
首席科学家： 刘海涛 中国科学院上海微系统与信息
技术研究所
起止年限： 2011.1 至 2013.8
依托部门： 江苏省科技厅

二、预期目标

1. 总体目标

本项目针对智能电网等物联网的重大应用需求和特征，以构建感知互动、自治高效和安全可信的物联网系统为目标，以物联网的非确定、高混杂和强关联特征为出发点，开展相关基础理论研究，分析并揭示物理空间和信息空间的复杂耦合关联机理，提出物联网在自治机理、融合决策处理、可信软件建模与方法和系统优化等方面的基础理论和关键技术，建立物联网标识、安全、网络、服务等基础架构，探索物联网的演进路线，在物联网基础科学问题研究上取得重要突破，建立物联网基础理论体系，相关研究成果达到国际先进水平，推动我国物联网技术标准的制定工作，力争主导物联网国际标准，为物联网产业化和规模化应用奠定坚实的理论基础，并带动信息领域和相关交叉学科领域研究工作的开展，为我国在以物联网为标志的信息领域新浪潮中占据有利和主动地位奠定重要基础。

2. 预期目标

(1) 建立物联网信息空间和物理空间的关联模型，提出物联网关联表征的基础理论和方法；建立可扩展的物联网标识体系；设计涵盖安全协议、授权认证和密钥管理的物联网安全架构；建立面向演进的异构网络互连、服务、管理和软件体系架构，形成相对完备的物联网架构体系；

(2) 建立物联网的分布式自治模型；提出物联网动态场景的高效觉察机制、自适应的终端标识分配和资源动态配置机制、支持容侵容错的高效自愈和自保护机制、自治子网间的协同管理机制，以及可增量部署的异构网络融合机制，形成体系化的物联网自治理论和方法；

(3) 提出物联网信息处理架构和基于语义的服务模型及相关机制；提出混杂信息融合的方法，以及关系链的挖掘、建立、维护和使用方法；形成面向服务的主动决策与控制交互模型，提出针对多粒度异构物联网语义信息与决策需求的逆向解析方法，实现高效的分层主动处理与融合；

(4) 形成与国际接轨的先进水平的物联网可信软件设计方法理论，提供一套逻辑系统刻画方法，构建建模语言，扩展与完善分析与验证技术，同时创建可信软件分析验证平台，为物联网系统的软件设计与验证提供可信保障；

(5) 针对物联网的感知互动、虚实交融、异构复杂等特性，研究物联网系统资源、服务和决策的耦合机理，通过在感知、传输、决策控制等各个层次上的自优化及跨层优化调度，设计一整套符合物联网特性的系统优化机制；

(6) 提出面向物联网大规模应用的理论验证方法和评估体系；搭建具有开放性、通用性的物联网实验测试平台；建立智能电网行业内配用环节互动和与智能家居、电动汽车等行业间服务融合的物联网应用验证系统。

3. 本项目的具体考核指标

(1) 建立物联网关联模型，提出物联网关联表征方法，提出一套可扩展的物联网标识体系，建立物联网的架构体系；

(2) 提出物联网分布式分级的自治模型，提出一系列物联网场景觉察、自配置与优化、自愈合与自保护、子网协作管理以及异构网络融合方法；

(3) 提出物联网信息处理架构和基于语义的服务模型，提出混杂信息融合、服务关系链挖掘方法和主动决策机制；提出支持分层主动处理与融合的逆向解析方法；

(4) 提出一套物联网可信软件设计方法理论和分析与验证方法，建立可信软件分析验证平台；

(5) 研究物联网系统资源、服务和决策的耦合机理，提出一系列的物联网系统优化理论、技术与方法，为物联网的大规模应用提供技术支撑；

(6) 提出一套物联网的理论验证和评估方法，搭建物联网实验测试平台和面向智能电网等重大需求的物联网综合应用验证系统。

本项目的知识产权成果的预期目标以完成高水平的研究论文、发明专利和标准提案为主，具体目标为：发表高水平国内外期刊和重要国际会议论文 40~50 篇，其中对物联网发展产生重大影响的论文 5 篇，申请和获得国内外发明专利 15 项，完成专著 1 本；牵头制定物联网相关国家标准 2~4 项，参与制定国际标准 1 项；培养研究生 50 名。

三、研究方案

1. 学术思路

本项目紧密结合物联网的重大应用需求和系统特性，以构建感知互动、自治高效和安全可信的物联网系统为目标，以物联网的非确定、高混杂和强关联特征为出发点，开展相关基础理论和方法的研究。

具体地说，针对物联网所存在的强关联性、高度混杂性和非确定性等特征，以三个科学问题为中心，从六个课题方向开展相关研究。首先，在对物理空间和信息空间耦合关联机理深入分析和表征的基础上，开展统一的标识、安全、网络、服务等架构体系的研究。结合耦合关联性和架构体系，在系统管理、信息处理和设计实现层面上，重点研究高混杂条件下物联网的场景觉察机制，以及自配置、自愈合、自保护、自优化的实现机制，提出分布式的系统自治管理机理和方法；研究并提出一套针对混杂信息融合、关系链挖掘、主动决策与互动，及可信数据与隐私保护的策略和方法；研究物联网可信软件设计的理论和方法，提出与之相适应的建模理论、推理方法和验证技术；在系统优化层面，建立一套全新的跨域资源调度和分配机制，以保障物联网在非确定环境下的应用服务需求。同时，开展物联网系统的性能评估理论和测试方法的研究，研发实验测试平台和应用验证系统，进而探索物联网跨行业应用的模式。

本项目坚持“理论密切联系实际”的研究思路，以应用需求为牵引，深入研究物联网的基础理论和方法，力争数年内物联网的基础理论研究和标准制定方面达到国际水准，并在部分重要研究点上达到国际领先水平，为国民经济和社会和相关学科的发展提供强有力的基础理论支持。

2. 技术途径

在具体的研究工作中，本项目将紧密结合物联网的特征，采用如下的技术途径：

(1) 在物联网关联模型研究中，通过剥离不同物联网应用场景作用因素的非本质性差异，对实体进行抽象，重点分析物联网实体在不同作用域的关联关系，选取合适的数学方法对关联关系及其动态行为进行描述，建立物理空间和信息空间耦合的统一数据模型、动态行为模型和反馈作用模型。在物联网的体系架构研

究中，对物联网紧密相关的 M2M、RFID、USN、网格计算和云计算等系统的体系架构设计优劣势进行深入分析，结合最新国际国内体系架构相关标准，提炼物联网体系架构核心要素，分析要素间的相关性，研究物联网的架构体系；

(2) 在物联网的自治机理和异构融合研究中，拟参考生态学和社会学中复杂网络的自治策略，首先研究多粒度分级的物联网分布式自治模型；其次，从物联网异构融合与互联互通的场景分析和应用需求出发，研究物联网的场景感知机制，实现终端或子网属性、状态和功能角色的互发现和语义互操作协议；在此基础上，基于群体智能或遗传演进算法，研究复杂动态场景下启发式适应性的自配置与优化方法，以及基于快速预警和冗余资源的自愈合与自保护机制，实现物联网子网内的自治目标；进一步，应用生态群落模型或经济调控模型，研究物联网子网间的协作管理机制，达到不同子网间的资源共享和合理调控。同时，针对物联网演进中存在的问题，利用多栈或隧道机制，设计可增量部署的异构网络融合机制；

(3) 在物联网的混杂信息融合和决策研究中，针对信息在采集和传输过程中需要同时进行智能处理和决策，借鉴主动网络思想，根据物联网终端规模和信息流规模，提出基于联邦、多级、主动机制的物联网信息处理系统架构，建立信息融合、处理与决策控制的分层统一语义模型，以及应用多层知识结构与基于语义的方法，建立面向领域的分析模型与基于语义的服务模型。综合运用粗糙集理论、模糊数学、神经网络等理论和技术，研究融合与挖掘的集成方案以及实时挖掘算法；数据建模和数据挖掘拟从时空数据入手，由上而下挖掘物物关系链；通过物联网语义信息与决策需求的逆向解析与任务分解，研究适应主动感知的分层的协作处理与决策机制。通过在物联网分层统一语义模型中扩展隐私保护语义属性，对指定的私密信息进行隐藏方式或销毁方式的信息遮掩，实现物联网信息的隐私保护；

(4) 在物联网的可信软件设计方法研究中，拟针对物联网可信软件设计的关键问题，首先提出可信软件设计方法理论；在此理论的基础之上结合传统逻辑系统，创建新的逻辑刻画系统和建模语言；最后通过扩充现有的分析与验证方法，实现物联网可信软件的分析与验证技术。在逻辑系统的构造方面，可以通过对传统的 ITL（区间时态逻辑）、DC（时段演算）等逻辑系统的扩充，使其能充分地描述物联网软件系统。在建模语言的描述方面，对以往进程代数系统进行改造，

增加表现物联网特性的构造符，特别在时间的刻画机制、时间频率的描述方面。在分析与验证技术的研究方面，考虑到物联网系统中的环境因素，增加时间和连续性的描述，对模型检查和定理证明技术进行扩充；

(5) 为了实现物联网系统性能的整体优化，首先，构建物联网系统优化理论模型，包括完整的资源主体和竞争主体形式化描述，以及定义系统资源分配公平合理基本准则的公理系统；其次，针对物联网的信息感知、数据传输、决策控制，基于竞争或分布式协作调度的思想，分别采用时空频相关性分析、虚拟 MIMO、机会传输、组合优化等理论与技术，在物联网信息处理的各层次上实施优化，实现一整套面向实时可靠服务需求的系统优化机制；最后，针对物联网的复杂性，分析物联网各层各类资源的耦合内容、形式以及相应的耦合强度，通过解耦变换、博弈、约束优化等理论和技术，研究设计物联网系统跨层优化机制和算法；

(6) 在物联网的测试验证与应用示范系统的研究中，首先，研究物联网的系统性能指标和评估体系，以及测试理论与方法；其次，借鉴已有传感器网络测试平台和下一代网络测试平台的构建方法，充分考虑对大规模应用环境的支持以及对各种应用场景的通用化和可扩展性需求，利用网络重编程、机器学习等技术，开发物联网测试和评估工具，搭建通用性物联网测试平台。在物联网应用示范方面，基于可标准化的物联网架构体系，通过建立涵盖不同等级变电站（所）、线路，以及所辖全部低压用户的智能电网行业内配用环节互动和与智能家居、电动汽车等行业间服务融合的物联网应用验证系统，对项目研究过程中提出的混杂物联网基础理论和方法进行原理性验证。

3. 创新点与特色

本项目的创新点与特色体现在理论基础与模型、关键机理研究、实验与应用验证 3 个层面，具体如下：

(1) 在理论基础与模型方面

- 提出以多作用域实体耦合为核心的物联网关联模型，通过模型的动态行为机制研究实现物理空间和信息空间融合的有效表征；建立面向演进的物联网架构体系；

(2) 在关键机理研究方面

- 运用社会网络理论到物联网的组织管理中，提出自适应的场景感知和资

源配置的分布式管理机制，并具有自愈和自保护的功能，在此基础上提出层次式多粒度的物联子网间的协同管理；

- 基于分层统一语义模型，实现物联网混杂信息的高效融合、复杂关系链的快速挖掘、主动服务和互动控制；
- 采用精化理论指导物联网可信软件的设计；引进时、空和物等相关特性算子建立物联网逻辑系统，基于进程代数与 UTP 理论建立系统行为模型，形成物联网可信软件分析与验证体系；
- 在形式化理论和公理化系统建模的基础上，运用等价解耦变换，简化复杂系统的优化问题，然后基于博弈、约束优化等理论和技术加以求解，提出一整套符合物联网特性的系统优化机制和算法。

(3) 在实验与应用验证方面

- 提出了理论评估、实验测试和应用验证相结合的跨行业物联网验证体系。

4. 可行性分析

本项目的研究内容、学术思路和技术途径具有良好的可推进性。项目团队研发了机场防入侵、太湖监测和智能电网等多个应用系统，对物联网的特性和需求具有深入了解。项目团队从承担的国家重大项目需求中凝练了本项目的科学问题和研究内容，并提出了切实可行的研究思路和技术途径。以物联网的信息处理和融合研究为例，研究内容的设置充分考虑了物联网信息处理与应用的过程与特点，首先针对物理网络固有的层次化及层间差异，研究分层统一的模型（包括系统模型、数据模型、分析模型和服务模型），进而研究具体的融合挖掘方法、关系链发现方法、情境推理方法。

项目团队强强联合，优势互补，且已具有良好的合作基础，团队由 11 所国内优势科研机构、高等院校和国家重点行业应用企业组成，团队成员包括 2 名院士、20 余名研究员/教授等高级研究人员和其它中青年学术骨干，具备国内领先的学术影响力，研究队伍组织合理，梯队健全。项目推荐的首席科学家刘海涛研究员具有物联网领域相关项目丰富的领导和组织经验及深厚的技术积累，何积丰院士在精化理论方面的工作被欧洲理论计算机界誉为“软件工程的里程碑”，刘韵洁院士在互联网流量工程和操作维护管理等方面的工作得到了全球业界的认同和采纳，人才队伍优势为项目的实施奠定良好的基础。

项目团队在物联网相关领域具有丰富的前期研究积累。本团队近年来承担了国家 973 课题如“可生存的海量信息系统软件设计理论”、“无线传感网络的基础理论及关键技术研究”，国家发改委项目如“基于 IPv6 无线传感器网络环境监测系统”以及数十项相关的国家自然科学基金、863、国家科技支撑项目，取得了丰富的研究成果，获得多项国家和省部级奖励。近年来有多篇高质量的论文发表，在 SIGCOMM、MOBICOM、MOBIHOC、INFOCOM、MOBISYS 与 ICNP 等国际顶级学术会议和 IEEE/ACM Trans. on Networking、IEEE Trans. on Mobile Computing、IEEE Trans. on Wireless Communications 等顶级国际期刊上发表数十篇相关论文，在部分研究方向具备国际先进水准。特别是，项目团队成员单位正牵头制定传感网/物联网相关国内标准，在国际相关标准的制定上享有重要话语权，为本项目相关研究成果的标准化工作提供不可多得的条件。

项目团队具有优良的研究条件，研发了多种无线传感器网络的示范系统、无线传感器网络的测试平台和系列工具、射频标签测试平台等直接的实验或测试环境；拥有大量的通信和网络的测试仪器和设备。项目组成员单位拥有国家高性能计算中心、传感技术联合国家重点实验室、微系统技术国家级重点实验室、信息安全国家重点实验室、移动通信国家重点实验室、智能技术与系统国家重点实验室、集成电路与系统国家重点实验室、中科院无线传感网和通信重点实验室和上海市高可信计算重点实验室等多个实验，拥有国网信通公司提供的国家电网建设示范资源，为项目的研究和验证提供了良好的支持。

综上所述，本项目研究在技术途径、申请团队、前期积累和科研条件方面均具有良好的可行性，为项目的顺利推进和取得重大突破提供了良好的基础。

5. 课题设置

本项目的课题设置将围绕项目的总体目标，针对三个关键科学问题和六项重点研究内容，结合参与研究单位的优势，将研究内容和任务进行分解。总体上，所有的课题围绕科学问题构成一个系统，涵盖六项重点研究内容，部分研究内容将在多个课题中从不同的角度研究，突出创新与特色。各个课题之间相互关联，在保持课题独立性的同时，共同促进项目的进展。

本项目具体分解为以下六个课题，即：

- 课题 1：物联网关联表征与体系架构研究；

- 课题 2: 物联网的异构融合和自治机理研究;
- 课题 3: 物联网混杂信息融合与决策研究;
- 课题 4: 物联网可信软件设计理论与方法研究;
- 课题 5: 物联网系统优化机理研究;
- 课题 6: 物联网验证与应用示范研究。

课题设置、科学问题与总体目标的关系图如图 2 所示。

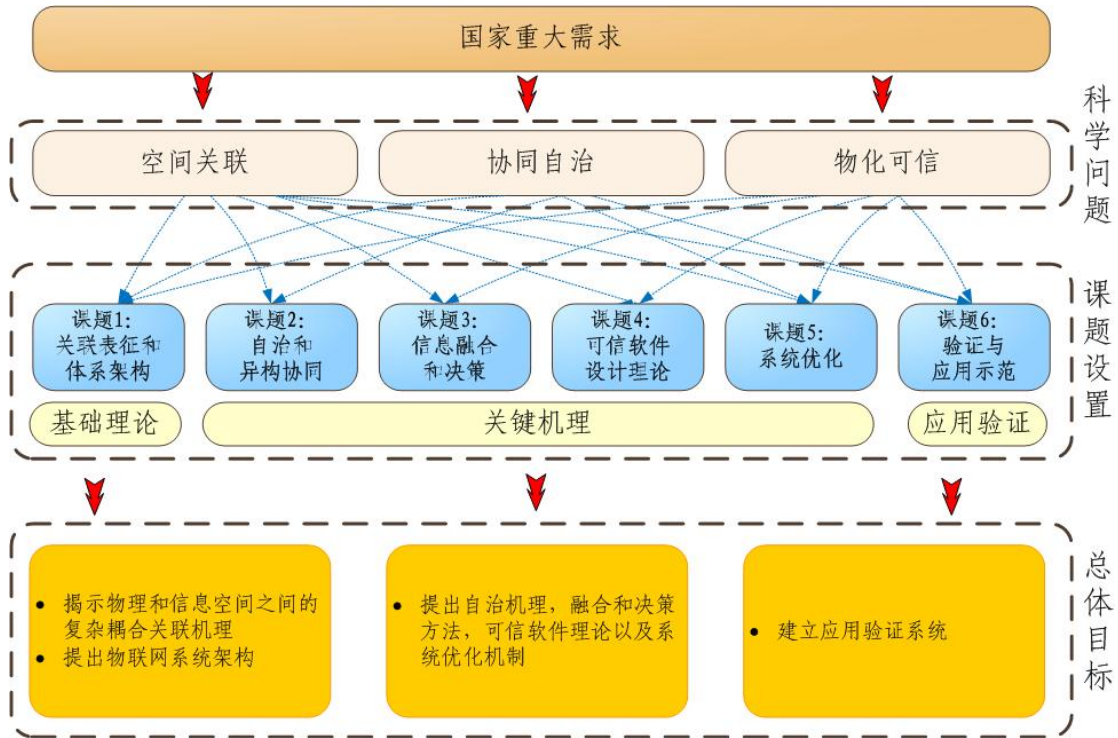


图 2 课题设置、科学问题与总体目标的关系图

课题 1 物联网关联表征与体系架构是本项目的总体课题, 将为其他课题的开展奠定架构和理论模型基础。课题 2 物联网的异构融合和自治机理、课题 3 物联网混杂信息融合与决策、课题 4 物联网可信软件设计理论与方法在课题 1 的基础上, 分别研究系统自治机理、信息处理和软件设计方法, 课题 5 物联网系统优化机理在课题 2、3、4 的基础上研究整系统的优化机理, 课题 6 主要为上述课题研究成果提供测试和综合应用验证平台。6 个课题间互为关联、互为依托。

本项目每个课题设置课题负责人 1 名, 负责课题计划、实施、监督和考核等工作, 同时课题参与单位指定 1 名参与单位责任人, 负责该单位的课题实施, 并配合完成课题的计划、实施、监督和考核等工作。课题负责人和课题参与单位责

任人组成课题工作小组，对项目总体工作组负责。

本项目 6 名课题负责人组成项目总体工作组，在总体单位和首席科学家的领导下，负责对整个项目实施情况进行监督，协调项目各课题的研究工作，理顺课题研究内容的关联关系，解决项目实施过程中的分工合作问题，确保项目有序展开，实现项目预期目标。

课题 1: 物联网关联表征与体系架构研究

课题设置的思路:

本课题的设置主要针对物联网的强关联性、非确定性、高混杂性等特征，围绕物联网关联模型、标识体系、安全架构与架构体系等开展研究，以建立物联网的基础理论和架构体系为目标，力争在物联网的关联模型、系统架构等方面取得相关的理论成果。

研究内容:

- (1) 物联网关联模型与表征;
- (2) 可扩展物联网标识体系;
- (3) 物联网安全架构;
- (4) 面向演进的物联网架构体系

研究目标:

建立物理空间和信息空间的关联模型与表征方法;提出可扩展的物联网标识体系和方法;建立有效的物联网安全架构;形成相对完备的物联网网络互连、服务、管理和软件等架构体系,为物联网的标准体系制定和分析设计奠定理论基础。

承担单位: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所、北京邮电大学、清华大学

课题负责人: 刘海涛

主要学术骨干: 刘韵洁、王营冠、黄韬、李丹

经费比例: 18%

课题 2: 物联网的异构融合和自治机理研究

课题设置的思路:

本课题主要研究物联网的自治模型,以及场景察觉、资源配置和优化、自愈合和自保护等机理,研究物联网的自治子网间的协作管理和具有可增量部署特征

的物联网的异构网络融合机制，形成物联网的自治理论和方法。

研究内容：

- (1) 物联网的自治模型；
- (2) 高混杂条件下物联网的场景觉察机理；
- (3) 非确定条件下物联网的自配置与优化机理；
- (4) 复杂动态场景下物联网的自愈合与自保护机理；
- (5) 自治子网间协作管理机理；
- (6) 可增量部署的物联网异构网络融合机制。

研究目标：

建立物联网的自治模型，提出物联网的场景觉察机制、标识分配和资源分配机制、自愈合与自保护机制、子网协作管理机制，以及可增量部署的异构网络融合机制等，形成体系化的物联网自治理论和方法。

承担单位：中国科学院软件研究所、清华大学、华东师范大学

课题负责人：孙利民

主要学术骨干：朱明华、康烁、周新运、秦伟俊

经费比例：18%

课题 3：物联网混杂信息融合与决策研究

课题设置的思路：

本课题围绕物联网信息融合与决策服务需求，以解决混杂条件下信息融合与决策、数据处理的隐私保护等问题为目标，研究物联网在信息采集、融合和决策控制等过程中信息的内在关联，对多源异构信息进行多层次汇聚、处理、融合和决策。

研究内容：

- (1) 物联网信息处理与服务模型；
- (2) 物联网混杂信息融合；
- (3) 物联网复杂关系链挖掘；
- (4) 物联网主动决策与互动控制；
- (5) 物联网数据处理的隐私保护。

研究目标:

揭示物联网混杂信息融合、复杂关系链挖掘、主动决策与互动控制的一般规律,提出具有可信验证和隐私保护能力的物联网主动决策和互动控制方法,建立满足物联网语义信息融合与决策需求的逆向解析方法。

承担单位: 南京邮电大学、复旦大学、无锡物联网产业研究院

课题负责人: 杨震

主要学术骨干: 沈苏彬、杨庚、吴蒙、张建秋

经费比例: 15%

课题 4: 物联网可信软件设计理论与方法研究**课题设置的思路:**

本课题基于物联网环境中的连续世界与离散计算的结合性、实时性、可预测性、动态演化性等特征,建立物联网可信软件的设计方法及相应的推理机制,研究形式化描述方法和推理理论,为物联网可信软件系统分析与建模的研究提供数学模型和验证手段,支持物联网系统的分析和验证。

研究内容:

- (1) 物联网可信软件设计方法;
- (2) 物联网可信软件推理理论;
- (3) 物联网可信软件建模方法;
- (4) 物联网可信软件分析与验证技术。

研究目标:

形成与国际接轨的先进水平的物联网可信软件设计方法理论、提供一套逻辑系统刻画方法、构建建模语言、扩展与完善分析与验证技术,同时建立可信软件分析验证平台,为物联网系统的软件设计与验证提供可信保障。

承担单位: 华东师范大学、中国科学院软件研究所

课题负责人: 何积丰

主要学术骨干: 朱惠彪、曾振柄、郭建、皇甫伟

经费比例: 15%

课题 5: 物联网系统优化机理研究

课题设置的思路:

本课题的设置主要是在物联网自治管理、信息融合处理和软件设计的研究基础上,进一步从感知、传输、信息处理和决策控制等多个层次出发,研究物联网在非确定及混杂异构环境下的系统优化机理,通过运用解耦、博弈、约束优化等理论和技术,实现系统的物理、通信及计算等资源的优化利用,以达到系统性能的整体提升。

研究内容:

- (1) 面向可靠感知的物联网多级优化机制;
- (2) 物联网无线频谱的优化调度与分配机制;
- (3) 非确定环境下的物联网可靠数据传输机制;
- (4) 面向信息决策的物联网资源协同优化机制;
- (5) 物联网系统跨层优化机制。

研究目标:

面向实时可靠等系统优化目标,针对非确定的物理、通信及计算环境,设计一整套符合物联网特性的系统优化机制,通过在感知、传输、决策控制等各个层次上的自优化及跨层优化调度,实现系统整体性能的优化目标。

承担单位: 中国科学技术大学、东南大学

课题负责人: 黄刘生

主要学术骨干: 张宏海、谢海勇、王桥、邢凯

经费比例: 15%

课题 6: 物联网验证与应用示范研究

课题设置的思路:

本课题主要针对物联网跨领域跨行业应用特征及相关成果测试与验证需求,研究物联网系统的验证理论和方法,通过构建智能电网行业内配用环节互动和与智能家居、电动汽车等行业间服务融合的物联网应用验证系统,验证物联网体系架构、自治机理、信息融合与决策、可信软件设计和系统优化等基础理论和方法。

研究内容:

- (1) 物联网系统的验证理论和评估方法;

- (2) 物联网实验测试平台;
- (3) 面向互动和融合的应用验证系统。

研究目标:

提出面向物联网大规模应用的理论验证方法和评估体系; 搭建具有开放性、通用性的物联网实验测试平台; 建立智能电网行业内配用环节互动和与智能家居、电动汽车等行业间服务融合的物联网应用验证系统, 为其它课题的相关研究成果的验证与测试提供支撑。

承担单位: 无锡物联网产业研究院、国网信息通信有限公司、北京邮电大学

课题负责人: 刘建明

主要学术骨干: 李书芳、李祥珍、沈杰、陈晰

经费比例: 19%

四、年度计划

	研究内容	预期目标
第 一 年	研究物联网特征与共性需求;关联模型、可扩展标识体系和网络互连体系架构;研究高混杂条件下的场景觉察机制;研究物联网信息处理系统架构和数据融合方法;研究物联网软件设计方法学;研究面向可靠感知的物联网多级优化机制和无线频谱的优化调度与分配机制;研究物联网系统验证理论和评估方法;	<ul style="list-style-type: none">● 完成物联网特征与共性需求调研;● 提出关联模型、可扩展标识体系和网络互连体系架构;● 提出场景觉察机制和方法;● 提出物联网信息处理系统架构和数据融合方法;● 提出面向可靠感知的物联网多级优化机制和无线频谱的优化调度与分配机制;● 物联网系统验证理论和评估方法;● 论文 10~15 篇;● 专利 4~6 项;

	研究内容	预期目标
第 二 年	研究物联网表征方法及体系、安全和服务体系架构;研究非确定条件下物联网的自配置与优化机理,以及动态场景下容错和自愈合机理;研究基于语义分析和理解的物联网服务模型及决策机制、数据融合方法和关系链挖掘方法;研究物联网可信软件推理理论与建模方法;研究物联网可靠数据传输机制和资源协同优化机制;研究物联网实验测试平台及方法;	<ul style="list-style-type: none"> ● 提出物联网表征方法及体系、安全和服务体系架构; ● 提出非确定条件下物联网的自配置与优化方法,以及动态场景下容错和自愈合方法; ● 提出基于语义分析和理解的物联网服务模型及决策机制、数据融合方法和关系链挖掘方法; ● 提出物联网可信软件推理理论与建模方法; ● 提出物联网可靠数据传输机制和资源协同优化机制; ● 提出物联网实验测试平台及方法; ● 论文 15~20 篇; ● 专利 5~8 项; ● 国家标准 1~2 项;
第 三 年	研究物联网系统管理和软件体系架构,以及物联网架构体系的演进;研究自治子网间协作管理,以及异构网络融合机制;研究关系链挖掘方法和主动决策与控制交互模型、分层主动处理与融合;研究可信软件分析与验证技术方法;研究物联网系统跨层优化机制;研究面向互动和融合的应用验证系统;	<ul style="list-style-type: none"> ● 提出物联网系统管理和软件体系架构,以及物联网架构体系的演进策略; ● 提出自治子网间协作管理,以及异构网络融合机制及方法; ● 提出关系链挖掘方法和主动决策与控制交互模型、分层主动处理与融合方法; ● 提出可信软件分析与验证技术方法;提出物联网系统跨层优化机制及方法; ● 提出面向互动和融合的应用验证系统方法及构建; ● 论文 15~20 篇; ● 专利 5~8 项; ● 专著 1 本; ● 国家标准 1~2 项;

一、研究内容

1. 拟解决的关键科学问题

由于物理空间和信息空间的强关联性、非确定性和高度混杂性等，在物联网分析设计、运维优化等各个层面还存在着诸多的挑战和困难，现有的理论和方法难以应对上述挑战，大量的基础科学问题亟待解决，迫切需要全面深入的分析物理空间和信息空间的耦合机理，探明物联网的自治机理，深入挖掘感知互动的机制和方法及安全可信的保障机制，寻找系统内在的优化机制，认识未来发展需求趋势和演进规律等，为物联网在社会生活各个领域的前面应用奠定理论基础。

因此，本项目将围绕物联网重要特性和重大需求，以构建感知互动、自治高效和安全可信的物联网系统为目标，以物联网的非确定性、高混杂性和强关联性为出发点，重点解决三方面的关键科学问题：一、物理空间和信息空间的复杂耦合关联；二、高混杂感知互动系统的自治机理；三、虚实交融的物化安全可信保障。拟解决的关键科学问题如图 1 所示。

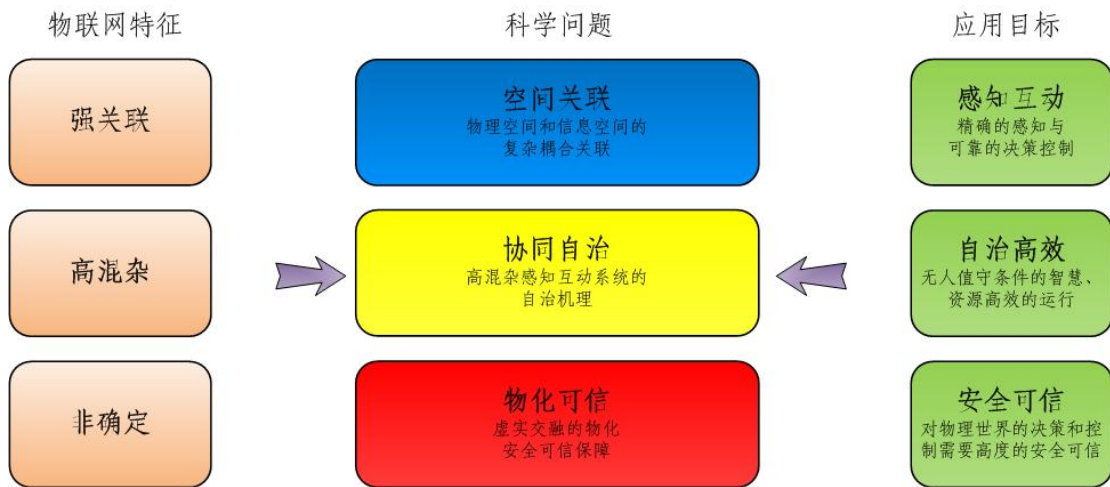


图 1: 拟解决的关键科学问题

科学问题1: 物理空间和信息空间的复杂耦合关联

物理空间和信息空间存在的内在复杂耦合关联是物联网的本质特征之一，贯穿在物联网的系统设计、组织管理、感知交互、决策控制等全过程。

物联网所涉及的物理空间和信息空间的耦合关联极为复杂。首先，连续的具有时空属性的物理空间、与离散的无时空维度的信息空间具有极大的差异性，信息空间和物理空间属性耦合关联的分析和描述极为困难；其次，物联网系统存在

着普遍的高度混杂性和非确定性，如目标环境、传感器属性、终端类型、网络形态、信息处理方式、应用服务需求等，各因素紧密耦合且关联复杂，对物联网共性建模、统一描述和系统设计等带来极大的挑战。另外，物联网要实现物理空间和信息空间的感知互动，涉及环境、感知、网络、处理、服务等各个环节和作用域的协同处理和反馈，而其内在耦合关联的表征是上述协作机制的基础。

由于目前缺乏对物理空间和信息空间耦合关联问题的深入研究，现有的信息感知和决策方法等通常面向单一的应用场景和应用目标，与物联网跨行业、规模化的应用需求形成鲜明矛盾。通过对物理空间和信息空间耦合关联问题的深入分析，并挖掘和表征其中耦合对象、耦合形式、耦合程度、耦合作用等问题，是实现物理空间和信息空间全面融合的基础科学问题之一。

科学问题 2：高混杂感知互动系统的自治机理

物联网通过物理空间和信息空间的感知互动，高效灵活地为用户提供智慧服务。基于人工参与或现有系统管理运行方式难以应对物联网复杂的应用挑战及动态多样的影响因素，在客观上要求物联网以自治的方式运行，在减少或避免人工参与的条件下自动地实现物联网的组织管理、资源配置和故障处理等功能。

物联网感知互动的运行模式、高度混杂的系统组成、非确定的运行场景对物联网的自治提出了巨大的挑战。面向物理空间和信息空间感知互动的运行模式对物联网自治的实时性、可靠性等要求极为严格。物联网系统存在高度的混杂性特征，诸如终端类型多样、数量巨大，感知属性、特征、控制与处理方法等差异巨大，则使得物联网自治的运行场景和待处理因素极为复杂多样。物联网系统组成多样、结构复杂，不仅包括海量的网络元素，还包括现有互联网、蜂窝网和电信网等公共网络，以及各应用领域的专用网络，其通信协议各不相同，形成复杂的网络形态，对物联网终端和子网的组织协同提出很大挑战。物联网的应用需求和运行场景存在高度的非确定性，如物联网的应用目标、服务质量和资源需求随时间和物理环境的动态变化，移动过程中终端及子网之间存在不确定的复杂关联，物联网自身运行过程中也存在终端和资源的动态变化甚至故障，上述特性要求物联网自治中必需考虑资源的动态变化和多种类型的异常状况。

物联网自治管理是其运行的基础，为物联网信息的感知、交互、处理和决策

提供重要支撑,因而高混杂感知互动物联网的自治机理是亟待解决的基础科学问题。

科学问题 3: 虚实交融的物化安全可信保障

物联网的安全可信不仅涉及到信息空间中信息传输、处理和数据自身的安全可信,更为重要的是物理空间中大量物理实体决策操作的安全可信以及物理实体所携带数据的安全可信,并对系统行为可预测性和可靠性提出了更高的要求。

物理空间和信息空间的耦合关联使得物联网面临更为多样复杂的安全可信威胁,物联网混杂性和非确定性也对其安全可信带来巨大的挑战。物联网终端能力差异巨大,脆弱终端存在着计算能力与安全可信算法资源消耗之间的矛盾。物联网不仅具有频繁的移动性,通信连接具有高度动态性,而终端或子网也可能在某些时间与物联网其他部分断开连接,增加了访问控制、授权、认证的难度。物联网是超大规模的网络,组成形态复杂,终端和子网的异构性使得跨域跨子网的可信安全具有极大的技术难度。物联网中大量逻辑或物理实体基于网络相互连接,物理实体可能被偷窃屏蔽或转移,带来了新的安全威胁,容易造成个人隐私、商业机密和国家设施信息的泄露。可信软件是物联网系统行为可预测性和可靠性的保障,而现有软件模型和方法无法表达物联网虚实交融的特征,连续世界与离散计算结合性、实时性和多维性,均难以用现有的可信方法描述。

物联网将直接影响物理世界,安全可信是物联网必需具备的基本要求。以物化特征表现的物联网安全可信保障问题是研究中崭新课题,也是物联网发展必须解决的基础性科学问题。

2. 主要研究内容

围绕上述的三个关键科学问题,本项目将从以下六个主要方面对物联网的基础理论和方法开展研究。

(一) 物联网关联表征与体系架构

针对物联网的感知互动以及非确定性和混杂性特征,从物联网的关联表征和体系架构基本问题出发,在关联模型与表征、标识体系、安全架构和体系框架等方面展开研究,具体包括以下研究内容:

(1) 物联网关联模型与表征: 基于物联网实体抽象和实体间作用关系数学描

述，建立物理和信息空间多元异构实体间的关联模型；面向物联网非确定性环境，研究多重关联的动态特征和描述方法；研究实际物理关联和抽象信息关联的匹配机制，建立物联网表征方法及体系；

- (2) **可扩展物联网标识体系**：研究适合大规模物联网的名字空间结构与解析体系；研究标识编码方法，探讨合理的标识生命周期管理机制；研究安全、高效和可扩展的统一物体标识体系；
- (3) **物联网安全架构**：分析物联网的安全需求与安全框架，研究物联网安全架构以及资源高效的安全协议；研究物联网跨网的分层的认证策略和协议；研究物联网分级的密钥分配、密钥协商等密钥管理方案；
- (4) **面向演进的物联网架构体系**：研究异构网络互连体系架构、服务体系架构、系统管理体系架构、可信软件体系架构，建立面向演进的物联网架构体系。

(二) 物联网的异构融合和自治机理

面向物联网应用场景的动态多样性以及网络和终端互联方式存在的高度异构性特点，研究物联网的自治模型和场景察觉机理，在此基础上研究物联网的自配置、自优化、自愈合、自保护机理，进而考察不同自治子网间的协同管理，以及可增量部署的异构融合机制。具体的研究内容包括：

- (1) **物联网的自治模型**：基于物联网管理链需求，研究管理单元的自组织机制；研究管理链中物联网管理信息的交互方式；研究物联网系统的自治管理模型；
- (2) **高混杂条件下物联网的场景察觉机理**：研究高混杂的物联网终端属性、状态和功能角色的规范化描述；研究动态场景下物联网终端间的属性、状态和功能角色的相互发现机制，实现终端间的互察觉；研究基于多源多粒度的互察觉信息的物联网场景分析方法；
- (3) **非确定条件下物联网的自配置与优化机理**：面向物联网超大规模的非确定性部署，研究物联网标识的自动分配机制；研究在跨子网移动的场景下物联网自组织管理；结合感知互动的应用特性，研究物联网的分布式的拓扑自组织和资源自配置方法；面向物联网应用需求特征和动态运行场景，研究物联网的资源协同调整策略和优化机制；
- (4) **复杂动态场景下物联网的自愈合与自保护机理**：研究面向感知交互的物联

网多类型的故障产生模式和故障分析方法；研究复杂动态场景下的物联网的系统运行状态监视方法和故障发现机制；针对物联网感知交互需求和故障发生模式，研究物联网的容侵容错机理；在故障出现的条件下，研究物联网基于协作的快速自愈合机制；

- (5) **自治子网间协作管理机理**：研究物联网自治子网间的标识映射、统一资源访问和协作管理模型与架构；研究子网间的管理信息交互机制；研究多个自治物联网子网间的资源调度与协作管理方法；
- (6) **可增量部署的物联网异构网络融合机制**：研究异构物联网网络融合的可增量部署机理；研究可扩展的异构网络标识的演进方法；研究异构网络发现、协议互通和动态切换机制。

(三) 物联网混杂信息融合与决策

面向物联网多源异构、多颗粒度、多应用域的信息特征，研究物联网的信息处理与服务模型，进而研究物联网的混杂信息融合，复杂关系链挖掘，主动决策与互动控制，以及可信数据与隐私保护的模型或方法。具体的研究内容如下：

- (1) **物联网信息处理与服务模型**：研究多级、主动、开放的物联网信息处理模型；面向物物互动的信息建模方法；面向实时挖掘与决策的多源异构、多颗粒度、多维度数据的建模理论与方法；面向多应用领域的分析模型；基于语义的服务表示、发布和应用模型；以及基于服务模型的语义理解与分析机制；
- (2) **物联网混杂信息融合**：研究混杂条件下多源异构数据的分析与提炼；研究面向融合与决策服务的数据挖掘方法；研究非确定性条件下的分布式情境感知、融合与推理机制；研究面向特定物联网应用的场景分析方法，以及知识库构造和自学习方法；
- (3) **物联网复杂关系链挖掘**：研究物联网关系链的建模和表示方法；研究实时交互场景下关系链的挖掘和发现方法；研究基于关系链的推理规则和决策模型；
- (4) **物联网主动决策与互动控制**：研究面向服务的语义信息与决策需求的逆向解析与任务分解机制；研究多粒度的物联网主动决策与协作机制；研究高效的分层主动处理与融合方法；

(5) **物联网数据处理的隐私保护**: 研究多源异构数据的数据隐藏方法; 研究物联网关系链挖掘过程中的隐私保护方法; 研究具有不同隐私保护安全级别的数据处理机制和协作计算算法。

(四) 物联网可信软件设计理论与方法

针对物联网高混杂性、非确定性和复杂关联性等特点, 开展物联网可信软件设计理论与方法研究, 探索与之相适应的推理方法、建模理论以及分析与验证技术。具体的研究内容包括:

(1) **可信软件设计方法**: 基于经典精化理论, 研究物联网系统的精化理论与方法, 研究适用物联网的精化规则, 为可信软件从需求到实现的过程提供理论支撑;

(2) **可信软件推理理论**: 针对物联网特性, 突破传统逻辑描述系统的局限性, 创建适用于物联网的新型逻辑系统, 研究可信软件的逻辑推理理论;

(3) **可信软件建模方法**: 建立系统级模型语言, 在现有进程代数系统中增加时空、物特性算子, 建立物联网感知互动的抽象行为模型; 基于 UTP (程序统一理论) 理论, 研究该建模语言相应的操作语义、指称语义以及代数语义;

(4) **可信软件分析与验证技术**: 基于上述推理逻辑、建模语言的研究成果, 对现有的模型检测技术和定理证明技术进行扩充, 给出相应的验证技术方法, 对计算系统和物理系统进行混合分析验证, 以适应新环境下的分析验证需求。

(五) 物联网系统优化机理

面向实时可靠以及其它服务质量需求的物联网应用, 从感知、传输和信息处理与决策控制等多个层次出发, 研究物联网资源、服务和决策的耦合机理, 采用竞争或协作机制来合理分配与协同调度各种物理、通信与计算资源, 通过资源的优化利用, 实现物联网系统性能的整体优化。具体研究内容包括:

(1) **面向可靠感知的物联网多级优化机制**: 面向可靠的目标定位、事件监测与信息感知服务, 研究物联网终端资源消费的自优化策略; 针对物联网的非确定特性, 研究基于多终端协同调度的目标定位、事件监测和信息感知算法; 以异构子网间的耦合为基础, 研究面向可靠感知的无缝切换与跨网调

度机制；

- (2) **物联网无线频谱的优化调度与分配机制:** 针对物联网有限频谱资源与多终端混杂接入, 研究物联网频谱应用的时空频相关性及信道状态与历史信息的关联性, 建立具有预测能力的频谱使用模型, 实现有序竞争访问和高效共享的动态频谱分配和调度机制; 研究频谱移动性分析的新方法, 建立频谱切换的时间关系模型, 确立最佳容量和系统效率间的定量关系;
- (3) **非确定环境下的物联网可靠数据传输机制:** 针对服务的动态变化和多样异质特性以及对通信资源的竞争访问, 研究物联网终端的高效无线接入协议; 研究物联网中可靠的多终端协同中继传输机制; 针对网络拓扑及信道质量的快速动态变化, 研究非确定环境下的物联网端到端实时可靠数据传输的在线优化调度机制;
- (4) **面向决策控制的物联网资源协同优化机制:** 针对物联网海量信息处理, 研究物联网存储资源的分布式调度和协同优化机制; 针对物联网信息的动态性和复杂性, 面向智能决策控制, 研究低成本的在线计算资源优化调度机制; 针对物联网服务的多样性, 研究系统开销与决策性能之间的折衷优化策略;
- (5) **物联网系统跨层优化机制:** 针对物联网的复杂性, 研究物联网感知、传输、信息处理与决策的层间耦合机理、解耦变换及相应的系统跨层优化机制; 针对物联网环境的动态性, 研究软件服务组合的优化机制; 面向多行业、多用户及多应用需求, 针对感知传输的上行流及决策控制的下行流, 研究系统分布式资源的一致性维护机制和整体优化策略。

(六) 物联网验证与应用示范

针对物联网跨领域跨行业应用特征及相关成果测试与验证需求, 研究物联网系统的验证理论和方法, 研发测试工具和平台, 并通过应用示范系统进一步验证理论成果, 具体研究内容包括:

- (1) **物联网系统的验证理论和评估方法:** 研究物联网系统的测试模型和验证理论; 研究随机和伪随机理论在物联网综合测试生成方法中的应用, 解决物联网高混杂性和非确定性带来的可测性难题; 研究物联网系统的评估模型和体系;

- (2) **物联网实验测试平台:** 开发物联网测试和评估工具, 搭建物联网测试平台, 测试其他课题提出的基本理论和技术;
- (3) **面向互动和融合的应用验证系统:** 研究面向行业应用的物联网通用平台构建技术, 研制智能电网行业内配用环节互动和与智能家居、电动汽车等行业间服务融合的物联网应用验证系统, 验证本项目中其它课题提出的基本理论、技术和方法, 探索物联网跨行业的应用模式和关键技术。