

# 陕西省技术发明奖公示信息 (2025 年度)

## 一、项目基本情况

项目名称：多层多域多维立体网络的一体化协同关键技术及应用

主要完成人：曲桦、赵季红、边江、袁晓东、李晓彤、李一凡

主要完成单位：西安交通大学，中兴通讯股份有限公司

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者：陕西省教育厅，提名等级：一等奖，提名意见：

该项目针对信息通信网络存在的多个网技术层、多种网络域、多个空间维度等特征，为了保障不同垂直行业中的不同应用在网络中的有效传送，实现网络的一体化协同控制，在国家自然科学基金重点项目、“863”重点项目和“国家新一代宽带通信网重大专项”等国家项目的支持下，采取“原理分析-技术突破-平台开发-产业化应用”的总体思路，攻克核心关键技术，研制了面向多层多域多维立体网络的一体化控制系统与能力开放平台，并在信息通信领域推广应用。

该项目获得授权的国家发明专利一百多项，含国际发明专利，软件著作权多项，在国内外高水平学术期刊上发表高水平论文两百余篇，提交国际标准文稿多项，制定和参与制定国内通信行业标准多项。工信部电信研究院、工信部电子第五研究所、上海无线通信研究中心测试结果认为，项目平台面向不同领域和行业专业化需求时需提供信息融合的个性化的业务与应用服务方式，达到了国内领先、国际先进水平。该项目创新性强，应用前景广阔，已推广到中国电信、中国联通等运营商及其分支机构，电网、水利水务公司等行业用户，西藏、山东、江苏、兰州等省市地区的智慧城市建设领域。

我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照要求，我单位和项目完成单位都已对该项目的基本情况进行了公示，目前无异议，鉴于该项目创新性研究成果突出，特推荐陕西省技术发明奖一等奖。

## 三、项目简介

随着网络技术的发展，通信网的结构呈现出多层、多域、多维的趋势，对网络不同层间、域间进行时空多维度的协同控制是保障网络能满足不同垂直行业需求的关键技术。本项目针对通信网络存在的多个网技术层、多种网络域、多个空间维度等特征，为了保障不同应用/业务在网络中的有效传送，实现网络级的操作与控制，采用“原理分析 - 技术突破 - 平台开发 - 产业化应用”的总体思路，依托多个国家重大专项、国家重点研发计划、国家 863 计划、国家自然科学基金等课题，进行了十多年的产学研联合攻关，取得多项具有自主知识产权的创新成果，制定了多个国家行业标准和国际标准，基于关键技术的研究与开发，研制出“多维网络的一体化能力开放应用平台”，广泛应用于电信运营商网络、行业信息通信网、企业网、智慧城市运营网络等各个领域，取得了如下发明创新：

1. 面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构：发明了基于能力资源抽象的一体化协同控制架构，引入能力资源的思想，构建了由网络的资源层、能力层、控制层、业务层组织的一体化协同控制架构，抽象和分解网络各层的能力，对由多个技术层、多个网络域、多维资源、多种业务、时空立体的网络进行一体化控制，实现业务与资源的解耦，解决了现有网络技术相互隔离，不能统一控制的难题。

2. 网络多维感知与表征方法：针对多维资源的多样性、动态性、协同能力弱等特点，发明了一种基于能力资源时变图的多维资源建模方法，突破了传统仅从单一资源考虑的方法，从多维资源进行建模表征；为了表征不同能力资源之间的承接转化关系，发明了一种基于时间的能力资源时变图，从维度刻画的拓扑演进过程，建立了基于时空资源模型，对多维资源进

行抽象和建模。发明了资源时变特征下和拓扑时变特征下的多级属性表征模型，克服了一体化网络在动态时变环境下的属性表征难题。

3. 基于感知的一体化协同控制方法：发明了一种多维资源控制策略，根据典型场景构造能力资源时变图，并给出能力资源时变图的初始定义；发明了基于网络感知的动态服务功能链部署与调度方法，消除了立体网络在时空尺度上的动态性带来的问题；发明了一体化网络基于感知的业务编排方法，突破了单维度设计思想，为解决网络资源问题提供了优化方案，实现将差异化业务请求可以更准确地映射到物理网络上，以提高网络切片接受率，提升用户满意度。

4. 一体化网络能力开放平台：发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。采用统一的多层级和维度方式实现网络能力的开放。发明了面向能力开放 API 的服务管理方法，对网络能力进行编排，并进行资源开放；发明了基于网络能力开放的业务与服务策略，通过能力开放、自然语言处理和智能算法，解决了业务集成难题，保障满足快速服务。以上成果申请并授权国家发明专利壹百多项（包含美国授权发明专利），在国内外高水平学术期刊和会议上发表学术论文两百余篇；提交国际标准和行业标准多项；获多项省部级科技成果一等奖、二等奖励。

项目成果通过了工业和信息化部多个研究院机构：研究院、研究所、研究中心等的测试。成果已在多个电信运营商和企业 and 省市行业用户等得到应用。其核心技术及平台在城市建设中的综合信息网络平台、中小企业用户信息应用网络建设投入使用，系统运行稳定、效果良好，该产品的投入运营弥补了我国在这一领域的不足。取得了显著的经济效益和社会效益。

#### 四、客观评价

项目获得授权发明专利壹佰多项，其中美国发明专利；发表在权威期刊上论文两百余篇。

##### 1、与国内外相关技术的比较

本项目成果具有面向多维立体网络的一体化协同控制、网络业务与资源的多维度感知、抽象与表征、网络协同控制方法、电信级可靠性保障、外部信息开放能力，可满足 QoS/QoE 需求，业务请求响应时间短、故障恢复时间小等特点，各项指标均优。通过比较，本项目在功能指标、运行性能、能力开放性等方面具有明显的优势。

发明点 国内外同类技术 本项目技术的特色和优势

多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构 原有网络架构不能灵活地设计多维立体网络的控制功能，缺乏统一的资源规划调配，无法适应高动态、资源多维的环境。发明的一体化协同控制架构，解决了多维立体网络各技术之间的协同问题，满足了不同应用对网络资源的需求，提升了网络资源的利用率，为协同控制和优化提供了基础。

网络业务与资源的多维度感知、抽象与表征 现有网络的业务属性多只关注 QoS 等技术参数，现有网络缺乏对资源的多维性的统一建模与表征。发明的多维资源表征模型，为业务选择最优的资源分配方案；发明的基于时间拓展图的能力资源时变图，对网络的多维资源，发明的时空资源树模型，可以提升任务的成果率和资源利用率。

多层多域多维立体网络协同控制方法 现有的网络控制方法主要针对特定场景下局部业务需求与网络资源，无法适应时变性，适用性差，且只考虑单一的业务需求。发明的基于多级可靠性的虚拟网络映射方法，解决不同业务对网络可靠性的不同要求，避免了网络资源碎片的产生，请求接受率提升，平均故障率降低。

网络能力开放平台 已有系统存在不同的公司在进行业务集成时耗费大量的精力，无法从海量服务中快速地发现满足用户需求的服务；发明的网络能力开放的业务标准化、服务发现策略等技术，制定一系列的业务标准化方案，解决用户匹配满足需求服务的问题。

##### 2、国家相关部门正式做出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论

## 2.1 技术检测报告

工业和信息化部电信研究所的测试报告指出：“本项目测试通过率为 100%，测试结果符合要求”。

## 2.2 验收意见

1) 国家科技重大专项新一代宽带无线移动通信网项目“基于 5G 网络服务能力开放研究、标准制定和预商用系统研发”的验收意见：推进了 R15 能力开放的标准规范制定；研发了 API GW 网关系统，并进行了方案验证。通过了第三方测试。

2) 国家 863 计划项目“未来一体化网络关键技术和示范”的验收意见：课题组研究互通的一体化网络架构，组网协议，智能路由设备，安全可信技术；研究了未来一体化标识网络仿真与原型系统，进行测试与验证。设计了一体化网络组网协议，改进的空间连接图路由协议可改善传输性能，根据优先级不同合理分配带宽资源。

## 2.3 鉴定结论

项目成果经工信部组织专家的鉴定结论为“该项目及时发布了在业界有一定影响力的移动互联网、移动终端和云计算白皮书”、“支撑了专项三的顶层设计与课题布局”；“课题组在仿真平台可视化、网络化、软硬件联合仿真等方面具有创新”。科技部组织专家验收结论为：该项目“完成了支持自组织特性的多业务原型系统，增强网络的性能，提高资源的利用率，减少网络性能下降或故障带来的经济损失，研究成果具有创新性和应用前景”。

## 3、国内外重要科技奖励

在相关领域和信息技术领域获省部级科技成果一等奖、二等奖共计 10 余项。

4、国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见获国际权威学会院士、国家工程院院士、IEEE Life Fellow、著名大学教授评价，作为智能物联网社区中无人机通信领域的代表性工作，并将其作为研究基础展开研究。

国际国家工程院院士、IEEE Fellow、日本东大信息科学研究院教授认为我们的工作模型损失函数具有重要意义，并应用在自己的研究中。

国际著名科学机构院士、主编、教授将研究点工作作为最大相关熵在深度学习领域的代表性应用，并启引了他们在回归领域的工作。

国际著名工程院院士、实验室研究主任，著名大学联合教授将发明点作为网络业务流量工程领域代表性工作，对神经网络结构具有启引意义。

国际著名大学实验室主任，IEEE Fellow，著名教授将发明点工作列为最大交叉熵准则在网络环境中的典型应用，视为典型的、具有理论指导意义的流量预测模型。

国际著名大会联席主席、教授认为发明点比其他经典方法具有更优秀的表现，并成为新型网络拓扑构建领域具备指导性的工作。

世界著名信息通信专家、移动体制主要创始人、国际著名大学电子系主任、教授认为发明点比其他经典方法具有更优秀的表现，并作为新型网络拓扑构建领域具备指导性的工作。

IEEE 智能世界技术委员会用户中心智能系统工作组副主席、教授认为发明点比许多传统机器学习算法具有更优秀的表现。

## 五、应用情况和效益

### 1. 应用情况（限 3 页）

本项目技术发明中的成果在中兴通讯、中国电信、中国移动、中国联通、电信运营商、电信系统设备提供商等企业或公司得到广泛应用，为企业的业务或技术升级提供了重要支撑。近三年，相关成果取得了显著的经济效益和社会效益，带来了可观的新增利润。

(1) 项目研究成果已形成国内外行业标准，发明的关键技术已应用于中兴通讯、华为等通信设备厂商的通信产品中，被广泛应用在运营商网络、企业网等领域。

(2) 项目成果已经在中国移动、中国联通和中国电信等电信运营商网络内应用推广, 提高了电信运营商对网络的控制能力, 提升了为用户提供业务能力与业务服务水平。

(3) 项目成果已经在水利、电网等信息传输与控制网络成功应用, 提高了对智慧水利的应用能力, 提升了建设智慧电网的水平。

(4) 行业客户利用本项目成果, 能将多方、异构的资源整合在一起, 并对资源设计进行多种组合选择方案, 最好地满足用户业务诉求, 实现资源利用的整体最优化。

(5) 企业用户利用本项目技术平台的网络开放能力和业务开放能力, 开发智慧医疗、智慧交通行业特色应用, 占有了一定的市场。

(6) 项目成果作为智慧城市的基础信息设施运营平台建设, 已经成功应用在城市高新区、省市各地区的智慧城市建设中, 提升了当地智慧城市的建设、智能化、互联网+等水平。

(7) 依托本项目研究成果, 项目负责人参加了中国工程院国家重大战略课题“中国智能城市建设与推进战略研究”的研究工作并参加完成了“中国智能城市信息环境建设与大数据战略研究”专著撰写, 参加多个城市的智慧城市建设方案制定, 与德国智慧城市研究院专家共同研讨 ICT 作为智慧城市信息基础设施建设和智慧城市运营重要支撑作用及其演进方向及方法。

## 2. 经济效益和社会效益

### (1) 经济效益:

该平台系统产品自 2008 年陆续投入使用以来, 经济效益明显, 市场应用推广潜力巨大, 据应用企业提供的反馈情况, 统计期为三年的经济效益, 该产品实际收益所获新增前两年销售累计增加 25%, 后累计增加 28%, 通过提供的证明材料采取逐年累计的计算方法, 三年新增销售额累计增加 30%, 企业所获得的新增利润累计增加 26%, 数据表明该产品的市场应用规模在不断扩大, 经济收益也不断增长。相关专利技术在生产中的成功应用, 为应用单位带来了明显的经济效益。

### (2) 社会效益:

推动运营商网络、企业网络、行业应用效果明显: 本项目的成果适用于现有的运营商网络、企业网络、行业网络、商用网络等各类信息通信网络, 从根本上解决了网络的一体化控制问题, 提升了企业及行业的竞争能力, 推动技术发明和进步作用明显;

提升国际学术影响力: 在国内外顶级期刊和会议发表论文多篇, 并获得学术界好评和引用, 提升了我国在相关领域的学术影响与地位;

人才培养成绩突出: 获得连续培养高精尖信息技术领域众多的硕士、博士毕业生, 成为国家各类人才计划项目、国际联盟主席等为本领域培养了优秀的学术和专业技术人才; 学科基地建设成效卓越。

## 六、主要知识产权证明目录 (限 10 条)

序号\知识产权类别\知识产权具体名称\国家 (地区)\授权号\授权日期\证书编号\权利人\发明人

1. 发明专利, 一种无线异构网络中可编程物理平面设计方法, 中国, 201610037705X, 2018-12-7, 3176182, 曲桦、赵季红、郭涯
2. 发明专利, 一种基于软件定义网络的平面式控制架构的一致性构建方法, 中国, 201810241791.5, 2020-3-24, 3727067, 曲桦、赵季红、喻理文
3. 发明专利, 一种基于软件定义网络 and 用户中心网络的应用感知装置及其方法, 中国, 201711378547.5, 2020-6-19, 3847504, 曲桦、赵季红、冯富静
4. 发明专利, 一种基于空天地一体化信息网络的虚拟网络映射方法、装置、设备及存储介质, 中国, 2021100943706, 2022-4-13, 曲桦、赵季红、施媛媛,

- 5.发明专利,一种高可靠性的细粒度 SDN 流量监控架构,中国,201710439320,2020-6-26, 3860374,曲桦、赵季红、赵东旭,
- 6.发明专利,一种针对 HTTP 视频流业务的主观 QoE 评估方法,中国,2019101324250,2020-6-19, 3851200, 曲桦、赵季红、朱佳荣,
- 7.发明专利,一种基于语义相似度 API Framework 服务发现方法,中国, 201910662068.9, 2021-3-16, 4303182,曲桦、赵季红、边江
- 8.发明专利,一种空天地一体化网络资源映射方法及系统, 中国, 202110350699.4, 2022-10-28, 曲桦, 赵季红, 马伟
- 9.发明专利, 一种多域 SDN 控制节点故障的双层检测方法, 中国, 201810274163.7, 2020-03-31, 3733824, 曲桦、赵季红、杨静
- 10、发明专利, 空天地一体网络下基于自回归的多维资源预测方法及系统, 中国, 202110477686.3, 2022-12-09, 5637686, 曲桦、赵季红、朱召鹏

## 七、主要完成人情况表

姓名: 曲桦, 排名: 1,行政职务: 院长, 技术职称: 二级教授, 工作单位: 西安交通大学  
完成单位: 西安交通大学, 对本项目主要学术贡献:

负责“多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作, 发明面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构, 发明基于能力资源时变图的多维资源建模方法, 发明了多层多域网络中可生存的虚拟网络智能映射方法, 发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。是创新点 1、2、3、4 的主要贡献者。

姓名: 赵季红, 排名: 2, 行政职务: 主任, 技术职称: 二级教授, 工作单位: 西安交通大学,  
完成单位: 西安交通大学, 对本项目主要学术贡献:

负责“ 多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作, 发明面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构, 发明基于时间拓展图的能力资源时变图, 发明了一体化网络基于感知的业务编排方法, 发明了面向能力开放 API 的服务智能化管理方法。是创新点 1、2、3、4 的主要贡献者。

姓名: 边江, 排名: 3, 行政职务: 部门经理, 技术职称: 工程师, 工作单位: 西安交通大学  
完成单位: 西安交通大学, 对本项目主要学术贡献:

负责“ 多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作, 发明面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构, 发明基于能力资源时变图的多维资源建模方法, 发明了多层多域网络中可生存的虚拟网络智能映射方法, 发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。是创新点 2、4 的主要贡献者。

姓名: 袁晓东, 排名: 4, 行政职务: 院长助理, 技术职称: 高级研究员, 工作单位: 西安交通大学, 完成单位: 西安交通大学, 对本项目主要学术贡献:

负责“ 多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作, 发明面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构, 发明基于能力资源时变图的多维资源建模方法, 发明了多层多域网络中可生存的虚拟网络智能映射方法, 发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。是创新点 1、2 的主要贡献者。

姓名：李晓彤，排名：5，技术职称：高工，工作单位：中兴通讯

完成单位：中兴通讯，对本项目主要学术贡献：

负责“多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作，发明了多层多域网络中可生存的虚拟网络智能映射方法，发明基于能力资源时变图的多维资源建模方法，发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。是创新点 1、3 的主要贡献者。

姓名：李一凡，排名：6，技术职称：高工，工作单位：中国电信股份有限公司陕西分公司

完成单位：中国电信股份有限公司陕西分公司，对本项目主要学术贡献：

负责“多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作，发明面向多层多域多维立体网络的一体化协同控制架构，发明基于能力资源时变图的多维资源建模方法，发明了多层多域网络中可生存的虚拟网络智能映射方法，发明并研发了基于网络能力开放架构的控制系统与能力开放平台。是创新点 1、2、3、4 的主要贡献者。

八、主要完成单位情况表

单位名称：西安交通大学，对本项目主要学术贡献：

负责“多层多域多维立体网络的一体化协同控制关键技术及应用”的总体设计、各关键技术的研究和实施工作，承担国家科技重大专项（民口）课题新一代宽带无线移动通信网“基于 R5 5G 网络服务能力开放研究、标准制定和预商用系统研发;国家自然科学基金重点项目“面向业务的软件定义网络可编程控制与调度机制研究；国家 863 计划项目“未来一体化网络关键技术和示范；国家 863 计划项目“新一代网络面向业务的恢复与控制技术研究”，代表发明专利 1-10。是创新点 1、2、3、4 的主要贡献者。

单位名称：中兴通讯股份有限公司，对本项目主要学术贡献：

中兴通讯在本项目科技创新和推广应用中的主要贡献为：与西安交通大学共同完成多层多域多维立体网络的一体化协同关键技术及应用的整体设计方案、研发和实施。研究了宽带移动网络的跨层优化技术以及覆盖增强组网技术，解决了无线网络资源有限的问题；基于标准研究，提出了异构融合网络的资源管理机制，完成了新型移动网络构架的设计，研究基于认知理论的资源管理，完成跨层资源优化技术标准的应用研究，研究联合无线资源调度技术，面向移动用户无缝鲁棒覆盖的移动鲁棒性研究等，并向 3GPP 国际标准组织提交了多篇提案，申请国际专利和国家发明专利以及产品化技术。提供实际网络环境的评估、关键技术性能研究与实际测试。推动项目实现了上述成果的产品产业化并推广应用。已在电信运营商、省市地区的信息平台建设、智慧城市以及行业应用建设等得到应用，产生了显著的经济和社会效益。

完成人合作关系说明

项目完成人曲桦、赵季红、边江、袁晓东、李晓彤、李一凡于 2007 年 1 月至 2023 年 12 月期间，与西安交通大学共同合作申请并完成国家科技重大专项项目、国家 863 计划项目、国家重点基金项目，并合作完成其中关键技术的研究以及实验系统的测试及应用推广。

完成人合作关系情况汇总表

序号/合作方式/合作者/项目排名/合作起始时间/合作完成时间/合作成果/证明材料

1.共同立项、技术研究，曲桦、赵季红，2009.1-2019.12,国家科技重大专项项目、国家重点

基金项目、国家 863 项目,知识产权附件目录

2.曲桦、赵季红、边江、袁晓东、李晓彤、李一凡共同组建新多层多域多维立体网络的一体化协同关键技术及应用研究团队，通过长期紧密合作，取得了一系列重要研究成果。同开展多层多域多维立体网络的一体化协同关键技术的研究与开发，联合承担了多个“新一代宽带无线移动通信网国家重大科技专项项目、国家 863 计划重点项目、国家自然科学基金重点项目等，技术研发、系统测试、合作发表论文、以及申请国家专利，合作完成软件著作权和国际国内标准等。