

项目名称： 物联网体系结构基础研究  
首席科学家： 马华东 北京邮电大学  
起止年限： 2010.9 至 2015.9  
依托部门： 教育部

## 二、预期目标

### 3.1 总体目标

面向生态保护、节能减排、现代服务等领域重大需求，以解决物联网应用领域共性问题为目标，围绕物联网体系结构和关键技术中的基础科学问题开展研究，运用系统科学的理论，探索物联网的基本规律，建立物联网体系结构模型、子网互连模型，提出物联网网络融合与自治机理，提供网络度量与评测的方法，解决局部动态自治和高效网络融合中面临的大规模异质网元的互连互通问题；建立对物联网感知信息进行融合计算的模型和方法，提出网元之间信息交互中信息表达、效能平衡和权限保护的机理与方法，解决不确定性感知信息的整合适配问题；提出系统环境动态问题域建模、软件平台对环境信息的自动获取和理解、自适应求解的方法，形成动态环境中服务提供机理，解决动态系统环境中的服务适应适用问题。

本项目将在大规模异质网元数据交换、不确定信息整合以及动态系统环境服务提供等方面取得原创性理论成果和关键技术突破，并在林区生态保护领域进行大规模的试验和验证；形成一批有自主知识产权的成果，为大规模、实用的物联网设计和高效运行提供理论指导，推动我国在物联网领域的跨越式发展，使我国该领域研究达到国际先进水平。本项目研究将为提高我国物联网研发能力奠定坚实基础，为“感知中国”国家物联网发展战略做出支撑，同时为国家培养一批从事物联网研究青年学术带头人和研究骨干。

### 3.2 三年预期目标

本项目的三年预期目标分四个方面：

#### (1) 基础理论方面

在物联网系统模型、设计原理和实现机理的基础研究上取得突破，创建物联网体系架构模型、异构网络互连模型、性能评价体系与度量模型、信息表达模型、服务模型，形成物联网网络融合与自治机理、数据交换机理、隐私保护机理、服务提供机理，建立信息融合计算理论、服务提供理论，指导大规模异质网元的高效互连、不确定信息的有效利用、动态系统环境的服务提供等关键问题的解决。

#### (2) 关键技术方面

在非 IP 数据交换技术、异构网络融合技术、自治区域动态管理等方面取得突破，为物联网中大规模异质网元的数据交换提供技术支撑；在信息融合计算技术、隐私确保的安全计算技术等方面取得突破，为物联网内不确定信息整合提供技术支撑；在环境适变的软件设计技术、服务动态构建技术等方面取得突破，为物联网服务提供技术支撑。

#### (3) 验证平台和示范应用方面

研制物联网综合验证平台实现对物联网体系结构、设计原理、关键技术的验证，提供物联网系统环境的性能检测及诊断工具；突破林区生态保护示范应用中的技术难题，建立一套林区生态保护物联网示范应用系统和碳平衡监测应用示范。

#### **(4) 学术交流和人才培养方面**

积极参与国际合作和国际国内标准制定，争取更多的研究成果成为国际国内标准；争取更多国际交流和组织大型国际会议的机会。

培养和建立一支学术水平高、创新能力强的学术研究队伍，使我国在该领域的研究进入国际先进行列，为未来十年国家物联网的跨越式发展做出实质性的贡献。

### **3.3 三年的具体考核指标**

本项目的知识产权成果以完成高质量的研究论文、发明专利和标准为主，并完成物联网验证平台和示范应用系统。具体指标为：

(1) 在 IEEE/ACM Transactions 等国际权威学术刊物和 ACM MobiCom/SenSys、IEEE INFOCOM 等重要会议发表一批高质量论文，其中 SCI 检索论文 50 篇以上，IEEE/ACM Transactions 论文 20 篇以上；

(2) 授权国内外发明专利 18 项以上，提交国际或国家相关标准提案 2 项以上；

(3) 为国家培养一支包括国家杰青、教育部长江学者和新世纪人才、多学科融合的从事物联网研究的高水平团队，培养博士生 30 名以上；

(4) 组织大型国际学术会议 2-3 次；

(5) 研制 1 个具有我国自主知识产权的物联网验证平台；面向林区生态保护提供一套物联网示范应用系统和碳平衡监测应用示范。

### 三、研究方案

#### 4.1 学术思路

本项目的总体研究思路是瞄准国家物联网发展的重大需求，认识物联网“广泛互联互通、透彻信息感知、综合智慧服务”的本质特征，紧密围绕三个关键科学问题，研究体现物联网特性、适应物联网应用需求的物联网体系结构理论与关键技术。项目兼顾国家重大需求和科学前沿，利用基础理论研究带动关键技术突破，从基础模型、理论与方法支撑、平台与典型应用示范三个层次着手，按照“1套理论体系、3项关键技术、1个验证平台”整体目标开展项目研究，内容上有重点、有侧重。把物联网体系结构的理论模型作为研究基础，特别注意与网络互连、信息整合、服务提供3个方面支撑理论和关键技术的研究内容的联系和集成，研制物联网验证平台，并在林区生态保护应用等领域展开应用验证，形成完整的研究体系。总体学术思路如图1所示。

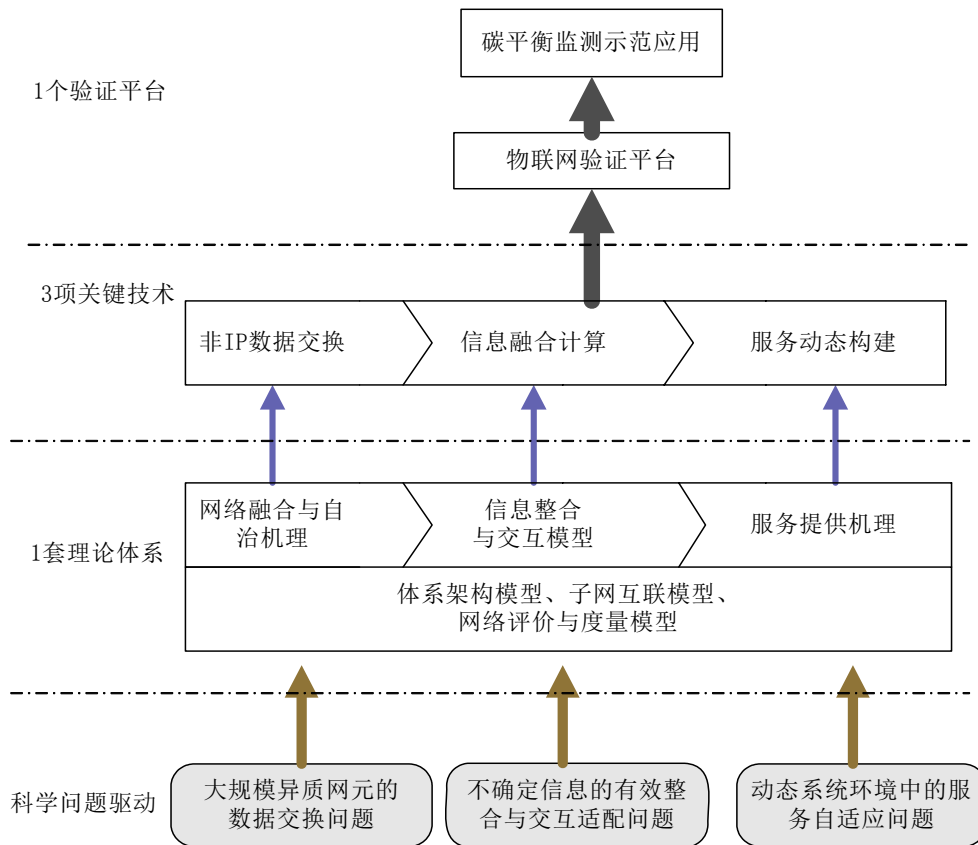


图 1. 项目总体学术思路

#### 4.2 技术路线

##### 1. 物联网体系结构理论模型

我们遵循网络分层的原理，将物联网分成对象感知层、数据交换层、信息整

合层、应用服务层构成的 4 层体系架构，如图 2 所示，对象感知层实现对物理对象的感知和数据获取；数据交换层提供透明的数据传输能力；信息整合层提供对网络获取的不确定信息完成重组、清洗、融合等处理，整合为相对准确结论；应用服务层将信息转化为内容提供服务。基于该架构，进一步研究异构网络的互连模型和互连机理。从用户、网络提供者、应用开发者、服务提供者等多视角研究物联网体系结构，并利用形式化方法对结构进行准确描述，为制订各种接口、协议和规范提供依据。针对网元异质性和应用环境的动态性研究物联网中不同的互联要求及其对应的互联模型和互连机理。进而研究新型动态网元编址模型和寻址体系，兼容网元能力差异，为支持大规模异构网络全局网络融合和局部动态自治所要求的高效数据交换奠定基础。

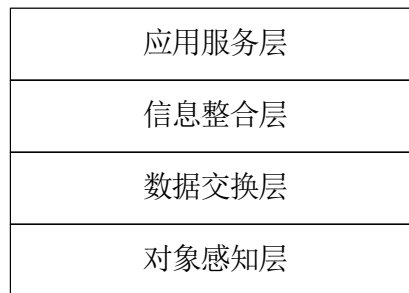


图 2. 物联网四层体系架构

物联网作为一种全新的网络模式，其核心性能因素以及网络动态行为对这些因素的影响都是未知的，需要深入研究针对信息和服务的主动测量的协作框架以及被动测量的数据分析方法，探寻分析网络行为对性能要素影响的一般规律。在认识网络动态行为规律的基础上，研究物联网中研究适应时变网络快速数据转发的路由策略与数据转移模式。

在网络性能评测与度量方面，本项目以网络信息论为基础，采用稀疏割方法、网络编码技术、信息高速公路概念和虚拟 MIMO、协同通信、无码率编码和机会通信等思路，研究物联网性能评价体系、度量模型与方法，揭示物联网的时空关系，研究物联网容量、拓扑、时延、吞吐量、覆盖的性能度量，探索物联网拓扑设计准则、路由选择原则、网络能力/延迟的规律等物联网的基本性质，为物联网的设计、分析、管理、运营等提供理论依据。

## 2. 网络高效融合与动态自治的机理与方法

针对物联网网络融合的多元化特征，从两类场景分别考虑：一是利用互联网为主流平台，通过多元化的网络接入，实现各子网与互联网的融合，主要是深入研究 IPv6 在物联网中应用的新需求和新问题，结合 IPv6 自身优势，重点考虑协议开销问题，设计基于 IPv6 的轻量级的物联网编址寻址架构；研究基于主机标识和定位符分离的新型物联网体系结构，探讨层次化、可扩展的网络单元命名方法，建立面向 IP 体系演进的融合网络的命名与寻址架构。二是针对物联网在局部区域内的强耦合性、连接动态性，不必经过 IP 连接或不适合利用 IP 网络进行互连互通的场景，将 IP 网先路由后传输两者分离的方式，转变为物联网环境感知、传输、路由紧密联系、相互优化、协同应用三者不可分的方式，研究非 IP

数据交换技术，探索新的寻址策略、新的数据传输机制；基于网络体系架构量化研究方法，研究协议分层与优化算子耦合关系、网络数据交换计算复杂性，为非IP与IP融合的网络架构设计的奠定理论基础。

针对物联自治网络网元移动和链路变化，研究动态拓扑构建策略。物联网区域自治的松耦合特性导致网络拓扑结构多变，网络连通性和链路质量无法保障，给物联网自治域内的数据交换带来困难。针对这一问题，拟从三个方面展开研究，一是对物联网自治域的网络流量、拓扑等进行测量统计，提炼自治网络行为特征，设计具有预测性的网络行为统计分析模型；二是研究基于网络行为感知的认知路由协议，提出垂直分层拓扑图的构造方法，实现层次化的网络拓扑、流量感知，并结合端到端目标，通过不断学习的自适应过程合理决策并实施路由调整，以提高局部网络数据交互的整体性能；三是研究自治域内的路由稳定性问题，全面分析各种路由判决本身的变化规律，提出路由稳定性的模型化分析方法，为自治域内的路由协议设计提供依据。另外，针对物联自治网络内异质网元不同通信方式需求、缺少专有数据交换设备作支撑的情况研究物联网自治域内数据交换方法，探索弱状态或无状态路由的数据报交换的方式。

### 3. 物联网信息整合与交互的理论和方法

针对物联网感知信息的不确定性，主要从不确定信息的表达、不确定信息融合、不确定信息的使用三个角度开展研究，实现信息整合以实现物联网信息的有效利用。利用概率论、机器学习、模式识别等理论，研究感知信息的表示模型、数据源/交互对象集合优化选择策略、多模态异构信息的融合计算模型，对多点网元感知信息高效综合。同时，进一步研究信息交互中物理对象隐私保护问题。

为了提高信息整合的精确性，必须对多种来源信息进行融合，融合是基于异质网元的信息交互，针对多个异构网元存在相关信息，从物联网获取信息不完全性、冗余性出发，采用多阶段、多层次的融合策略；针对物联网环境感知时序性，基于序列分析和贝叶斯网络融合的方法利用不同信息源的特征表达集合，在不同层次上对信息集合进行有机的融合，提高信息整合性能。

在信息交互方面，利用信息论和网络编码机制，研究信息交互的适配理论与高效、强健、可扩展的强隐私计算模型，根据各物体的计算能力，实现自适应的交互信息的适配交互；在实现适配的基础上，研究物体的自发协作与协同隐私确保模型，对参与交互任务的多个物体，在完成同一交互任务的过程中，合理安排各个物体的目标、资源以调整各自的行为，最大程度地实现物体之间的协作。

### 4. 物联网服务提供机理和方法

在物联网软件建模与设计理论方面，针对物联网环境动态性，从软件结构建模、编程模型和服务提供方面增加对环境的感知适应能力。对不同类型的物联网应用进行分析，通过建立统一的建模方法，提供具有支持输入、需求、资源三方面表达能力的模型框架，针对各种应用类别提供元模型；在问题域模型基础上，通过引入语义标注方法实现应用模型的描述，并完成模型的组合与生成；对于动

态生成的应用模型，利用仿真方法递归校验其正确性并不断对模型进行修正；建立模型变化与环境变化的作用关系，给出模型变化在环境适应性及模型切换风险之间的度量方法，评估模型切换风险，为模型的动态调整提供依据。在编程模型方面，建立关于编程维度的多维理论模型，提出环境维度概念，将软件依赖环境的部分独立出来，实现业务逻辑与系统环境相分离，提高软件系统灵活性和扩展性。

在物联网服务需求的动态获取和演化研究中，结合面向目标本体论和面向场景的多视点物联网服务需求获取方法，对服务所依赖和生存的动态环境和演化特征进行精确刻画和建模；在此基础上，通过引入上下文感知的环境信息控制函数和反射机制，使服务需求能够适应动态环境的变化，对服务需求元数据进行更新，达到需求动态演化的目的。在服务动态构建及自演化适配机理研究方面，通过引入服务聚类的概念，实现物联网服务的分类组织；然后引入抽象服务域概念，能够根据用户的功能性和非功能性需求将不同服务聚类中的网络信息服务组织成服务资源视图，同时结合问题域的搜索和知识推理，引入仿生智能计算方法，实现服务的动态发现选择、聚合和集成。在服务质量的动态保障方法研究中，采用机器学习的方法来自动地分析、挖掘上下文信息间的依赖或因果关系，自动形成相关上下文信息间的拓扑结构和结点间的度量值，最终建立起基于上下文感知的物联网服务质量动态保障机制与方法，实现有质量保障的物联网服务。

## 5. 物联网验证平台和典型应用示范

采用本项目提出的物联网四层体系架构，融合传感器网络、车载网、移动定位终端网络、移动通信网络、互联网等多种异构网络，建立大规模异质网元所构成的物联网验证平台，对相关理论和关键技术进行综合验证。验证平台从功能上由 4 部分组成：

(1) 物联网体系结构的验证。构建分层独立的验证平台体系架构，实现物联网功能实体，分别对对象感知层、数据交换层、信息整合层、应用服务层各层的功能和接口，进行独立验证及集成验证；

(2) 物联网系统设计原理、实现机理的验证。构建大规模异质网元组成的动态网络，实现网元节点的异构接入、网络融合和应用环境等基础架构，验证网络中异质网元数据交换、不确定信息整合、动态环境服务提供等基础理论和方法；

(3) 物联网系统关键技术的验证。验证非 IP 的数据交换、信息融合计算、服务动态构建等支撑网络平台可靠运行和管理的各种关键技术和协议的正确性；

(4) 物联网系统环境的性能检测及诊断工具。根据物联网性能度量评价体系建立大规模物联网系统性能测量机制，通过分布式、动态自组的方式实现验证平台的性能评测功能；通过主动或被动方式获取系统运行参数和诊断指标，建立数据关联关系分析技术，研制系统诊断工具，保证物联网系统的可靠运行。

通过建立林区生态保护示范系统，对物联网各项关键技术进行应用示范，提供碳平衡监测示范应用。以天目山地区为示范区域，利用传感网、车载网、智能电网等构成的物联网对林区固碳、车辆行驶排碳、建筑物/企业用电排碳等进

行采样检测，对采集的数据进行整合从而获取区域内碳平衡指数，并进行减排智能决策提供依据。同时利用互联网和移动网络向公众动态发布碳平衡指数，引导公众自然采取低碳消费，实现低碳社会。

### 4.3 主要创新点与特色

(1) 利用网络分层原理，提出由对象感知层、数据交换层、信息整合层、应用服务层构成的物联网 4 层体系架构，基于该架构进一步研究异构网络的互连模型和互连机理，构建面向网元异构性和应用多态性的网元互联方法和与之相适应的寻址体系。

(2) 从网络信息理论的角度，揭示物联网的时空关系，探索物联网拓扑设计准则、路由选择原则、网络能力/延迟的规律等物联网的基本性质。

(3) 针对物联网网络融合多元化特征，分别从 IP 体系演进、支持非 IP 与 IP 融合两种角度研究融合网络体系架构，来适应不同场景网络融合需求。将 IP 网先路由后传输两者分离的方式，转变为物联网环境感知、传输、路由紧密联系、相互优化、协同应用三者不可分的方式，研究非 IP 数据交换技术。

(4) 针对感知信息的不确定性，利用概率论、机器学习、模式识别等理论，研究交互信息的统一表示模型、交互对象集合优化选择、情境驱动的多个网元感知信息高效融合，研究基于多属性决策的信息融合计算理论。

(5) 针对物联网环境动态性，提出环境维度概念，将软件依赖环境的部分独立出来，实现业务逻辑与系统环境相分离。从软件结构建模、编程模型和服务提供方面增加对环境的感知适应能力，建立有机协调业务流、控制流和感知流的新型物联网服务模型，研究基于情境感知的主动服务提供机理。

另外，本项目在跨信息、林业学科的研究团队组织，面向林区生态保护示范应用研制大规模、实用性的物联网系统和碳平衡监测示范应用方面有显著特色。

### 4.4 课题设置

围绕本项目解决三个关键科学问题的总体目标，覆盖关键科学问题包含的主要研究内容，本项目设置紧密联系而有不同侧重的 5 个研究课题，关键科学问题与课题之间关系、各个课题之间的关系如图 3、4 所示。课题 1“物联网体系结构理论模型”为课题 2、课题 3、课题 4 提供基础模型的支持；课题 2、课题 3、课题 4 围绕课题 1 建立的理论模型，从物联网的融合与自治机理、信息整合与交互方法、服务提供三个方面开展理论和方法研究；课题 5“物联网验证平台和碳平衡监测应用示范”用于对本项目提出物联网体系结构理论和关键技术进行验证和示范应用，并反馈指导理论和关键技术研究。



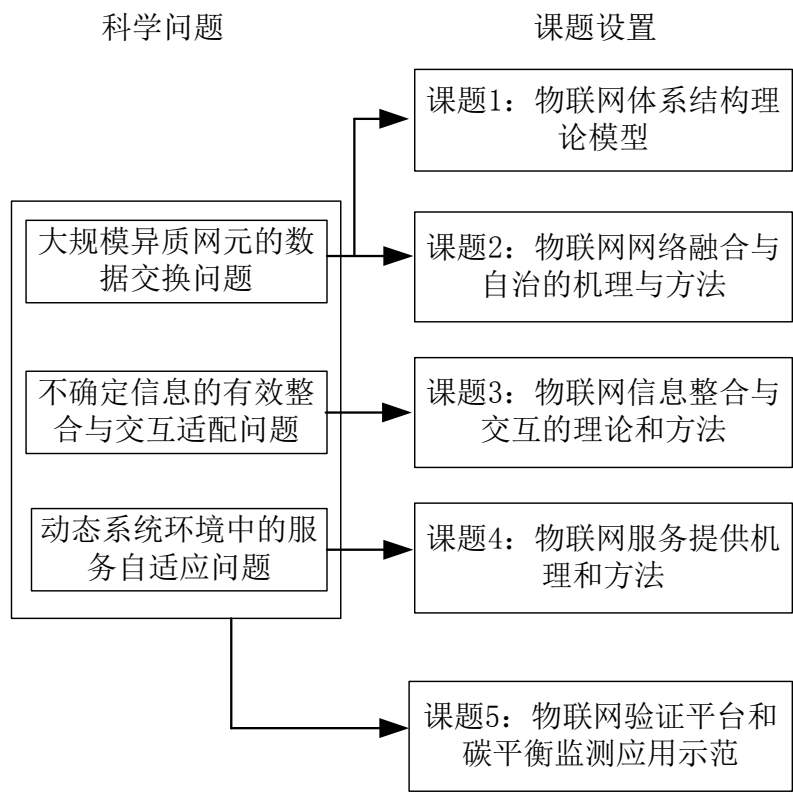


图 3. 科学问题与课题之间相互关系

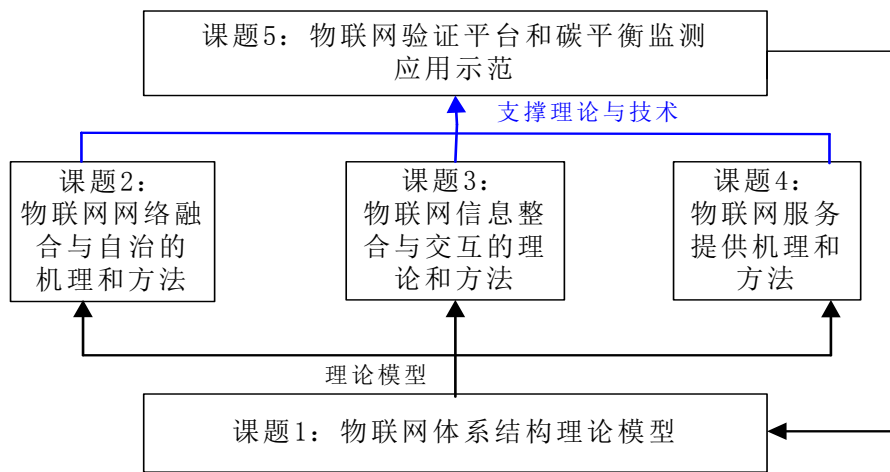


图 4. 课题之间相互关系

下面是各个课题的具体设置情况。

### 课题 1、物联网体系结构理论模型

#### 预期目标：

本课题旨在建立分层可扩展物联网网络体系结构，在物联网的体系结构理论模型、设计原理和实现机理的基础研究上取得突破，创建物联网体系架构模型、异构网络互连模型、网络行为分析方法与数据交换机理、性能评价体系与度量模

型，并对这些理论成果进行实验验证，形成有关论文、专利和标准提案，为解决大规模异质网元的高效互连、不确定信息的有效利用、动态系统环境中服务提供等重要挑战提供基础。

#### 研究内容：

(1) 层次化可扩展物联网体系结构模型及形式化描述。从多个视角分析物联网的基本组成要素，探讨各个要素间的内在联系，建立物联网体系结构模型及其形式化描述方法；

(2) 异构网络系统互连模型与高效网元编址体系。研究支持异构系统高效融合的多元化网元互连模型；研究适应物联网的新型动态编址模型和寻址体系，以及不同互通模型下的网元地址空间规划问题；

(3) 物联网网络动态行为分析与数据交换机理。研究针对网络动态行为的主动测量的协作框架和被动测量的数据分析方法；研究适应时变网络快速数据转发的路由策略与数据转移模式；

(4) 物联网性能评价与度量模型及方法。建立分析物联网时空异构特性的网络评价体系；研究在特定时延限制下的网络容量分布；研究如何提供物联网的健壮性连接和高效覆盖；研究物联网的合理节点空间分布和相关的路由规律。

经费比例：28%

承担单位：北京邮电大学、上海交通大学

课题负责人：马华东

学术骨干：王新兵、罗红、刘亮、孙岩、甘小莺

## 课题 2、物联网网络融合与自治的机理和方法

### 预期目标：

针对物联网多元异构性、超大规模性、系统动态性的特征，本课题旨在建立物联网网络融合的架构，在非 IP 数据交换机理、物联网自治域内数据汇聚与交换方法、物联网自治区域动态管理等方面取得突破，解决网络融合与动态自治中高效的数据交换问题。对研究出的成果展开实验验证，形成有关论文、专利和标准提案。

### 研究内容：

(1) 面向IP体系演进的物联网网络融合及其命名与寻址架构。设计基于IPv6的轻量级的物联网编址寻址架构；研究基于主机标识和定位符分离的新型物联网编址寻址架构，探讨层次化、可扩展的网络单元命名方法，提出一种新型的主机名字空间组织构架，实现高效的主机标识符到定位符的映射；

(2) 支持非IP和IP融合的物联网网络体系架构。研究非IP数据交换机理；基于网络体系架构量化方法研究协议分层与优化算子耦合关系、网络数据交换计算复杂性，形成融合非IP与IP的网络架构设计基础；分析物联网的实际应用需求，基于融合网络理论框架，解决物联网网络服务质量保障等实际应用中的关键问题；

(3) 物联网自治域内数据汇聚与交换。研究自治域内的数据交换方法；研究面向物联网中不同网元行为和连接方式的接入选择策略、网元发现机理；研究海

量数据传输网络的汇聚方法、汇聚点物理连接空间计算方法、物理资源分布和调整技术、自治域内汇聚点流量优化技术、自治网络容量规划方法；

(4) 物联网自治区域动态管理。研究定性定量相结合的物联网自治域多维划分方法；研究简化的自治网络自治协议、动态路由协议和选路方法；针对物联网自治网络网元移动和链路变化、区域自治的松耦合特性、网络连通性和链路质量无法保障，研究自治域动态拓扑构建策略。

经费比例：14%

承担单位：中国科学院计算技术研究所、北京邮电大学

课题负责人：李忠诚

学术骨干：刘敏、陆月明、孙毅、孙咏梅

### 课题3、物联网信息整合与交互的理论和方法

#### 预期目标：

本课题旨在建立物联网信息整合与交互的理论和方法，在不确定信息整理、信息融合计算、网元之间信息交互、信息交互中隐私保护等方面取得突破，解决物联网中不确定信息的有效整合与交互适配的问题。对研究出的成果进行实验验证，形成有关论文、专利和标准提案。

#### 研究内容：

(1) 不确定信息整理与融合计算理论。研究不确定感知信息的表达模型，研究物联网感知信息的重组、清洗方法；研究情境驱动的多层次融合和情景语义描述模型，研究物联网内多模态异构信息的融合计算模型；

(2) 网元间信息交互模型和方法。针对数据多源冗余性，研究信息融合中效能平衡的、优化的数据源/交互对象集合选择算法；针对物联网网元属性差异及交互双方能力的差异，研究不同类别、不同智能程度网元间表达适配的信息交互模型；

(3) 信息交互中隐私保护方法。针对网元信息访问受限情况，研究权限适配的信息交互模型；研究物联网隐私保护的高效信息传输体系；研究隐私确保的分布式数据加密和解密，隐私保护的用户身份管理与动态数据处理，分布式访问控制和密钥管理，以及隐私敏感的安全协议设计与分析。

经费比例：10%

承担单位：北京工业大学、清华大学

课题负责人：尹宝才

学术骨干：孙艳丰、蒋屹新、王立春

### 课题4、物联网服务提供机理和方法

#### 预期目标：

本课题旨在形成物联网软件建模理论、服务自适应提供机理和实现方法，在动态问题域的建模，面向解空间的软件设计理论，面向动态问题域的需求获取和演化方法，服务动态构建与适配机理，基于环境感知的动态服务质量保障方法等方面取得突破，对研究出的成果进行实验验证，形成有关论文、专利和标准提案，为实现智慧服务提供基础理论和支撑技术。

### 研究内容：

(1) 问题域动态规律及其建模与求解理论。针对物联网环境的动态性，从动态问题域建模、软件自适应求解、软件开发模型等方面对物联网软件建模与设计理论进行研究；

(2) 服务需求的动态获取与演化。通过分析物联网中面向用户域、信息空间域和物理空间域的多维需求特征，研究结合环境约束、灵活快速、多次迭代的服务需求获取方法；针对需求的时变性和环境的动态性，研究物联网服务的需求演化方法；

(3) 服务的动态构建及适配机理。研究高效的物联网服务的组织模型、具有动态适应能力的服务建模语言；基于问题域的搜索和知识推理，研究支持服务的动态发现、聚合和集成的方法；利用环境上下文信息，研究基于事件或者状态的服务运行时的动态适配方法。

(4) 服务质量的动态保障方法。研究在线的物联网服务质量度量、测试与评估方法；揭示物联网服务外在环境变化的特征及其对服务质量的影响规律；研究环境上下文感知的服务质量定性诊断与定量保障方法。

经费比例：22%

承担单位：北京邮电大学、北京大学

课题负责人：苏森

学术骨干：陈俊亮、金芝、程渤、乔秀全、彭泳、吴步丹

### 课题5、物联网验证平台和碳平衡监测应用示范

#### 预期目标：

本课题旨在研制一个物联网综合验证平台，验证课题1-4针对本项目关键科学问题的研究成果，验证所形成的物联网理论模型与关键技术，提供物联网系统环境的性能检测及诊断工具；在林区生态环境保护示范应用系统的关键技术方面取得突破，建立一套面向天目山林区生态环境保护的物联网示范系统和碳平衡监测应用示范，形成有关论文、专利和标准提案，为生态环境保护、和谐发展提供科学指导，为成果应用和推广提供示范。

#### 研究内容：

(1) 根据所研究出的理论成果，研制具有我国自主知识产权的物联网综合验证平台。实现物联网体系结构的验证，实现物联网系统设计原理与实现机理、关键技术和方法的验证，研制系统环境的性能检测及诊断工具；

(2) 研制面向林区生态环境保护的物联网应用示范系统和碳平衡监测应用示范。面向天目山林区生态环境保护的应用需求，研究利用物联网实现林业固碳、林区生活排碳、林区生态环境多点大范围实时协同监测，构建碳平衡监测示范应用系统。实现地区内碳平衡指数动态掌控，为节能减排低碳生活、林区环境保护提供信息统计基础支撑。

经费比例：26%

承担单位：浙江农林大学、西安交通大学

课题负责人：周国模

学术骨干：江洪、姜培坤、莫路锋、何晖、杜华强、祁亨年、王换招

## 四、年度计划

	研究内容	预期目标
第 一 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>研究物联网体系结构模型；研究支持异构系统高效互联融合的多元化网元互连模型；研究针对网络动态行为主动测量的协作框架；研究物联网异构环境在特定时延限制下的网络容量分布。</li> <li>研究面向 IP 体系演进的物联网网络融合及其命名与寻址架构；研究基于主机标识和定位符分离的新型物联网命名架构，探讨层次化、可扩展的网络单元命名方法；研究物联网自治域多维划分。</li> <li>研究不确定信息的表达方法；研究效能平衡的、优化的数据源/交互对象集合选择算法；研究隐私确保的权限适配信息交互模型；研究物联网隐私保护的高效信息传输体系。</li> <li>研究物联网动态问题域的建模方法；研究应用模型的分析方法；研究面向物联网服务需求获取方法；研究服务的统一视图模型和服务系统容量的量化模型。</li> <li>研究物联网验证平台和碳平衡监测应用示范构建；研究构建平台的节点系统软硬件实现技术；研究网元节点的异构接入、网络融合和应用环境等验证平台基础框架；分别研究对象感知层、数据交换层、信息整合</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>建立层次化物联网体系结构模型；建立一种适用物联网的多元化网络互连模型；建立网络动态行为的主动测量框架；认识物联网异构网络的网络容量/时延规律，建立特定时延限制下的网络容量分布模型。</li> <li>设计出一种基于 IPv6 的轻量级的物联网编址寻址架构；提出一种新型的主机名字空间组织架构，实现高效的主机标识符到定位符的映射；提出定性与定量相结合的物联网自治域多维划分方法。</li> <li>提出一种适合高维、异构物联网感知信息的确定表达模型；提出一种效能平衡的信息交互模型；建立隐私确保的权限适配的信息交互模型；提出能适应物联网环境的隐私确保的高效信息传输协议。</li> <li>识别并建立不同应用类型下的应用模式，形成应用问题域元模型；提出应用模型与应用输入、需求、资源的一致性验证方法和模型有效性验证方法；提出结合环境约束的迭代式服务需求获取方法；建立基于情境感知的主动服务模型。</li> <li>构建分层独立的验证平台体系框架；提出碳平衡监测应用示范的设计方法；研制出验证平台所需的感知节点和控制节点；构建大规模异质网元组成的动态网络形成网元节点的异构接入、网络融合和应用的环境，形成验证</li> </ol>

	研究内容	预期目标
	层、应用服务各层功能和接口的独立验证机制	异质网元数据交换、不确定信息整合、动态环境服务提供等理论和方法的验证策略
第 二 年	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究物联网网络体系结构形式化描述;研究新型动态编址模型和寻址体系;研究不同互通模型下的网元地址空间规划问题;研究针对网络动态行为被动测量的数据分析方法;研究在特定时延限制下的网络容量分布。</li> <li>2. 支持非 IP 和 IP 融合的物联网网络体系架构;研究协议分层与优化算子耦合关系;研究网络数据交换计算复杂性;研究网元接入选择方法;研究海量数据传输网络的汇聚方法。</li> <li>3. 研究多模态、异构信息的融合机理及其计算模型;研究网元间表达适配的信息交互;研究隐私确保的分布式数据加密和解密,隐私保护的用户身份管理与动态数据处理,分布式访问控制和密钥管理。</li> <li>4. 研究应用模型的自适应离散调整和连续演化问题;研究服务的动态构建方法;研究如何提供面向个性化需求的统一服务视图的问题;研究物联网的服务质量度量 and 评估方法。</li> <li>5. 搭建物联网综合验证平台各个子系统;在物联网系统框架的基础上验证各层实现机理、关键技术;根据物联网性能度量评价体系研究大规模物联网系统环境的性能检测机制和方法;研究物</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 形成准确表述物联网特征的网络体系结构形式化描述方法;建立新型动态编址模型和寻址体系;设计网元地址空间规划方法;形成网络动态行为被动测量的数据分析方法;设计出时延限制下的网络容量分布获取方法。</li> <li>2. 提出非 IP 交换方法,形成一种融合非 IP 和 IP 的物联网架构;揭示协议分层与优化算子耦合关系,进一步优化设计网络协议架构;揭示吞吐量、延迟、干扰等约束条件下的数据交换计算复杂性,提出有效的实现算法;提出网元接入选择方法;提出海量数据传输网络的汇聚方法。</li> <li>3. 提出物联网感知信息融合计算模型和相关算法;提出表达适配的信息交互模型;提出适应物联网环境的隐私确保的分布式数据加密和解密体系,用户身份管理体系,分布式访问控制和密钥管理等体系。</li> <li>4. 建立应用模型表示框架和推理分析方法;提出支持动态适应能力和服务建模方法和一套服务动态发现、聚合和集成的方法;提出一种高效的物联网服务的组织模型;提出在线实时的物联网服务质量度量、测试与评估方法。</li> <li>5. 实现物联网体系结构模型的验证;实现非 IP 的数据交换机理的验证;实现信息整合计算方法的验证;实现服务动态构建方法的验证与测试;研制系统环境的</li> </ol>

	研究内容	预期目标
	<p>联网系统诊断机制和相关技术</p>	<p>性能检测及诊断工具。</p>
<p>第 三 年</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究对象标识间的关系模型和多粒度标识映射机理;研究适应时变网络快速数据转发的路由策略和数据转移模式;研究如何提供物联网的健壮性连接和高效覆盖问题。</li> <li>2. 分析物联网的应用需求,深入研究网络服务质量保障等关键技术;研究自治网络汇聚点流量优化、容量规划方法。</li> <li>3. 研究物联网的数据匿名机制;研究隐私敏感的安全协议设计与分析。</li> <li>4. 研究应用模型的自适应离散调整和连续演化问题;研究物联网服务的需求演化方法;研究服务运行时的动态适配方法;研究环境感知的服务动态质量保证机制。</li> <li>5. 研究物联网综合验证平台集成方法;在林区生态保护领域进行大规模的试验和验证,利用传感器等构成的物联网对林区固碳等进行采样检测,对采集的数据进行整合从而获取区域内碳平衡指数。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立异类对象间的关系模型和多粒度标识映射机理;提出适应物联网的路由策略和多种数据转移模式;认识节点空间分布规律与相关路由规律,提出物联网覆盖控制、连接策略。</li> <li>2. 基于融合网络理论框架,提出物联网网络服务质量保障方法;提出自治域内汇聚点流量优化、自治网络容量规划方法。</li> <li>3. 提出基于数据失真和限制发布技术的数据匿名机制;提出一种隐私敏感的安全协议设计与分析方法。</li> <li>4. 建立应用模型离散动态调整框架和应用模型连续动态演化框架;提出动态感知环境用户域、物理空间域和信息空间域的服务需求的获取和演化方法;提出基于事件或者状态的服务运行时的动态适配方法和处理;提出环境感知的服务质量定性诊断与定量保障方法。</li> <li>5. 完成具有自主知识产权的物联网综合验证平台;完成面向天目山林区生态保护的物联网应用示范系统和碳平衡监测物联网应用示范;实现碳平衡过程实时监测和碳平衡指数动态发布。</li> </ol>



# 一、研究内容

## 2.1 关键科学问题

针对物联网存在的大规模异质网元的高效互连、不确定感知信息的有效利用、动态化系统环境的服务提供等挑战，本项目凝练出以下三个关键科学问题。

### 关键科学问题之一：大规模异质网元的数据交换问题

大规模异质网元的接入和海量数据的交换是物联网广泛应用带来的新的重要特征。一方面，物联网借助互联网、通信网等主流平台实现子网互连和网络融合，进而提供信息共享和协同服务；另一方面，在局部紧耦合区域内物联网表现出很强的动态自治需求。局部区域的各种网元为了执行特定的网络任务，动态地自我组织，实现互连互通互操作，综合利用局部自治域内信息提高网络服务效率。因此，物联网发展面临的一个难题是：如何解决物联网超大规模性、多元异构性、系统动态性与高效数据交换之间的矛盾。为此，本项目将物联网要解决的大规模异质网元高效互连的挑战凝练为第一个关键科学问题，将研究局部动态自治和高效网络融合中面临的大规模异质网元的数据交换问题。

### 关键科学问题之二：不确定信息的有效整合与交互适配问题

物联网通过各种智能化设备对物理世界进行透彻的感知，所感知信息具有显著的不确定性，这种不确定性需要确定的表达方式，并对它们通过重组、清洗、融合等网内处理，整合为可用的信息提供服务。其中，网元之间信息融合要根据网络任务需要，随时随地地进行网元间信息交互，实现信息高效共享。因此，物联网面临的难题是：如何对感知信息进行表示、整合和利用，如何解决网元之间信息交互中信息表达、效能平衡和权限保护等交互适配问题，为应用服务提供有效的支撑。因此，本项目将解决不确定感知信息的有效利用挑战凝练为第2个关键科学问题，即研究不确定信息的有效整合与交互适配问题。

### 关键科学问题之三：动态系统环境中服务自适应问题

在动态的物联网系统环境中，需要针对以处理交互对象实体的不确定性、与环境交互的随机性，以及满足变化的运行平台约束，研究新型软件开发理论体系和支撑技术，使物联网软件系统具有情境感知和动态调配能力，实现物联网服务的环境适配性。需要建立面向灵活适变的服务提供的物联网软件结构，使物联网软件具备自主性和演化性，实现用户需求域、信息空间域和物理空间域三者的协同，灵活地适应不断变化的环境从而提供智慧的服务。因此，需要研究适应物联网环境特征的新的软件建模理论、服务提供机理和方法。本项目将解决物联网系统的自适应性挑战凝练为第3个关键科学问题，即面向动态系统环境的服务自适应问题。

## 2.2 主要研究内容

围绕上述三个关键科学问题，本项目拟开展以下研究工作。

针对关键科学问题一“大规模异质网元的数据交换问题”，本项目分别从物

联网体系结构理论模型、网络高效融合与动态自治的机理与方法两方面展开研究。在物联网体系结构理论模型方面，针对网络可控可扩展的需求，研究大规模、实用化物联网体系结构模型、异构网络互连模型、网络动态行为规律、性能评价体系与度量模型等理论问题，为建立科学合理的物联网体系结构奠定基础，为物联网系统各个层面的研究提供支撑。另一方面，针对物联网超大规模性、多元异构性、系统动态性的特点，本项目拟从全局网络高效融合和局部区域动态自治两个角度展开深入研究，解决高效数据交换问题。具体研究内容包括：

- (1) 层次化可扩展的物联网体系结构模型及其形式化描述；
- (2) 异构网络系统互连模型与高效网元编址体系；
- (3) 物联网网络动态行为规律、性能评价体系及度量方法；
- (4) 面向 IP 体系演进的融合网络架构；
- (5) 支持非 IP 和 IP 融合的网络体系架构；
- (6) 物联网局部区域动态自治机理。

针对关键科学问题二“不确定信息的有效整合与交互适配问题”，本项目主要研究物联网信息整合与交互的理论和方法。针对物联网感知信息存在的不确定性、多源异构等新特征，分别从信息整合、信息交互和隐私保护几个角度开展理论和方法研究，解决物联网感知信息的有效利用问题。具体研究内容包括：

- (1) 不确定信息整理与融合计算理论；
- (2) 网元之间信息交互模型和方法；
- (3) 信息交互中隐私保护方法。

针对关键科学问题三“动态系统环境中服务自适应问题”，本项目主要研究物联网服务提供机理和方法。针对系统环境动态性，研究物联网软件建模理论与设计方法，从服务需求动态建模、服务构建与适配、服务质量保障等方面展开物联网服务提供理论研究，为物联网服务提供给予深层次的理论指导。具体研究内容包括：

- (1) 问题域动态规律及其建模与求解理论；
- (2) 服务需求的动态获取与演化；
- (3) 服务的动态构建及适配机理；
- (4) 服务质量的动态保障方法。

根据以上三个关键科学问题的研究成果，本项目将研制物联网验证平台和典型的应用示范。研究实验验证平台、应用示范的开发方法，建立一套高效的物联网综合验证平台对项目研究成果的正确性、可用性进行验证和评估，并为物联网应用提供可靠的技术基础。同时，提供一套应用示范系统，为各项技术的使用提供示范，为项目成果的高效利用、推广完善打下坚实的基础。具体研究内容包括：

- (1) 面向生态环境保护、节能减排等应用需求，构建物联网综合验证平台；
- (2) 立足验证平台研制天目山地区生态保护物联网示范应用系统，并提供碳平衡监测应用示范。