国网江苏省电力有限公司科技项目

**可行性研究报告**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称： | 基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术研究 |
| 申请单位： | 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司 |
| 起止时间： | 2021年1月至2022年12月 |

|  |  |
| --- | --- |
| 项目负责人： | 陈冰冰 |
| 通信地址： | 南京市建邺区奥体大街1号 |
| 邮政编码： | 210019 |
| 联系电话： | 025-84222730 |
| 传真： | 025-84225744 |
| 申请日期： | 2020年9月 |

1. **目的和意义**
   1. **项目背景**

**1.1.1 宏观背景**

在电网的建设和日常运维中，抵御日益频繁的自然灾害和外界干扰、降低运营成本、促进节能减排为未来电力系统重要的工作之一，这就要求电网必须提高其灵活性和兼容性,依靠智能化手段不断提高其安全防御能力和自愈能力。智能电网已成为世界各国竞相发展的一个重点领域，发展智能电网是社会经济发展的必然选择。

智能配电网是“能源互联网”建设的重要环节，它不仅服务于大电网，而且服务于电力终端用户，可以解决精确供能、电力需求侧管理、电网自由接入、多电源互动以及分散储能等问题。发展智能配电网对于促进我国战略性新兴产业发展和经济转型升级具有广泛的带动作用，对承载和推进国家“互联网+”智慧能源战略具有重要的意义。经过年的建设与实践，我国在配电网智能化方面已取得了巨大成果，累计建设了29类287项试点项目，初步建设了涵盖范围广、建设规模大、推进速度快、应用效果好的多地区智能配电网体系。配电自动化项目的建设有效提高了配电网的智能化水平，但是总体来说目前配电自动化系统建设与运维水平还有很大的提升空间。

2015年，国家发改委发布了《加快配电网建设改造指导意见》和《配电网建设改造行动计划（2015-2020年）》，计划通过实施配电网建设改造行动计划，提高配电网供电可靠性和供电质量，提升居民电气化水平，为加快推进我国城镇化进程提供切实有力的保障。配电自动化作为智能电网建设中的重要一环，在智能电网的发展大潮中也被注入了新的内涵，掀起了一轮建设的高潮。因此必须积极探索和实践智能电网建设新形势下的配电自动化发展理念和实现模式，利用物联网、大数据、云计算、人工智能、新一代通信、半导体技术的发展成果，建设先进、实用、开放、互动、稳定、可靠的配电自动化系统，实现故障的快速隔离、非故障区域快速恢复供电，提高配电网生产运行管理水平，并为下一阶段配电自动化的全面推广和应用积累经验、提供示范。

**1.1.2 课题背景**

当前，配电网自动化、智能化发展趋势主要有：体系上向云边协同发展、技术上向ICT高度集成发展，设备上向小型化和多功能融合发展。

本课题的研究，基于国产SoC芯片，适配配电网设备即插即用与数据协作技术，形成面向分布式FA场景的国产芯片应用示范，是这三个发展趋势的集中体现，也具有技术发展和产业安全发展的必要性和紧迫性。

**课题设立响应配电网自动化设备系统云边协同智能化的需要。**

配电终端作为智能配电网的关键设备，需要通过通信系统完成相互之间以及与配电自动化主站之间的信息交互，并通过统一接口进行数据协作。

当前，配电自动化系统所使用的IEC60870-5-104、IEC60870-5-101等通信协议只解决了数据传输的问题，具体数据之间缺乏必要的关联和说明，常规配电终端缺乏自描述能力，**无法实现配电终端即插即用，导致配电自动化施工、维护的工作量都非常大**：

**（1）设备自描述能力差**：配电终端设备缺乏自描述功能，缺乏统一的功能和接口规范，无法利用标准的文件格式描述自身包含的数据与服务，各数据之间缺少必要的关联关系，与配电自动化主站之间的数据传输需要人工进行数据点表的关联，以说明数据的具体来源和含义；

**（2）终端设备之间的互连、互换性差**：由于设备厂家众多、缺乏统一模型和数据接口标准，导致了不同厂商的设备难以实现互连互换；

**（3）设备安装调试、运行维护工作量巨大**：由于配电终端数量多、分布范围广，且无法实现即插即用和互连互换，因此目前配电自动化系统安装调试及运行维护工作量巨大、效率低下。

随着边缘计算思想的发展，电网公司已经就配电网设备即插即用与互操作开展了前期研究工作，依靠在配电网设备上进行功能集成，对即插即用功能进行了初步的实践，但在设备普适性方面还需要进一步提升，配电网设备的核心硬件基础是芯片，当前主要的芯片还是单片机层级，其功能尚定位在主控和不太复杂的算法运行上，由于没有配置协处理器，其边缘侧的智能处理能力相对较为短缺，也没有集成通信功能，其对外通信需要通过接口、配合外部通信模块实现。

本项目所涉及的国产SoC芯片，集成了主控、协处理器和通信功能，技术集成度更高、功能更强、功耗更低，其具备的通信和协处理能力，对于边缘物联网设备间的数据协作而言，性能足够，因此，若能在芯片层面进行适配，对于**设备小型化、多功能融合、以及提升即插即用与互操作的普适性意义重大**。故本课题开展**在芯片协议层定制化环节开展数据协作与即插即用研究，开发具有自描述能力的配电终端用于验证国产SoC芯片，为今后国产SoC芯片在电力行业的应用推广十分必要。**

具体到配电网自动化场景，多代理系统（MAS）是一种可以适应环境变化的自治系统，它通过MAS代理相互协同来实现目标的控制，MAS技术可以用于解决拓扑接线复杂和参数差异较大的电网故障处理问题。基于MAS技术的智能配电网非正常状态故障处理算法，可以在馈线上安装负荷开关的前提下快速隔离故障并恢复非故障区的供电，这种模式又简称为智能分布式模式。承载分布式控制算法的各个智能体之间需要进行信息共享与消息通信，IEC61850具有完整的数据对象建模方法与一致的服务接口，这使得不同供应商的设备之间数据交互、功能联合与互操作成为可能，可以为基于MAS技术的各个智能体之间信息共享与消息通信提供标准支撑。

为了推进这一目标，要求**底层设备融合物联网技术，要能够实现边缘计算、自动识别、自主/协同决策等功能**。边缘计算使物联网设备在靠近物或数据源头的网络边缘测与云计算互相协同（即云边协同），基于国产芯片适配技术，实现更加底层的数据协作与设备自描述，支持即插即用，就近提供智能互联服务，高效地对用电情况进行动态监测，维护系统的安全、稳定运转，加强人与设备、设备与设备间的信息关联与交互，实现参数检测、故障信息记录，状态巡检一体化。可以更好地解决目前配电自动化系统建设过程中，配电终端设备的安装、调试及运维等方面存在的诸多问题。

**课题的设立也是核心芯片自主可控国产化的要求。**

电力物联网建设将从电力行业逐步延伸到智能化生活，实现万物互联会给集成电路应用带来指数级增加，然而电力芯片国产化进程远无法跟上需求。大部分企业主要研发消费级芯片，而工业级芯片不仅研发成本高，且研发难度大，芯片需长期同步适应各种恶劣工业环境，对网络结构、操作频繁性、故障率等应用问题要求更高。

芯片对外依存度高易存在三大隐患：一是配电终端设备是配电网的重要设备基础，若因为芯片出现“后门”、“漏洞”等技术问题，将严重影响到电网的安全运行。二是芯片严重依赖进口，定价权在国外厂商，价格居高不下。三是当前国际贸易情况下，国外芯片存在出口限制的风险，供货周期及数量无法保证。为摆脱这一局面以及考虑到电网数据安全因素，国网体系鼓励自主设计工业级芯片。

芯片从设计到生产，涉及电子信息、材料学等多个基础学科，且在技术、专利、人才等多个方面存在壁垒，需要开放和跨界协作，在良好的发展生态圈中让应用单位、终端厂商、设计公司等协同推进电力芯片国产化进程，避免资源浪费，让配电网终端的微型化、智能化、物联网化打破传统，得到进一步革新。

**课题的设立也是配套国网即将承担的国家重点研发计划的需要。**

当前，国家电网公司责成信产集团牵头申报国家科技部重点研发计划，并由国网江苏电力负责应用示范区，示范区最终落在江北新区，由南京电力公司具体负责项目的示范工作。

该国重项目中包含研究基于国产SoC芯片的内容。为了促进项目研发成果的落地示范应用，建议通过本课题，针对配电网自动化能力提升需求，**研究基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术**。基于国家重点研发计划研制的SoC芯片，扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，按照电力规约，实现芯片层面自描述，支持配电网设备互操作；通过在芯片层次自组网协议的实现，支持基于配电线路的拓扑自发现，支持即插即用；对轻智能协处理器、协议层及操作系统进行针对分布式FA的联合优化，扩展配电线路设备本地化数据交互和智能处理等数据协作能力，减少现场维护工程量，实现快速可靠的配电线路的故障分析、隔离建议与恢复策略；也支持与配电主站的交互，可形成判断和策略上报主站，实现云边协同，提高配电网的可靠性及实用性。

**1.2 研究目标和意义**

**1.2.1 研究目标**

本课题的研究目标是：基于国产芯片适配，研制配电网智能分布式FA设备，构成小规模应用示范系统，验证国产芯片在电力场景应用的可行性的同时，实现配电网终端设备更高的集成度、即插即用、拓扑自发现、小型化、低功耗等技术目标。

**1.2.1 研究意义**

随着电力物联网建设的不断推进，配电网转型升级不断加速，新装配电终端数量不断增加，设备快速增长与结构性缺员之间的矛盾日益凸显。如何在芯片层次实现配电网设备互操作与即插即用成为配电自动化发展面临的关键问题。

通过本课题的研究与实施，将进一步推进智能配电监控终端的配电线路自组网能力，在配电网设备的数据交互与智能处理方面，与国产物联网SoC芯片定制化研发工作相结合，在芯片层次实现更灵活的设备自描述信息数据交换。为国际国内制定相关标准规范提供用例参考，为提升公司在国际标准中的影响力，发展下一代配电自动化技术、占据核心技术竞争优势等方面都具有积极作用；有效推进配网故障处理技术的发展和演变，集成集中式和分布式馈线自动化技术的优点，实现区域故障精确定位、快速隔离和自动恢复等功能，提高配网故障处理的时效性和供电可靠性。

**1.3 成果应用及推广途径**

本课题研究成果适用于各种建设模式及不同规模的配电自动化项目，项目成果计划在南京江北新区电力设备物联网示范区进行示范落地，并根据应用效果联合国内主流终端设备生产厂家在行业内推广国产芯片的定制化应用。

**1.4 成果应用后的直接或间接效益**

本课题旨在通过国产芯片定制，实现对配电终端自描述与即插即用功能、智能分布式FA自组网技术、智能分布式FA与配电主站交互技术的研究，实现基于自描述功能的配电终端自动识别、即插即用功能，实现智能分布式FA自适应配电线路网络拓扑结构的变化及与配电主站的信息交互等关键功能，从而解决配电终端即插即用、智能分布式FA自组网以及与配电主站的配合等问题。

**成果应用后预期直接和间接效益如下：**

**一是直接提高供电企业运行的经济效益**。通过基于国产芯片的终端自描述技术，进一步实现配电终端安装、调试及运维的“即插即用”，解决配电终端运维工作量大的突出问题，减少配电自动化建设过程中的调试和后期人员维护工作量，提高配电自动化建设效率。

**二是提升电网安全稳定运行水平，进一步提高供电可靠性。**通过研究基于国产芯片的配电线路拓扑自发现技术，实现智能分布式FA 功能，提高故障处理功能对配电线路变更的适应性，快速实现就地故障隔离和自愈，提高供电可靠性。

**三是探索未来配电网故障处理的新模式**。通过研究智能分布式FA 与配电主站的关系定位，提出分布式FA 动作前、动作中、动作后与主站的交互机理，实现基于主站的智能分布式FA 的远程运维，由此探索发现未来配电网故障处理的新模式。通过制定《配电网分布式FA 技术规范》，进一步指导和规范未来的配电自动化系统建设。

**四是推动智能配电网上下游产业发展。**在配电自动化大力发展的背景下，对基于国产SoC芯片的配电自动化运维的相关研究技术进行推广，实现研究成果的利益最大化。通过基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术研究和产业转化，课题成果将在未来的配电自动化建设工程中获得广泛应用，有力推动配电自动化智能装备制造、软件研发等上下游产业的发展。

1. **国内外研究水平综述**

**2.1 分布式FA技术现状**

随着计算机技术、光纤以太网通信技术以及数字化变电站技术的发展，一种广域保护模式[8][9]被应用于解决配电网的故障处理问题，尤其是一些对供电可靠性要求非常高的区域，其典型特征是通过继电保护设备之间的时间与信号配合，最终实现故障上游区段不停电，故障下游区段在极短时间内恢复供电；甚至在闭环运行网络中可以实现故障区域直接隔离，非故障区域不停电的目标。在所有故障处理模式中，这种故障处理模式的速度最快。例如：文献[8]提出一种基于通用面向对象变电站事件（GOOSE）的分布智能处理方法，建立了配电网络的分区模型，对开环运行配电网络以及闭环运行配电网络的故障处理控制机制进行了分析。文献[10]提出一种“面保护”概念，解决了传统“点保护”信息不全面的弱点，简化了故障定位的判据，避免了对整体通信或单个主机的依赖。文献[11]利用以太网快速通信，实现了保护的选择性，将故障定位、故障隔离与非故障区域供电恢复操作过程一次性完成，由于故障处理过程速度快，操作时间短，可以不影响类似电动机等负荷。文献[12]提出一种基于差动保护与备自投原理的故障处理控制方案，可以在几百毫秒内隔离故障，并在秒级时间恢复非故障区域的供电。因为广域保护模式需要馈线上的开关必须是具有切断故障电流能力的配电网设备，而传统上，电力企业在配电网络上配置的都是负荷开关，且相比负荷开关，配电网设备价格较贵，同时这种模式对配电网络接线方式非常敏感，文献[8][12]中的案例全部是简单的手拉手网络，难以推广到典型的多联络、多分支与多电源（一个配电网络达到或超过3个电源点）的复杂配电网络。

多代理系统（MAS）是一种可以适应环境变化的自治系统，它通过MAS代理相互协同来实现目标的控制，MAS技术可以用于解决拓扑接线复杂和参数差异较大的电网故障处理问题[1][2]。基于MAS技术的智能配电网非正常状态故障处理算法逐渐成为讨论分析的热点，可以在馈线上安装负荷开关的前提下快速隔离故障并恢复非故障区的供电，为区别前述的几种模式，这种模式又简称为智能分布式模式。与各种其他模式的故障处理模式算法一样，承载分布式控制算法的各个智能体之间需要进行信息共享与消息通信，IEC61850具有完整的数据对象建模方法与一致的服务接口[3]，这使得不同供应商的设备之间数据交互、功能联合与互操作成为可能[3]-[6]，可以为基于MAS技术的各个智能体之间息共享与消息通信提供标准支撑。

但当前版本的IEC61850在设计时，较少考虑配电系统的实际需求，其模型设计没有考虑到配电系统与变电站自动化系统的差异[13]，配电自动化相关设备数量远远超过变电站内的设备，对标准化与互操作的要求更为迫切[14]。总之，智能电网领域采用IEC61850模型以及IEC61850针对智能电网各种应用功能的扩展是目前国内外的研究热点，并已在变电站自动化[15]领域各种应用中得到很好的应用。目前IEC61850模型对于智能配电网故障处理过程尚无系统性的支持，已有的研究主要侧重于基于现有版本进行与监控信息相关的建模或者是应用IEC61850中的某些技术解决智能故障处理中的单个问题[16][17]。

**2.2 无线传感网技术现状**

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）和无线自组织网络（Wireless Ad-Hoc Network, WANET）近年来国内外学术界和产业界的研究热点，其具有节点数量多、组网灵活、运行功耗低、计算能力弱等特点。目前，在通信协议、能量损耗等方面涌现出了大量的研究成果。

在通信协议的设计和优化方面，叶进等人针对无线Ad-Hoc网络提出了基于帧传输效率的拥塞控制方法[18]，当检测网络出现拥塞时，主动发出ECN通告告知发端节点主动降低发送数据的速率，以达到缓解网络负载的目的。王林等人结合LEACH算法及相关的改进工作，提出了新的改进方法[19]，通过对节点剩余能量和簇首节点状态综合考虑，在簇首和基站之间采用单跳和多跳相结合的方法，降低了网络负载，从而达到了保持网络平衡的目的。徐勇军等人通过从信道状态等方面对异构无线网络资源分配算法进行了整理和归纳[20]，并总结了目前资源分配方面仍然存在的问题和不足，对可能的发展方向进行了分析。任丰原等人针对低功耗路由技术等热点问题进行了总结和阐述，并基于需求分析了一些无线传感器网络领域的热点问题[21]。除此之外，李冬霞等人充分利用网络节点的移动信息，对AODV协议进行改进[22]，降低了路径断裂的概率。

Al-Shaikh A等人基于MATLAB仿真平台对LEACH-C和LEACH协议进行了仿真实验[23]，定量比较了LEACH-C协议相比于LEACH的性能改善情况。Liang Zhao等人针对无线Mesh网络（Wireless Mesh Network, WMN）路由度量方法进行了整理和比较[24]，并指出了路由度量方面仍然存在的一些开放性问题。汤媛媛等人针对车辆自组织网络（Vehicle Ad-Hoc Network, VANET）提出了一种新的退避算法[25]，通过比较车辆自身业务量和平均值的差异，选择不同的退避算法，另一方面根据车辆密度调整预约服务时长，保障一定的网络吞吐量。Jae Hyeck Lee等人描述了一种基于WiFi直连技术的多跳移动自组织网络（Mobile Ad-Hoc Network, MANET）[26]，设计了一个路由协议层用来支持WiFi直连设备的通信和设备之间的多跳通信。然而，上述介绍的研究工作均取得了一定成果，但大多数都基于节点同源的假设，并未针对当前物联网应用过程中常见的非同源节点业务数据格式封装不一致导致无法高效交互的问题，有针对性地提出通信管理方案。

作为一家通信设备制造商，华为也在物联网领域有所布局。相对于阿里、百度等互联网企业而言，华为的优势体现在通信基础设施、芯片设计以及5G等通信技术的研发积累上。5G面向的三大场景之一的低时延高可靠场景，适用于车辆网、远程医疗等实时性和可靠性要求较高的场景，在这方面，华为布局存在着较大的硬件优势。而对于低功耗广覆盖这个5G另一主要场景而言，在维持设备必要的运行状态下尽可能降低工作功率，提高其耐用性；在大规模连接同时存在时，降低设备通信干扰、提高带宽利用效率，华为在芯片设计、通信技术的研发等方面积累了较大优势，这类场景包括农田监测、工控安全等领域。总体而言，在不涉及传统互联网服务的场景下，华为具有独特的技术优势。

分布式技术在物联网领域得到了高度的重视。侧重于物联网边缘侧的设备本身，在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合数据的获取采集、传输交互和存储更新等功能。每台物联网设备可以自行传感器端数据的发现、获取和处理。同时，通过统一的业务数据格式封装，消除设备的同源壁垒。以此为前提，优化数据和通信管理过程，可以打造开放式的即插即用和自描述能力的物联网络，提供不依赖于云端服务和网络中心控制器的本地化智能解决方案。

**2.3 物联网及特定操作系统技术现状**

物联网技术被广泛应用于现代社会的生产和生活，其产业领域包括传感器、通信、微处理器、计算机、自动化、集成电路等众多学科领域，同时与电力、交通、环境等众多应用领域密切相关，因此涉及了复杂多样的知识体系。随着人工智能技术的发展，物联网技术是获得巨量数据必不可少的环节，智能物联网（AIoT）成为不容置疑的发展趋势。在物联网技术应用过程的各个环节，如何充分发挥人工智能技术的作用，已经成为目前学术界、技术界和产业界共同关心的问题。

随着物联网技术的发展，越来越多的高水平公司意识到物联网操作系统才是构建高效物联网，制约产业应用的关键。以ARM公司为代表，配合全球广泛应用的ARM系列微处理器内核，提出了IFC（Intelligent Flexible Cloud）物联网操作系统解决方案，意为采用智能灵活的云的方式，实现最广泛的设备间互操作互联。华为公司提出了LiteOS操作系统，提出了在不同的设备间，对不同的通信协议进行格式转换，实现各类设备间的互联互通和互操作。阿里巴巴公司非常重视物联网应用，除了在云端提出了阿里云系列产品，还非常重视物联网设备和芯片的生态，阿里提出了AliOS操作系统，用于支持天猫精灵等智慧应用，同时也已经成为物联网芯片和终端设备的重要研发供应商。目前这些物联网技术在扩展性上依然存在局限，例如华为LiteOS系统目标是面向终端设备开发平台，这就需要设备开发流程全面依托华为物联网解决方案，造成下游厂家的技术受到限制。

与SoC芯片定制化流程更加紧密结合的通信协议层物联网操作系统被认为是下一步发展的必经环节。现代通信芯片已经向着多模、智能方向发展，普遍采用了“微处理器+操作系统内核+软件协议栈”架构，并与多种射频前端和基带配合工作，兼顾了灵活性和制造成本等多方面的因素。通信协议层操作系统可以认为是最简化的嵌入式操作系统，侧重在通信方向上的优化。在现有的通信芯片协议栈软件实现所采用的嵌入式操作系统内核基础上，通过增加数据协作与通信协作能力，实现在通信芯片协议层底层实现物联网节点设备的非同源协作，灵活的数据获取，优化非同源设备节点的通信资源调度，被认为是未来解决无处不在、数量庞大的物联网设备共存的关键问题。

嵌入式节点操作系统首先是一个实时操作系统，因此具备实时操作系统的一般特征。从组成上讲，嵌入式节点操作系统具有通用实时操作系统普遍具有的文件系统、任务调度模块、中断服务程序以及上层协议接口、底层设备驱动管理模块等组成部分。和部分实时操作系统一样，嵌入式节点操作系统实现了多种常见传输协议的接口，实现了对不同传输协议的支持。不同点在于，嵌入式节点操作系统相比一般意义上的实时操作系统增加了一个增强模块。该增强模块中涵盖了如何对节点通信过程进行管理，如何对节点数据存储和更新、如何完成消息交互等具体算法和策略，基于此实现节点之间高效互联以及数据交互与通信协作能力的提升。

**参考文献：**

1. Mcarthur S D J, Davidson E M, Catterson V M, et al. Multi-agent systems for power engineering applications part I: concepts, approaches, and technical challenges[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4):1743-1753.
2. Mcarthur S D J, Davidson E M, Catterson V M, et al. Multi-agent systems for power engineering applications part II: technologies, standards, and tools for building multi-agent systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(4): 1753-1760.
3. IEC 61850-7-4: Communication Networks and Systems in Substations – Part 7-4, Basic communication structure for substation and feeder equipment- Compatible logical node classes and data classes[S]. Switzerland: IEC, 2010.
4. IEC 61850-6: Communication Networks and Systems in Substations – Part 6, Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S]. Switzerland: IEC, 2010.
5. IEC 61850-2: Communication Networks and Systems in Substations – Part 2, Glossary[S]. Switzerland: IEC, 2010.
6. IEC 61850-7-1: Communication Networks and Systems in Substations – Part 7-1, Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and models Glossary[S]. Switzerland: IEC, 2010.
7. 王益民. 实用型配电自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008.
8. 刘健, 赵树仁, 贠保记,等. 分布智能型馈线自动化系统快速自愈技术及可靠性保障措施[J].电力系统自动化, 2011, 25(17):67-71.
9. 林功平. 配电网馈线自动化解决方案的技术策略[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(4):52-55.
10. 章琦. 基于面保护原理的配电网故障处理[J]. 浙江电力, 2002, 21(2):14-17.
11. 焦振有, 焦邵华, 刘万顺. 配电网馈线系统保护原理及分析[J]. 电网技术, 2002, 26 (12):75-78.
12. 林功平. 配电网馈线自动化解决方案的技术策略[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(4):52-55.
13. 廖真哲, 刘东, 陆一鸣, 等. 基于 IEC 61850 与 CIM 融合的分布式能源模型扩展研究[J]. 华东电力, 2012, 40(4):568-571.
14. 童晓阳, 王晓茹, 丁力. 基于IEC 61850构造变电站广域保护代理的信息模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(5):63-67.
15. 丁峰, 陆承宇. 基于IEC 61850标准的变电站防误闭锁工程应用[J]. 电力系统保护与控制, [2010, 38(9):](http://acad.cnki.net/kns55/oldNavi/Bridge.aspx?LinkType=IssueLink&DBCode=cjfd&TableName=cjfdyearinfo&Field=BaseID*year*issue&Value=JDQW*2010*09&NaviLink=%e7%94%b5%e5%8a%9b%e7%b3%bb%e7%bb%9f%e4%bf%9d%e6%8a%a4%e4%b8%8e%e6%8e%a7%e5%88%b6)96-99.
16. 国家电网公司. IEC\_61850工程继电保护应用模型[S]. 国家电网公司, 北京, 2009.
17. Apostolov A P. Modeling systems with distributed generators in IEC 61850[C]. Power Systems Conference, 2009. PSC'09. IEEE, 2009: 1-6.
18. 叶进, 王建新, 廖秋丽. 无线ad hoc网络中基于帧传输效率的拥塞控制方法[J]. 通信学报, 2010(11):86-92.
19. 王林, 赵绍英.无线传感器网络leach路由协议的研究与改进. 计算机工程与应用, 2012, 48(2):80-82.
20. 徐勇军, 李国权, 徐鹏, 等.异构无线网络资源分配算法研究综述[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 030(3):289-299.
21. 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7):1282-1291.
22. 李冬霞, 付西男. 有效的AODV路由协议改进方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(28):83-85.
23. Khattab H, Al-Sharaeh S. Performance Comparison of LEACH and LEACH-C Protocols in Wireless Sensor Networks. Journal of ICT Research and Applications, 2018, 12(3): 219-236.
24. Liang Zhao, Ahmed Y Al-Dubai. Routing Metrics for Wireless Mesh Networks: A Survey[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012.
25. 汤媛媛，朱琦. VANET 中基于公平性的多信道 MAC 协议[J]. 计算机应用研究。2019, 33(8): 2478-2482.
26. Lee J H, Park M S, Shah S C Wi-Fi direct based mobile ad hoc network. In 2017 2nd International Conference on Computer and Communication Systems. ICCCS, 116-120.
27. 任哲. 嵌入式实时操作系统μC/OS—Ⅱ及应用[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2005.
28. **项目的理论和实践依据**

**3.1项目理论依据**

**3.1.1 配电网智能分布式标准**

IEC 61968标准是电力企业各专业管理应用系统之间的接口信息定义和配电通用模型。本标准是智能电网的基础性标准之一，适应于智能电网企业应用层面的互操作。DL/T 1080《电力企业应用集成-配电管理的系统接口》系列标准支持配电网管理的多种应用系统的应用间集成。

IEC 61968系列标准旨在实现各类分布式的应用软件的集成，这类集成是相对于内部软件的集成，主要是围绕配电网管理的应用软件。内部功能集成在一个应用系统中，各功能程序通常采用嵌入式中间件实现相互联系。中间件在后台运行，优化运行环境，使不同系统做到实时和同步，实现信息交互、请求/回复、交谈沟通功能。

**3.1.2 智能分布FA算法理论**

FA算法理论是一个多目标、多维数、多约束及多时段非线性的组态优化求解问题。相关研究提出了各种算法与解决方案，主要包括集中式故障处理与分布式故障处理两大类。FA算法分类如图3.1所示：



图3.1 FA算法分类图

**其中分布式故障处理**模式不需要配电自动化主站而依靠智能开关设备相互配合就能达到故障隔离和健全区域恢复供电的目标。**实际应用中，分布式处理模式包括重合器分段器模式，广域保护模式（面保护模式），以及基于多代理系统（MAS）的就地控制模式**。依据智能开关设备之间配合方法的区别，重合器分段器模式又可以细分为重合器与电压时间型分段器配合模式、重合器与重合器配合模式、重合器与过流脉冲计数型分段器配合模式等。它们的基本特征是重合器与分段器依据本地配置及其采集的信息做出控制决策，决策过程不依赖于任何通信，通过时间或动作次数的整定，实现故障快速定位、隔离及非故障区域恢复供电。与此同时，随着计算机技术、光纤以太网通信技术以及数字化变电站技术的发展，广域保护模式被应用于分布式故障处理模式，其典型特征是通过继电保护设备之间的时间与信号配合，最终实现故障上游区段不停电，故障下游区段在极短时间内恢复供电；甚至在闭环运行网络中可以实现故障区域直接隔离，非故障区域不停电的目标。MAS是一种可以适应环境变化的自治系统，它通过MAS代理相互协同来实现目标的控制，为区别前述的几种模式，这种模式又简称为智能分布式模式。

**3.1.3 芯片层次自描述与互操作的可行性**

IEC61968标准特有的、优良的互操作性、开放性和可扩展性，能够实现不同智能设备的无缝接入，极大地推动了数字化变电站的发展。IEC61968标准的ICD文件具有自描述功能，所以当新的配电终端设备在接入后，会主动发送一个“自动报告”文件，包含描述设备的基本信息（如设备的IP、通信端口、版本信息等），与一次设备的关联信息、与站内通信网络的连接信息，调度端向配电终端获取模型的信息（包括LD，LN，数据对象，数据属性等），然后生成该配电终端的基本信息数据库，在控制中心的模型中生成与该装置相关的一次设备的拓扑模型，在一次、二次接线图的画图系统中自动生成该装置。

IEC61968标准在数字化变电站已成功应用，实践证明没有标准的自描述功能就没有互操作的可行性。IED设备的自描述文件需要人工编辑，如手工填写GOOSE通信配置等，使IED设备间的联调演变成习惯上的远动协议双边表的对点工作，致使调试的复杂程度和工作量剧增，更谈不上变电站自动化系统（SA）日后的可维护性。因此，ICD文件的自动生成是保证自描述功能得以实用化的基础。

基于以上事实，本课题所采用的国产物联网SoC芯片，采用与通信协议层联合设计的配电网设备数据共享解决方案，可以实现在芯片协议层集成IEC61968标准ICD文件，实现配电网设备自描述功能，并进而支持设备间更加广泛灵活的互操作。在协议层集成ICD文件的技术实现，需要和物联网SoC芯片的微处理器内核设计、总线设计和存储管理设计相结合，并与特定的配电网所需通信软件协议联合设计，在保证通信响应时间需求的前提下，增加数据管理能力和通信管理能力。因此，借助配电网物联网SoC芯片的国产化机遇，将有利于推进设备自描述ICD文件方案与通信软件协议栈联合设计优化的研发进程，实现更加灵活高效的设备互联互通和互操作能力。

**3.1.4 边缘侧轻量级智能处理技术**

前述IEC61968标准所提及的ICD自描述文件自动编码器，可以基于国产自主芯片进行数据分析和处理，不需修改原系统的应用程序，如保护及测控程序，同时还存储故障录波、系统通信参数等配置。因此，基于前述ICD设备自描述文件的国产物联网SoC芯片，可以完成数据的读写操作，并通过高速串口与配电通信单元DSP双工通信，按事先约定好的报文格式和信息顺序获得配电装置的最新系统配置参数、三遥信息转发表、故障录波数据系统自动根据IEC61968编码规则将最新系统配置参数、三遥信息转发表的内容覆盖写入ICD文件中，故障录波数据按规定格式写入故障录波文件中。

在上述数据和智能算法基础上，可以基于国产物联网SoC芯片，实现更加丰富的边缘侧智能处理能力。边缘侧智能是边缘节点在边缘侧提供的高级数据分析、场景感知、实时决策、自组织与协同等服务。边缘计算是部署在边缘终端设备（路由器、路由交换机、集成接入设备、多路复用器，以及各种城域网和广域网接入设备。）和云计算中心之间的一种新型计算模型。其资源是指从数据源到云计算中心路径上的任意计算和网络资源，是一个连续系统。优点在于边缘设备处理了部分产生的临时数据，不再需要将全部数据上传至云端，只需要传输有价值的数据，这极大地减轻了网络带宽的压力，且减少了对计算存储资源的需求；在靠近数据源端进行数据处理，能够大大地减少系统时延，提高服务的响应时间。将智能部署在边缘设备上，可以使智能更贴近用户，更快、更好为用户地提供智能服务。

边缘计算将计算、网络、存储等能力扩展到物联网设备附近的网络边缘侧，而以深度学习为代表的人工智能技术让每个边缘计算的节点都具有计算和决策的能力，这使得某些复杂的智能应用可以在本地边缘端进行处理，满足了敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的需求。目前，边缘计算与人工智能的互动融合。然而，由于本地计算能力的不足，这些复杂的计算任务往往需要借助云计算才可以实现。由于存储空间和功耗的限制，智能处理技术在嵌入式设备上的存储与计算仍然是一个巨大的挑战，因此轻量级智能“Tiny AI”处理技术对于设备的存储和计算能力的要求大大降低了。

在边缘资源受限的设备上运行推理和复杂的模型使得适用于移动终端和嵌入式设备的轻量级人工智能应用具有巨大的发展空间，它是一种集成方法，涉及数据，硬件和算法的共同开发。目前轻量级算法框架在移动端的部署方式主要有两种：一种是算法运算在服务端，结果展示在客户端，优点是相对容易实现、开发成本低，但需要保证网络通信畅通；另一种是完全在客户端运行算法模型，无需网络传输，能够保证运行速度。第二种部署方式正逐渐成为主流。除Google的TensorFlow Lite，目前主流的轻量级算法框架还有苹果的Core ML、Facebook的Caffe2、Torchnet、百度的mobile-deep-learning（MDL）。

**3.1.5 物联网SoC芯片技术**

随着物联网技术，特别是基于无线传感网络技术的兴起，已经为智能检测提供了可靠合理的解决办法。为了进一步推动配电网自动化的发展水平，就有必要进一步提升配电网设备多层次控制网络的智能性，通过增加边缘计算等新兴应用基础的物联网SoC芯片，进一步提高在配电网智能检测与配电网智能控制之间的数据交互，实现本地化的应急管理响应的先进管理模式。

物联网SoC芯片是指集成了包括高性能主控芯片、通信芯片（包含HPLC通信模块、蓝牙5.0通信模块）、外围接口芯片、AD采样芯片等模块：

1）高性能主控芯片层次较为广泛的指令集架构，可集成具有专用指令扩展设计的自主知识产权RISC-V指令集架构微处理器内核，工作主频超过400MHz，等效计算能力达到300MIPS，总线为多层次结构；

2）通信芯片同时支持HPLC和蓝牙5.0版本以上通信能力，协议层支持开放协作的数据与通信管理能力，实现基于通信芯片层次的电力物联网生态，提升配电网不同设备节点间的数据共享与交换，支持以数据为基础的边缘侧协作化智能决策，为数据驱动的电力物联网管理能力提供协议支持；

3）接口芯片包括RS485等常用兼容接口，并支持丰富的外设接口，包括GPIO/Uart/I2C/SPI/I2S/PWM/PDM等，以及灵活的外部中断与计数器控制逻辑；

4）集成中低速12bit高精度AD电路模块；

5）集成支持算法升级的神经网络计算单元，实现对边缘侧感知数据的本地化分类、识别与决策智能；

6）解决强电磁干扰等问题，支持在工业级高电磁场环境下的稳定工作。

物联网SoC芯片是提升配电网配电网设备智能化水平的主要途径，是研制适合在工业级高电磁环境下的高可靠控制芯片，以实现具有自主智能能力的配电网配电网设备多层次系统结构和功能。依托物联网透彻的信息感知、可靠的数据传输、健全的网络架构、海量信息的智能管理和多级数据的高效处理能力，实现对配电线路运行参数的智能断路控制，通过对协作获得的各类传感器参数信息边缘侧实时或周期性的分析诊断，从而从边缘智能的层面，更好的保证配电线路的安全可靠性。

**3.1.6 协作物联理论**

协作物联网这一概念由Behmann F和Wu K在其著作《Collaborative internet of things (C-IoT): For future smart connected life and business》一书中提出，作者从感知、网关与业务三个层次对协作物联网展开层次化阐述，基于实际场景给出了具体的案例，从应用需求、服务平台、软硬件设计及差异化解决方案等方面给出了作者的观点，完成了奠基性的基础工作。

除此之外，围绕“物联网协作”、“应用协同”等概念也有一系列的研究成果和工程实践。作为一个崭新且宽泛的概念，协作物联网在Behmann F提出之前已经有相似的表述和做法出现，仅仅是未使用这一术语进行描述。尽管协作物联网这个概念目前仍缺乏明确统一的定义，从业者对这一概念的理解也不尽相同，但是对于协作物联网的内涵或者相比于普通物联网的区别而言，基本达成了共识，即“协作”。基于参与协作的对象角度，协作包括物之间的协作、物和人之间的协作；基于实现协作的方式，协作包括操作指令的一致可交互性、数据存储的协调和管理、计算任务的分配和调度、通信带宽资源及功率的重用和分配；基于完成协作的层次，协作可以分为边缘端协作、云端协作和云边协同。总之无论如何分类，协作的实现都需要物联网终端设备本身的参与。

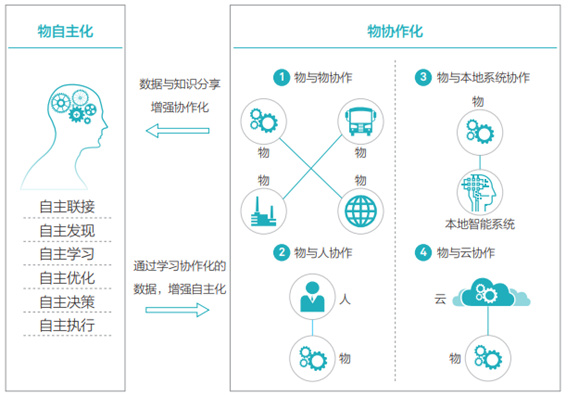


图3.2 基于分布式架构实现物自主化和物协作化的经典概念图

如图所示，在边缘计算产业联盟和工业互联网产业联盟联合发布的《边缘计算参考架构3.0》白皮书中，给出了一个基于分布式架构实现物自主化和物协作化的经典概念图，该图的侧重点在于数据和知识的共享和学习增强自主化和协作化，更侧重于通过机器学习等技术进行数据智能化处理，实现边缘侧的数据计算。

现有物联网终端由于设备生产商和产品型号的差异，往往采用不同的业务数据封装方式、软硬件接口的设计规范，极大地增加了物联网终端设备连接交互的难度。

针对这些非同源设备难以互联互通的问题，通过改进物联网终端的数据管理和通信机制，提供面向通信过程管理的辅助通信模组，将原物联网终端设备的通信业务管理由原设备模组的应用层转移至通信芯片协议层的嵌入式节点操作系统，通过在该操作系统内引入增强模块的形式，通过定义统一的业务数据封装，设计合理的节点数据及通信管理策略，优化节点组网和交互的过程，实现数据的智能化采集获取、传输交互和存储更新，为节点利用机器学习技术完成智能化信息处理提供通信基础，从而实现面向物端智能的开放式协作物联网络。

**3.1.7 有线/无线双模融合自组网通信技术**

有线与无线双模融合组网通信技术基于融合有线连接网络和无线传输网络实现自组网的技术。网络建设、网络质量作为物联网应用的基础设施，往往制约了具体的应用场景。设备的持续联网、数据的稳定传输，都需要优质的网络。

现有的网络基本架构下，组网面临着诸多难题。在物联网应用方面，两种网络结构经常使用，一种是端到端的IP连接，通过运营商网络从用户控制端直接到设备端；第二种是通过层次化网关将设备划分入子区域，形成域内网络并通过网关与运营商网络发生交互。随着产业升级，第一种结构逐渐因其灵活性、联动性的缺失而被淘汰，第二种网络结构成为主流。在这个结构下，应用层标准化和本地网络技术及协议成为发展的问题所在。其中，本地组网技术主要包括各种典型的无线协议，比如WiFi、ZigBee、蓝牙，以及PLC电力线载波技术。无线技术的优势是无需布线、部署灵活，干点组网传输距离长；缺点是传输受阻、角落覆盖性较差、连接稳定性弱。PLC有线电力通信属于有线通信，优点是无需布线、驱动能力与抗噪声能力强；缺点是窄带PLC数据速率较低、易受电力负戴变化干扰，基础建设落地区尤甚、弹性较低。

有线/无线的双模融合通信技术。单一通信模式无法解决通信问题的情况下，有线/无线的双模融合通信技术应运而生。该技术结合无线通信和PLC有线电力通信，支持IEEE 802.15.4g无线通信标准，支持IEEE 1901.1和IEEE 1901.2电力线载波通信技术标准，通过有线和无线互补信道、统一软件系统及IP地址的方式实现双模融合组网。该技术传输距离覆盖较广，网络覆盖范围大，具有高达2.4Mbps的理论无线传输速率和12Mbps的PLC理论有线传输速率，网络规模覆盖1000节点MESH网络，支持跳频、色调映射，扩展支持IPv6网络协议。

双模融合组网技术特点。在本地节点数量庞大的组网问题中，存在两个关键问题，一个是信号丢失与拥堵问题，另一个是噪声干扰、通信距离短、遮挡问题。双模组网具有自组网、自修复弹性网络的特点，传输距离长、范围广，抗干扰、抗噪声能力强，有线与无线无缝衔接，协议认证与互通互联，能够有效解决组网中的关键问题。

融合模式自动组网。基于双模融合的通信技术，可实现自动组网技术。非融合双模组网，即单模组网，有线组网与无线组网的结果是得到两张网络，无线有线不互补，两倍总成本。采用融合双模，得到一张网络，有线与无线互补，减少总成本，解决信号阻塞、链路终端问题，拓扑中的分级变少、路径切换与路由重组减少，减少延迟并缩短组网时间。自组网采用融合模式下的MESH网络，每个节点都是具有融合模式通信能力的设备节点构成，同时作为AP和路由，接收和发送信号，与一个或者多个对等节点进行直接通信。

**3.1.8 配电自动化相关标准**

|  |  |
| --- | --- |
| **相关标准** | **释义** |
| GB/T 13729 | 远动终端设备 |
| GB/T 14285 | 继电保护和安全自动装置技术规程 |
| DL/T 599 | 城市中低压配电网改造技术导则 |
| DL/T 634 | 远动设备及系统 |
| DL/T 721 | 配电网自动化系统远方终端 |
| DL/T 790 | 采用配电线载波的配电自动化 |
| DL/T 814 | 配电自动化系统功能规范 |
| Q/GDW 156 | 城市电力网规划设计导则 |
| Q/GDW 370 | 城市配电网技术导则 |
| Q/GDW 382 | 配电自动化技术导则 |
| Q/GDW 513 | 配电自动化主站系统功能规范 |
| Q/GDW 514 | 配电终端/子站功能规范 |
| Q/GDW 625 | 配电自动化建设改造标准化设计技术规定 |
| Q/GDW 1738 | 配电网规划设计技术导则 |
| Q/GDW 519 | 配电网运行规程 |
| Q/GDW 626 | 配电自动化系统运行维护管理规范  配电终端技术规范  配电自动化规划设计导则 |
| IEC6l 850-1(DL/T860.1) | 基本原则 |
| IEC61850-2(DL/T860.2) | 术语 |
| IEC61850-3 (DL/T860.3) | 一般要求 |
| IEC61850-4(DL/T860.4) | 系统和工程管理 |
| IEC61850-5(DL/T860.5) | 功能和装置模型的通信要求 |
| IEC61850-6(DL/T860.6) | [自动化系统](http://baike.baidu.com/view/3825899.htm)结构语言 |
| IEC61850-7-1(DL/T860.71) | 变电站和馈线设备的基本通信结构：原理和模式 |
| IEC61850-7-2(DL/T860.72) | 变电站和馈线没备的基本通信结构：抽象通信服务接口（ACSI：Abstract Communication service interface) |
| IEC61850-7-3(DL/T860.73) | 变电站和馈线设备的基本通信结构：公共数据级别和属性 |
| IEC61850-7-4(DL/T860.74) | 变电站和馈线设备的基本通信结构：兼容的逻辑节点和[数据对象](http://baike.baidu.com/view/178571.htm" \t "_blank)（DO：Data 0bject)[寻址](http://baike.baidu.com/view/1303626.htm) |
| IEC61850-8-1(DL/T860.81) | 特殊通信服务映射(SCSM：Special Communication Service Mapping)：到变电站和间隔层内以及变电站层和间隔层之间通信映射 |
| IEC61850-9-1(DL/T860.91) | 特殊通信服务映射：间隔层和过程层内以及间隔层和过程层之间通信的映射，单向多路点对点串行链路上的采样值 |
| IEC61850-9-2(DL/T860.92) | 特殊通信服务映射：间隔层和过程层内以及间隔层和过程层之间通信的映射，映射到ISO/IEC 8802-3的采样值 |
| IEC61850-10(DL/T860.10) | 一致性测试 |
| IEC 61968/61970 | 公共信息模型 |

**3.2项目研究的关键点与难点**

**关键点与难点一：如何实现基于芯片层次的智能配电终端自描述和互操作技术**

配电自动化建设过程中，由于设备厂家众多、技术水平参差不齐、软硬件接口及外围设备配置差异较大等原因，导致不同厂家的配电终端及主站之间实现互操作功能难度较大。因此，扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，按照电力规约，实现芯片层面自描述，支持配电网设备互操作，建立标准化的配电终端自描述信息模型、制定完善且适应范围广的配电终端自发现及注册机制十分必要。通过在芯片层次实现智能配点终端设备的自描述和互操作技术是本课题的一个关键点和难点。

**关键点与难点二：如何基于芯片层次自组网和协作智能技术实现配电线路拓扑自发现和即插即用**

要提升电网安全稳定运行水平，进一步提高供电可靠性。就必须要实现智能分布式FA 功能，提高故障处理功能对配电线路变更的适应性，快速实现就地故障隔离和自愈，提高供电可靠性。智能分布式FA在实现智能配电终端 “即插即用”的同时，还要能够适应多源配电线路拓扑的改变。配电线路状态适应性变化不仅包括配电线路负荷转供、线路检修等引起的拓扑变化自适应、配电线路故障发生后故障隔离引起的拓扑变化自适应、隔离成功后非故障区域供电恢复引起的拓扑变化自适应，还包含了对不同配电线路网络类型的自适应。终端拓扑运行模型的信息交互应能够实时响应配电线路开关的状态变化，实现拓扑运行信息模型的无缝切换，保证拓扑运行信息的正确性。因此，如何基于芯片层次自组网和协作智能技术实现配电线路拓扑自发现和即插即用是本课题的一个关键点和难点。

**关键点与难点三：如何在SoC芯片定制研发中更好的地实现智能分布式FA机制**

分布式FA动作迅速、定位准确，集中式FA对全网系统进行分析，能给出最优策略。在配电线路故障时刻，分布式FA启动故障隔离及恢复，并将动作信息上送配电主站，配电主站监听到故障处理信息后，监视分布式FA的动作情况并分析提出最优策略。如何在SoC芯片定制研发中实现智能分布式FA的快速动作与主站集中式FA最优策略的协同机制，支持配电终端控制、通信、边缘处理、云边协同等智能化功能，是本课题研究的一个关键点和难点。

1. **项目研究内容和实施方案**

**4.1 研究内容**

本课题开展基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术研究，从以下几个方向开展工作：

1. 扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，按照电力规约，实现芯片层面自描述，支持配电网设备互操作；
2. 通过在芯片层次自组网协议的实现，支持基于配电线路的拓扑自发现，支持即插即用；
3. 基于芯片通信和轻智能能力，实现配电线路设备本地化数据交互和智能处理等数据协作能力，支持分布式智能；
4. 研究基于协作化智能感知技术的配电终端行为模型框架；
5. 研制基于国产SoC芯片的板卡和配电终端，支持不少于12个节点规模的示范。

本课题的总体研究框架如图4.1所示：



图4.1项目总体研究框架图

**4.1.1研究芯片层次支持的自描述和互操作**

研究实现配电终端设备自描述文件的方法，适应配电物联网架构的配电终端公共信息模型框架；研究扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，支持设备自描述的便捷高效操作，支持配电网设备互操作。

#### 4.1.1.1 研究IEC61850 标准到IEC 61968标准模型映射技术

基于国产SoC芯片，研究IEC61850 标准到IEC 61968标准模型映射技术，分析IEC61850 标准与IEC 61968 标准模型在建模方法、模型描述、交互机制等方面的差异性；重点解决SCL模型和CIM模型在量测、保护模型的转换和融合，保证数据的一致性。

#### 4.1.1.2 设计电力物联数据与控制协作专用指令集

采用基于RISC-V架构的国产SoC芯片定制化技术，根据电力规约在芯片层面实现的需要，扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，支持设备自描述的便捷高效操作，支持配电网设备互操作。

#### 4.1.1.3 研究芯片支持的配电终端设备自描述文件实现

针对现有物联网场景下存在的不同设备厂商和产品型号的物联网终端软硬件接口不一致、业务数据格式封装规范不统一所导致的节点间共享信息困难，无法高效交互等问题，研究芯片支持的配电终端设备自描述文件实现。

通过定制化的国产SoC芯片，集成用于节点之间相互识别和信息交互的节点智联技术，采用标准化的数据格式标准封装格式定义，通过所提出的节点名片文件结构实现设备自描述文件，既支持形成动态的区域配电网络拓扑，又能通过上传自描述ICD文件的方式将区域配电网络拓扑信息传给配电主站，自动生成整个配网的网络拓扑；设计节点智联三个阶段的具体流程，消除终端设备型号及接口的限制，实现非同源节点之间的交互操作和数据共享，并设计实现针对物理层设备及模组的驱动管理程序。

IEC61580标准自描述ICD文件类似于网页文件，采用变电站配置描述语言（SCL）、统一建模语言（UML）和可扩展置标语言（XML）编码标准。

**4.1.2 研究基于芯片自组网能力的配电线路拓扑自发现和即插即用技术**

#### 4.1.2.1 研究配电线路拓扑自发现关键技术基于芯片自组网的实现

研究适用于配电线路拓扑自发现的静态拓扑信息模型及动态拓扑运行模型；研究动态拓扑运行模型的终端交互信息内容与机制；研究多源配电网拓扑变化的主动感知特征，提出拓扑自发现的动态拓扑分析算法；基于芯片自组网通信能力，支持在配电终端样机中实现线路拓扑自发现功能。

#### 4.1.2.2 研究配电终端自动识别和即插即用技术在芯片层次的实现

参照IEC 61968标准，基于国产SoC芯片的通信能力，研究自发现和注册原理的应答与识别机制，实现配电终端的投入与退出管理；研究服务的订阅/发布机制，实现配电终端即插即用；研究后备电源、通信模块等外围辅助设备在线维护技术，定义统一的远程维护和系统运行参数配置所需的信息交互模型；支持具备自动识别、即插即用功能的配电终端样机研制。

**4.1.3 研究基于芯片能力的配电网设备数据协作技术**

在现代电力网络中，各电力节点运行状态是重要的检测对象，包括自身状态和环境状态在内都对电力节点的运行状况产生重要影响。利用芯片自组网能力，支持配电终端设备实现边缘自组织通信，建立设备之间的数据传输通道；基于芯片对即插即用功能的支持，依托芯片轻智能能力，通过协作化智能物联技术，实现数据交互和理解基础上的数据协作能力。可支持不同厂家设备进行多源数据交互与协作，提升本地化配电网设备边缘处理和云边协同能力。

#### 4.1.3.1 研究芯片层次实现的协作化智能物联技术

基于成熟的本地化物端节点智联技术框架，通过改进终端的数据管理和通信管理，研究将网络中的通信业务管理由应用层转移至协议层底层实现的方法；研究适应电力场景的应用数据封装格式，设计高效的节点间通信协作策略，研究实现对带宽资源利用效能的最大化。

基于定制化国产SoC芯片的配电网设备，可以使用设备驱动接口与这些驱动管理程序进行交互，完成对通信过程的管理、消息报文的预取和推送，对ICD自描述文件进行自动编码，采用SD（secure digital）存储卡作为自描述文件存储介质，同时还存储故障录波、系统通信参数等配置。通过SoC芯片定制化可以实现文件系统、中断处理等模块，并将设备自描述文件用于节点交互，通过定时器中断的触发以及对应的中断处理程序或中断服务函数实现对设备自描述文件的更新。

目前节点智联技术能够支持的协议栈包括公有协议栈以及私有协议栈，公有协议栈包括WiFi以及BLE（蓝牙低能耗）等，私有协议栈指的是根据实际需要自行开发的具有同样或者类似功能的一系列协议。定制SoC芯片结合设备自描述的协议栈，共同完成数据链路层、网络层以及传输层的功能。最上层为应用层，通过对通信过程的迁移和管理，开发者针对应用层的开发省去了底层通信过程实现的细节，减少了管理开销，从而专注于应用逻辑的实现，数据协作的实现层次如下图所示。

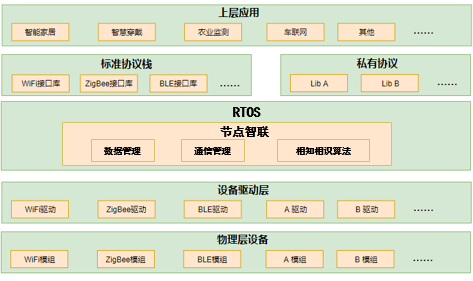
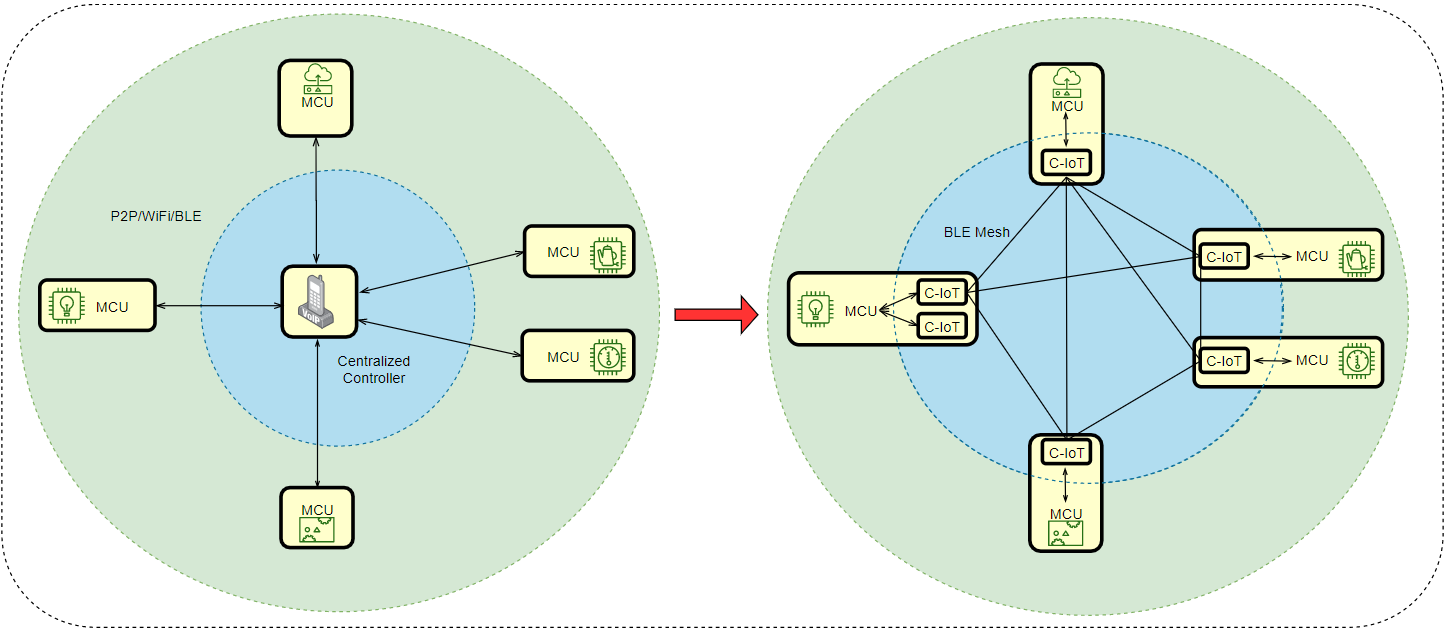


图4.2 适用于配电网设备数据协作的实现层次

本课题提出的国产化物联网SoC芯片，通过集成芯片层次实现的即插即用与设备自描述功能，实现一种去中心化的分布式设备交互方式，如图4.3(b) 所示。物联网设备终端通过改进后的通信芯片模组进行数据传输及指令交互。通过植入在通信芯片内部的协议层操作系统执行智联算法以及数据及通信管理策略，各个辅助通信模组共同构成协作物联网的节点。本地配电网的各个设备可以完成组网、入网、数据的传输与更新、身份信息及交互的交换等一系列过程。利用国产化物联网SoC芯片进行组网，在组建的新网络中进行交互和通信，将原设备模组上的数据进行交互和传输。设备原有模组和定制化芯片模组之间使用异步串口UART进行通信。



(a) 传统架构节点交互方式 (b) 分布式架构下节点交互方式

图4.3 不同架构下节点交互方式的比较

#### 4.1.3.2 研究芯片层次实现的协作化智能感知分析技术

研究协作化智能技术，提出基于芯片轻智能和通信能力的数据处理算法；提出通过结合电力场景设计与优化的算法、支持算法升级的计算单元，实现对边缘侧感知数据的本地化分类、识别与决策智能。

分析配电终端运行状态和环境状态多维、多尺度影响因素；结合运行数据和多维影响因素，提出对运行终端运行内外环境的环境感知技术；结合全生命周期数据，提出基于环境感知技术的配电终端设备运行状态分析方法，实现协作化智能感知分析技术，可用于分布式故障分析与判断。

#### 4.1.3.3 研究配电终端智能分布式FA实现技术

根据智能分布式FA的整体体系架构及技术规范，基于国产SoC芯片的轻智能和通信能力，研究基于智能分布式FA的故障定位、故障隔离及非故障区域恢复供电的分布式分析和判断方法；研究基于芯片的配电终端智能分布式FA功能的配置机制，支持开发具备智能分布式FA功能的配电终端样机。

**4.1.4 研究基于协作化智能感知技术的配电终端行为模型框架**

在已有的国产SoC芯片定制与优化技术基础上，分析智能配电终端的功能需求与配置要求、接入数据种类及数量，研究建模对象功能分解和抽象的方法；研究适用于智能配电终端的IEC 61850标准数据模型扩展方法，建立相应信息服务模型；研究智能配电终端信息服务模型映射方法。

基于采集配电终端设备生命周期运行数据与环境数据，挖掘和分析配电终端运行数据、环境数据、告警数据等信息，以电力模型和海量数据为驱动，抽象得到配电终端的行为模型框架；该框架综合设备终端的运行状态和所处环境，结合该终端单节点和其他关联节点的数据，对终端的行为状态进行研究；研究基于大数据分析和分类算法的配电终端行为判别技术。研发基于大数据分析的配电终端智能运维管理系统，实现配网终端设备设备画像分析、指标统计和缺陷全周期管理等功能。

**4.1.5 研制基于国产SoC芯片的板卡和配电终端**

在前述技术研究的基础上，研制包含国产SoC芯片的板卡，支持配电终端控制、通信、边缘处理、云边协同等智能化功能的实现；利用板卡开发配电终端样机，样机数量不少于12套，以供相关中压线路示范系统使用。

**4.2 实施方案**

**4.2.1 基于芯片层次自描述的配电网设备互操作技术**

#### 4.2.1.1 配电终端设备自描述文件的设计与实现

研究配电终端所采集信息的类别、命名和语义描述的规范，定义不同的逻辑节点来对不同的状态、电量、告警、开关位置、异常等来进行建模。根据已建立的配电终端设备信息模型，对配电物联网协议进行扩展建模，建立一次设备、二次终端设备、遥信遥测信息、保护信息关联关系。基于相关标准的建模方法及模型扩展原则建立适用于配电物联网的模型语义集与模型模式规范。

设备自描述文件设计为标准化数据格式封装的节点名片文件。非同源节点可以通过记录自身的网络状态信息及功能操作指令到一个代表自身身份信息的名片文件里，通过名片文件的分发和交互，完成节点之间的相互识别和信息交换。在各个操作系统的文件子系统中，维护一张网络节点状态信息表，记录各个节点的名片文件信息。此外，根据每个名片文件的时间戳设置定时，定期进行更新。

为了规范化非同源设备信息交互、高效传输业务数据，需要设计统一的名片文件的数据封装格式，参考IEC 61850-7部分规范的数据模型、服务以及建模方法，采用分层的、面向对象的方法对智能配电终端进行统一建模，包括：物理设备建模、服务器建模、逻辑设备建模、逻辑节点建模等。针对分布式FA中的故障定位、隔离和非故障区域恢复供电、以及配电网拓扑连接关系描述等配电自动化系统特有功能，按照IEC61850标准模型扩展准则对其相应的模型进行扩展定义，为实现配电终端的自描述功能提供基础模型支撑。

此外，为了保证数据传输的可靠性，需要在设计时留出一定的余量，这部分既包括支持用户自定义的数据类型，也包括一部分关键数据类型的冗余量，这样，即使当关键数据类型的数据信息传输过程中某一个比特位出现错误，接收端在接收到该数据时也可以做到准确纠正，保证数据格式的完备性、可扩展性以及传输可靠性。

表 1 节点名片文件设计样例

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **字段名称** | **字段代码** | **占用字节** | **说明** |
| 通信交互类 | 设备网络编号 | Node\_Num | 1B | 0-255，标识设备号 |
| 设备组网络编号 | NoGRP\_Num | 1B | 0-255，表示设备组号 |
| 设备MAC地址 | Node\_MAC | 6B | 48字节唯一MAC地址码 |
| 设备状态 | Node\_STATE | 1B | 广播/扫描/加入/退出 |
| 入网时间 | Node\_TTL | 2B | 加入网络后计时，单位为s |
| 设备优先级 | Node\_PRIOR | 1B | 0-15，数字越小优先级越高 |
| 队列长度 | Node\_BACKLOG | 1B | 多节点相识等候队列大小 |
| 已排队时间 | Node\_QUEUETIME | 2B | 待相识在队列中排队时间 |
| 加密协议 | Node\_ENCRYPT | 1B | WPA/WEP/EAP/AES-CCM |
| 路由协议 | Node\_ROUTE | 1B | 01:洪泛 10：AODV |
| 功能操作类 | 设备标识 | Node\_ID | 2B | 13位设备厂商代码  (GB12904-2008) |
| 设备大类 | Node\_Type\_1 | 1B | 设备所属类别划分  (GB35143-2017) |
| 设备中类 | Node\_Type\_2 | 1B |
| 设备小类 | Node\_Type\_3 | 1B |
| 产品型号 | Node\_Model | 1B | 厂家自定义 |
| 电子序列号 | Node\_Serial | 4B | 32位ESN码 |
| 版本号 | Node\_Version | 1B | 厂家自定义 |
| 功能指令数 | Node\_FuncNum | 1B | 厂家自定义 |
| 功能指令1 | Node\_Func1 | 4B | (举例见表格下方) |
| 功能指令2 | Node\_Func2 | 4B |
| 功能指令... | Node\_Func... | 4B/个 |
| 功能指令N | Node\_FuncN | 4B |

表4.1为节点名片文件设计样例，其中包括可替代字段，设备根据自身的功能指令对其进行替换。通常情况下，一个设备支持的功能指令个数有限（5~15），因此名片文件通常的大小为50~100 Bytes。功能指令字段也可根据配电网业务特点进行自定义，例如将功能更改为记录状态、电量、告警、开关位置、异常等信息。

#### 4.2.1.2 IEC61850 标准到IEC 61968标准模型映射技术研究

分析IEC61850 标准与IEC 61968 标准模型在建模方法、模型描述、模型封装、交互机制等方面的差异性；并结合配电网实际应用需求，参考IEC 61850-80-1规范（向IEC 60870-5-101/104标准映射方法），分析IEC61850 SCL模型与IEC 61968 CIM模型之间的关联关系，研究两类模型间的映射规则和模型转换机制；研究面向目标模型的数据封装/解析方法、一致性校验方法和模型映射方法；在此基础上，面向配电自动化系统应用，研发应用于配电自动化主站的IEC 61850标准与IEC 61968标准模型映射软件，实现IEC61850 SCL模型与IEC 61968 CIM模型语义的无缝对接与转换。

**4.2.2 基于芯片自组网能力的配电线路拓扑自发现和即插即用关键技术**

#### 4.2.2.1 基于国产SoC芯片的配电线路拓扑自发现关键技术

通过在国产SoC芯片基础上开发实现专门的配电网终端设备通信板卡，集成配电网通信规约及本地化协作智能决策模型，可以更好地支持配电线路的拓扑自发现和故障分析检测能力。基于节点协作智联技术，利用设备自描述文件结构，通过标准化的上层数据接口，使上层智能决策程序能够通过国产SoC芯片的定制化协议接口，发现本地周围组网设备，并进行网络自组织、设备自表述、数据交互及互操作等能力。

基于前述国产SoC芯片定制化工作，可以搭建本地化的配电网设备自组网与自动诊断示范系统。用于配电网设备的协作智能决策的数据应包括配电网设备的相关信息，以及配电网设备工作环境的相关信息，具体包括：

* + 1. 分析配电线路拓扑特征，包含线路具有直接电气连接的相邻节点的对象描述，信息简洁、收敛，当配电线路拓扑发生变化时，仅需修改变化点及相邻节点的模型信息，而其他节点模型则完全保持不变，更加适应配电线路拓扑的频繁改动和拓扑自发现的功能需求，同时对配电线路组网结构完全透明；
    2. 分析配电网运行模式特征，多源配电网中某一个节点其运行模式的变化直接反应在该节点供电电源点或对应联络开关的变化，根据这两个重要特征，并结合静态拓扑信息模型，共同构建能够实时反应当前配电线路运行方式的动态拓扑运行模型，作为实现配电线路自组网功能的模型基础；
    3. 基于动态拓扑运行模型，围绕供电电源点、供电路径、节点状态及节点联络开关等关键信息，定义动态拓扑运行模型的终端交互信息内容，分析配电线路拓扑运行模型的变化特征，定义动态拓扑运行模型的终端交互机制。终端拓扑运行模型的信息交互必须能够完全实时响应配电线路开关的状态变化，才能保证拓扑运行信息模型的无缝切换，保证拓扑运行信息的正确性，因此，从智能分布式FA的传输特点出发，采用“请求-确认”的报文传递机制，保证信息传输的可靠性；从拓扑信息传输的实时性需求出发，选择合适的实时、简洁底层传输协议；从拓扑信息传输的效率和通信状态变化适应性出发，采用拓扑运行状态变化多点自主传递折返法，保证传输高效和通信适应。另一方面，为了进一步保证拓扑运行模型信息的可靠性，采用定时触发的机制，作为动态触发机制的冗余备份方案；
    4. 配电线路状态适应性变化，不仅考虑配电线路负荷转供、线路检修等引起的拓扑变化自适应、配电线路故障发生后故障隔离引起的拓扑变化自适应、隔离成功后非故障区域供电引起的拓扑变化自适应，还包含了对不同配电线路网络类型的自适应。基于上述动态拓扑运行模型，分析多电源点配电线路不同运行状态下的拓扑变化特征，采用分布式拓扑计算方法，实现终端拓扑自发现。分布式拓扑计算包括供电路径及方向计算、主备电源的容量计算、电气节点距离计算等相关技术。

#### 4.2.2.2 基于IEC 61968标准的配电终端自动识别和即插即用技术

在研究配电终端自描述功能及IEC61850和IEC61968标准模型转换的基础上，开展配电终端自动识别、即插即用和远程维护技术的研究，主要包括配电终端注册/发现机制、服务订阅/发布机制、数据传输服务映射等内容。

在配电终端接入系统时，与配电自动化主站建立连接后首先进行通信环境的初始化，即配电终端的入网注册，在初始化过程中配电终端将设备自描述信息及配电终端具备的服务能力等相关信息传送至主站，配电自动化主站可以在配电终端所支持的服务项目内选择/订阅自身所需要的服务，初始化过程结束后，配电终端及配电自动化主站根据交互的结果各自生成模型配置文件，然后配电主站根据配电终端自描述文件信息更新配电自动化主站系统的图库，即可实现配电终端设备的即插即用功能，以后的通信过程中双方就按照既定的模型提供所需要的服务。

在正常通信过程中，配电自动化主站也可以与配电终端进行协商，随时申请变更配电终端的服务项目，如在配电终端的能力范围内增加服务项目或者退订之前已经订阅的服务项目等，配电终端将会根据主站的请求对服务进行修改并修改自身的配置文件，配电自动化主站也根据请求的结果修改自身的系统图库。同时考虑到配电自动化主站的需求，当有配电终端由于本身发生故障或者一次设备异动需要退出配电自动化系统时，配电自动化主站要及时发现该配电终端，并根据情况更新配网拓扑信息，发送给所有的配电终端设备，形成配电终端的退出机制，适应配电网改造、扩容及日常维护需求，实现闭环控制。

分析配电自动化系统的通信功能需求及其分析信息传输的特性，提出基于配电终端自描述数据模型的抽象通信服务接口，考虑到配电自动化主站系统的信息接入容量及通信通道的实际情况，传统IEC61850标准所使用的MMS服务及信息传送映射方法在配电自动化系统难以适用，因此需要配电自动化系统的信息交换服务及模型传输服务等功能映射到现有IEC60870-5-104/101相关功能来实现，实现配电终端自动识别、即插即用功能中的数据传输服务的安全、稳定、可靠。

分析配电终端后备电源、通信模块等外围设备远程维护需求以及与配电终端运行相关的参数远程维护需求，首先为配电终端远程维护功能建立统一的信息服务模型，然后基于统一的信息交互模型，依托配电自动化配电终端即插即用管理模块在配电主站实现对后备电源、通信设备等外围设备相关维护工作及保护定值与系统运行相关的参数进行远程修改等维护工作，以减轻运行人员的设备维护工作量。

**4.2.3 基于芯片能力的分布式智能数据交互和数据协作技术**

#### 4.2.3.1 配电网设备协作化物联技术设计实现

基于芯片能力实现的即插即用的协作化物联系统，需要解决节点相互识别与信息交换以及通信管理与数据管理两大关键问题，同时考虑系统性能与功耗的平衡。

1. **协作化物联技术智能化流程**

异构网络中，设备模组的物理层通信协议的异构性，为非同源节点、非同态节点的互通信增加了障碍。协作化物联技术在一般物联网核心通信管理基础上，以设备自描述文件为基础，增加了节点间三个智能化流程，即环境节点探测、身份信息识别和交互协同操作。节点智联算法是协作化物联网技术智能化的重要体现，同时为配电网设备的本地即插即用与数据协作提供了技术基础。

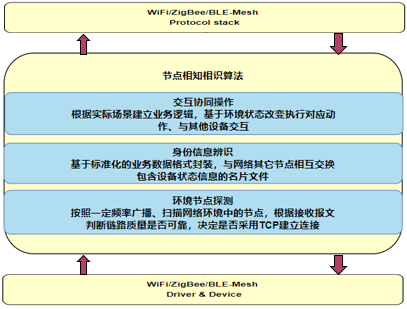


图4.4 节点相知相识智能化流程

环境节点探测阶段，是实现节点连接建立、节点上下线、故障节点上下线的策略。完成环境节点探测后，身份识别阶段是各个节点利用身份标记身份标记对格式化规范描述的节点信息进行交换以识别节点信息。完成前两个阶段的连接后，节点之间的数据才能进行交互协同的操作，比如数据共享。

三个阶段流程图如下：

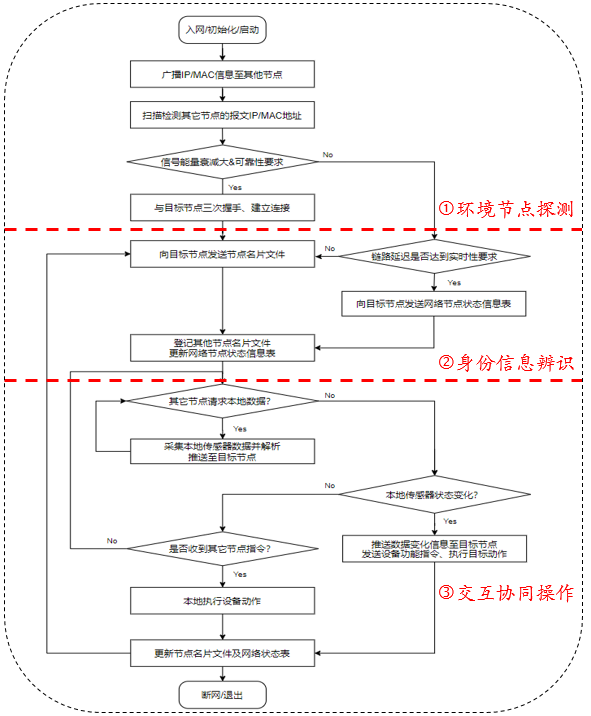


图4.5 协作化智联节点智联算法流程

三个阶段具体如下：

**环境节点探测阶段。**检测环境中其他节点的通信状况，广播和扫描通信地址信息构建网络拓扑，记录在网络节点状态信息表中。链路质量判断，依据是链路状态的统计信息。对于新加入或者重新回到网络中的节点，如果该节点没有网络状态信息表，则在与其他网络内节点通信时，从网络内节点获取网络状态信息并做缓存，依据时间戳更新。实现配网终端设备的在线报文调试、定值管理、台帐维护以及运行状态查询统计功能，提升终端接入效率，实现配电终端从测试接入到设备运行管理的全节点可观可测。

**身份识别阶段。**节点需要掌握其他节点更多的信息，以能解析其数据报文。本发明利用“名片文件”对这一部分信息进行格式化规范描述。具体的名片文件设计见节点名片文件设计一节。网络中的名片文件是互传的，每个节点都存储一张网络节点状态信息表，表中的名片文件为对应类型节点数据报文的解析依据。实现配电终端设备的设备画像分析、指标统计功能，对配电终端的运行特性以及健康状态进行准确、全面地评估，形成多类信息融合，实现全过程运行数据标签化分析。

**交互协同操作。**数据处理策略上分为主动推送和被动请求两种数据交互的合作方式，同时面向数据和指令两种对象。对象为数据：主动推送方式，在本地传感器数据发生变化时，将数据化信息推送至可能需要的目标节点；被动请求方式，当其他节点需要本地数据时，采集本地传感器数据并解析推送至目标节点。对象为指令：执行接收其他节点的指令，根据上层控制向目标节点发送指令。每次完成处理动作后，更新节点名片文件和网络状态表。实现终端缺陷管理功能，协助业务人员及时准确地发现终端缺陷，实现全流程线上业务流转，提升办公效率。

1. **协作化节点智联技术的算法优化**
2. **节点本地化数据协作策略**

在完成节点互联后，节点间的数据共享策略，是为了实现其他节点对本地数据的需求而设计的管理策略。当本地节点需要其他节点的数据时，向该节点发送相关的数据请求。当本地配电网设备节点收到其他节点的数据请求时，则采集本地传感器的实时数据并解析，将解析后的数据推送至发出请求的节点。当传感器采集数据发生变化时，系统缓存的身份标记会随之更新，并根据设计好的规则，将更新后的数据提前推送至目标节点。

1. **基于统计信息的消息预取及推送**

基于统计信息的消息预取及推送，对于网络中的某个具体节点，基于数据生产者的角度，节点作为数据的提供者，通过自身所配置的传感器感知环境数据，可以基于统计信息将数据推送至其它节点；基于数据消费者的角度，节点执行动作或者做出决策任务还依赖从其他节点获取到的数据，可以基于统计信息进行提前预取。

通过面向日志与消息记录的统计信息，可建立网络节点关联度列表，通过分析过去一段时间内网络各节点的历史消息推送记录，计算节点之间的关联度列表；当节点向网络中某服务方节点发出数据请求后，通过分析网络服务方节点关联度，也会向网络中与该服务方节点关联度较高的其它服务方节点发出数据请求；当节点收到网络中某需求方节点发来的数据请求后，通过分析网络需求方节点关联度，向从而选择相似度高的消息请求，预取出来，实现消息的预取推送。基于统计信息的消息推送具体策略描述如下：

**建立关联度列表**。第一步，建立网络需求方节点关联度列表和网络服务方节点关联度列表。统计如下表的网络节点消息推送次数统计表：

表4.2 网络节点消息推送次数统计表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 预取节点  推送节点 | Node 1 | Node 2 | Node 3 | … | Node *N* |
| Node 1 |  | *C*12 | *C*13 | … | *C*1*N* |
| Node 2 | *C*21 |  | *C*23 | … | *C*2*N* |
| Node 3 | *C*31 | *C*32 |  |  | *C*3*N* |
| … | … | … |  |  | … |
| Node *N* | *CN*1 | *CN*2 | *CN*3 | … |  |

将节点身份区分为预取节点和推送节点，对于节点的某一种身份，从表中可以获得其消息推送次数的特征向量，通过相同身份的特征向量之间的距离（例如余弦相似度），得到两种身份下的节点关联度列表。

表4.3 网络需求方节点关联度列表和网络服务方节点关联度列表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 节点2  节点1 | Node 1 | Node 2 | Node 3 | … | Node *N* |
| Node 1 |  | *D*12 | *D*13 | … | *D*1*N* |
| Node 2 | *S*21 |  | *D*23 | … | *D*2*N* |
| Node 3 | *S*31 | *S*32 |  |  | *D*3*N* |
| … | … | … |  |  | … |
| Node *N* | *SN*1 | *SN*2 | *SN*3 | … |  |

**关联度信息的分发。**完成关联度计算任务的节点，该节点将其他节点需要的关联度信息分发，从而使每个节点均获取到网络中其他节点数据的需求关联度和推送关联度。

**关联度信息的利用。**应用基于统计信息的消息预取及推送算法之前首先根据消息预取及推送的历史记录计算节点间的需求关联度和服务关联度。当节点向网络中某服务方节点发出数据请求后，通过分析网络服务方节点关联度，也会向网络中与该服务方节点关联度较高的其它服务方节点发出数据请求。同理，当节点收到网络中某需求方节点发来的数据请求后，通过分析网络需求方节点关联度，向从而选择相似度高的消息请求，预取出来，让网络节点可以将一部分数据和指令提前获取，当后续任务执行过程中产生真正的数据或指令需求时既可直接使用，降低任务处理耗时，提高工作效率。

1. **配电终端本地节点数据存储策略**

配电终端节点的本地数据存储策略面的对象有两个：身份标记和指标数据。“身份标记”是对用于节点身份判断的信息进行规范描述的数据，将节点通信所需的源地址、目的地址、校验位、数据包长度、节点设备类别、节点优先级和节点支持的功能操作信息等字段按照一定顺序封装为类或者结构体形式的数据集合。指标数据的存储策略，其存储对象是配电网设备本地节点和网络中相关节点的运行状态和环境指标数据，数据来源为各检测传感器数据及数据融合后的结果。采用FIFO先入先出队列，根据时间先后顺序进行数据存储，保证了数据存储的规范性和读写性，软硬件协同优化数据存储和读取速度，实现性能的提高与功耗的管控。

1. **配电终端低功耗的通信唤醒策略**

物联网节点行为数据在系统中最简单的存在形式就是日志。系统在运行过程中都产生大量原始日志，每一条记录表示一次用户行为和对应的服务。比如光照强度、温度、湿度、节点工作状态、节点移动速度等，每一次服务请求和应答都会生成一个展示日志，其中记录了查询和返回结果。不同的节点对不同的业务信息请求频率和响应频率是不同的，必然有高频率的请求响应和低频次的请求响应，即不同节点间的联系紧密程度是不同的，如果各节点能够对自身的请求和被请求记录进行阶段性记录和分析，就能够发现不同节点之间的行为联系。

1. **配电终端设备全生命周期运行数据采集**

配电终端设备全生命周期数据信息量大、种类多，设备内部数据主要从设备基本数据信息和设备运行信息，设备外部数据包括设备运行环境数据，从内外两个角度来采集设备全生命周期数据。设备内部数据中，设备基本数据主要包括设备编码、额定电压、额定电流、极限功率以及运行环境等；设备运行数据主要包括开关动作次数、设备上报信息、接受下发指令信息、运行温度等。设备外部数据面向设备运行环境数据，主要包括设备运行外部温度、湿度、天气状况等等。然后构建包含设备上线、设备调试、设备运行、设备维护以及设备下线的设备全生命周期运行状态数据体系，为设备全生命周期运行管理、协作化智能提供数据基础。

#### 4.2.3.2 配电网设备协作化智能感知技术研究

**配电动化终端运行状态多维影响因素分析。**从配电终端设备运行角度，构建包含设备运行状态信息以及设备环境信息的配电自动化设备状态多维影响因素。利用多传感器，包括温湿度传感器、浸入式传感器、振动传感器、漏电传感器、电流/电压传感器、压力传感器、磁力传感器、水浸传感器等，以及其他如红外、RFID、GPS、视频等作为采集方式。设备运行状态影响因素主要包括电压信息、电流信息、设备漏放等，设备环境信息影响因素主要包括设备运行周围环境温度信息，湿度信息、电磁辐射强度等。

**基于环境参数时间序列的配电网设备故障识别方法。**通过基于协作化物联的通信及协同数据管理策略，获取配电网设备节点所在网络环境中的感知设备数据，为对这些环境参数序列进行分析，提出一种基于环境参数时间序列的配电网设备故障识别方法。结合稀疏自编码器SAE模型的强感知特点与LSTM长短时记忆网络在时序相关信号分析上的优势，训练一种自适应深度神经网络进行故障概率预测。利用傅立叶系数，梅尔频率倒谱数据和小波特征（既具有频率分辨率又具有时间分辨率，适合于分析具有动态频谱的信号）作为输入，利用栈式稀疏自编码器SSAE（Stacked Sparse Auto-Encoder）提取高维稀疏特征，使用主成分分析将特征数量限制在合理的范围内，信息压缩和融化得到融合的特征矩阵，再作为LSTM网络的输入进行故障的分类。另外，还提出一种使用基于图的电力数据融合方法，同时使用基于RNN和LSTM序列分析方法进行异常检测。

**基于模糊逻辑和专家系统的配电网设备健康状态检测/寿命预测方法。**结合了配电终端监控值的已知限制（例如，操作次数，接触电阻，气体温度）来开发模糊专家系统，以及无监督的学习算法（例如，k均值和分层聚类）形成与配电网设备故障概率相关的数据簇。最后，使用相同的输入来训练可预测配电网设备寿命的神经网络。当预测到当前配电网设备节点寿命低于给定的安全阈值时，利用基于统计信息的消息预取及推送策略，提前主动将故障信号和异常信息推送到其他节点，辅助其他节点进行状态监测和故障识别。当当前配电网设备节点一直处于健康状态时，数据主动推送的周期间隔也随之延长，以减少节点功耗，提高续航时间。

**基于环境感知技术的深度挖掘的配电终端缺陷特征分析方法。**通过研究配电终端失效、缺陷的原因和规律，建立配电终端健康状态的多维度影响因素体系，揭示设备运行方式、运行工况、健康历史、家族缺陷、环境变化等因素影响终端健康状态的作用机理，研究影响配电终端状态缺陷的关键环节；然后，凝练针对交流测量系统、直流操作系统、电源系统、信号系统、通信系统及二次回路等各类配电终端的多维度特征指标，包括温升、硬件资源使用率、通信时延、通信丢包率等；建立多维缺陷影响因素与多维特征指标体系之间的映射关系；最后，研究以数据挖掘技术，分析通信、环境、电气、状态等多元信息，对数据进行辨识、组织、分析，以查找稳定的配电终端失效规律和缺陷产生规律。

#### 4.2.3.3 配电终端智能分布式FA实现技术研究

根据智能配电网的需求，研究智能分布式FA所采用的故障定位、故障隔离、非故障区域供电恢复的分布决策算法，并对算法的鲁棒性展开研究，提出该算法可靠性的技术措施和保障；具备智能分布式FA功能的配电终端通过光纤通信网络，与同一供电环路内相邻配电终端交互故障信息、开关位置状态信号、跳闸成功、开关拒动等信息。配电线路上发生短路故障后，分布式FA启动分布决策判断逻辑，快速进行故障定位、故障隔离，非故障区域恢复供电，处理时间在毫秒级。智能分布式FA终端能够根据分布决策算法自动实现故障定位、故障隔离，非故障区域恢复，并针对不同的馈线保护和一次设备，具备相应的动作机制，不依靠主站的集中式FA，做到快速故障隔离及自愈，缩短停电时间，提高供电可靠性。分布式FA终端能够实现FA功能投退，能够生成FA保护动作信号，并上传配电自动化主站，并对瞬时性故障、通信异常、开关拒动、保护故障信号误报或漏报做预案处理。

图4.6 具备智能分布式FA的配电终端实现技术路线图

研究满足分布式FA功能和性能要求的硬件架构和软件结构，形成具备智能分布式FA的配电终端软硬件架构体系；硬件设计应用数字信号处理器（DSP）、RISC微处理器（MCU）、大规模现场可编程逻辑阵列（FPGA）等，具有强大的数据处理与存储能力。接口电路模块化、标准化、规范化，可根据工程需要灵活选配。设计高输入阻抗、弱模拟信号输入接口电路与数字采样值输入接口电路，实现电压电流传感器、数字互感器的接入。软件设计采用层次化、模块化的结构，使用开放式实时多任务操作系统。应用程序通过API（应用程序访问接口）访问底层资源和数据，实现数据与应用的分离。支持动态加载、卸载应用程序，可方便地扩展新的应用功能与通信规约，支持分布式FA决策算法。研究配电终端智能分布式FA功能的配置机制，实现分布式FA的灵活配置。

基于上述研究工作，研制出基于智能分布式FA的配电终端，具备分布式FA的配电终端实现技术，提出智能分布式FA的整体体系架构及功能规范。

**4.2.4 基于协作化智能环境感知技术的配电网终端行为模型框架设计**

**设备协作化智能环境感知技术下的电力环境及配电网终端行为模型。**通过电力网内传感器采集配电网设备所在电力网内部环境，通过外部传感器采集配电网设备所在实际物理环境，结合信号语义，对配电网设备内外环境进行建模，用以判断配电网设备工作状态与工作环境特性，提供突发事件预警、故障预测、寿命监控等功能。其从传感器采集到决策以及其他功能实现的整体处理流程图如图 4.6所示。

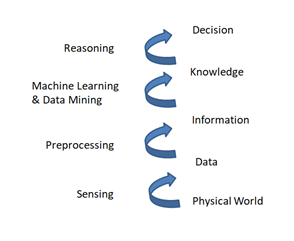


图4.7 配电网设备环境感知和决策流程图

行为模型具体包含以下几个方面：

**配电终端失效行为的多维度影响因素与特征指标体系之间的映射关系。**深入现场调研配电终端的失效情况，构建配电终端失效规律的影响因素体系，揭示设备运行方式、运行工况、健康历史、缺陷、环境变化等因素影响配电终端失效的作用机理，研究影响配电终端物理失效及局部模块功能失效的关键环节；结合交流测量系统、直流操作回路、电源系统、信号系统、通信系统等各类软硬件功能模块的失效现象，追忆配电终端失效前特定时间段内的包括设备温升、硬件资源使用率、通信时延、通信丢包率等相关因素的变化趋势，挖掘分析特定配电终端失效现象与影响因子之间的映射关系。

**基于物理信息融合的配电终端缺陷自诊断技术。**研究本地配电终端状态实时智能监测技术，基于本地采集的终端运行信息、终端环境信息，结合终端缺陷规律、终端缺陷指标，进行快速计算处理，研究配电终端状态监测技术实现对终端状态的实时监测。研究配电终端故障处理技术，对实时监测异常终端进行处理。

**配电终端缺陷特征指标体系与自诊断的传导模型。**通过分析影响配电终端健康状态的多维度缺陷特征指标体系（如温升、硬件资源使用率、通信时延、通信丢包率等）与自诊断模块之间的一一对应关系，从时间维度、空间维度、对象维度建立配电终端缺陷特征指标体系与自诊断的传导模型。

设计配电终端状态缺陷多维度综合自诊断模型，综合考虑设备诊断成本、配电网运行风险成本和维护成本并以综合费用最小作为全局优化目标，从终端间交互诊断、通信资源、配电网安全等方面量化约束条件；综合考虑计算速度、资源占用等因素，合理选取遗传算法、蚁群算法、禁忌搜索算法等具有避免陷入以局部最优收敛于全局最优能力的优化算法，为配电终端多维度综合自诊断计算提供最优决策，从而为配电终端状态检修提供模型支持。

为了实现以上行为模型，还需要实现**适应电力网环境的边缘计算的神经网络技术。**以下是具体的实现方案。

**——在本地部署边缘计算协作化智能模型的流程。**嵌入式系统中的智能通常使用MCU、DSP以及低功耗的MPU，来运行轻量级的智能模型，或者更复杂系统的前级处理，并在精度与算力上合理取舍。在边缘侧部署机器学习模型的工作分为PC端和设备端两部分，前者完成建模与训练、模型的转换与量化，以及模型部署的上位机工作如模型与工程的合并、数据的下载等，并支持远程升级，对本地存储数据和模型进行调整，部署新的计算方法，减少配电网设备的更换成本；后者将智能模型与其他模块对接，收集输入数据并运行模型完成推断。

**——稀疏LSTM硬件架构。**协作化智能涉及对时间序列的处理，无论是RNN还是LSTM模型都涉及到大量的矩阵乘法和向量乘法运算，会消耗大量的硬件计算资源和带宽。为了实现硬件加速，通过剪枝算法去除影响较小的权重。

**4.2.5国产SoC芯片定制实现与应用研究**

在开源RISC-V架构基础上扩展了边缘智能指令，主要是配合边缘侧轻智能协处理器扩展的RISC-V指令集，针对设备自描述相关的名片数据结构处理单元，设计设备名片注册、数据关联注册、设备决策推送指令等专用指令，这些非标扩展的部分属于自主处理器架构内容。

#### 4.2.5.1 国产SoC芯片简介

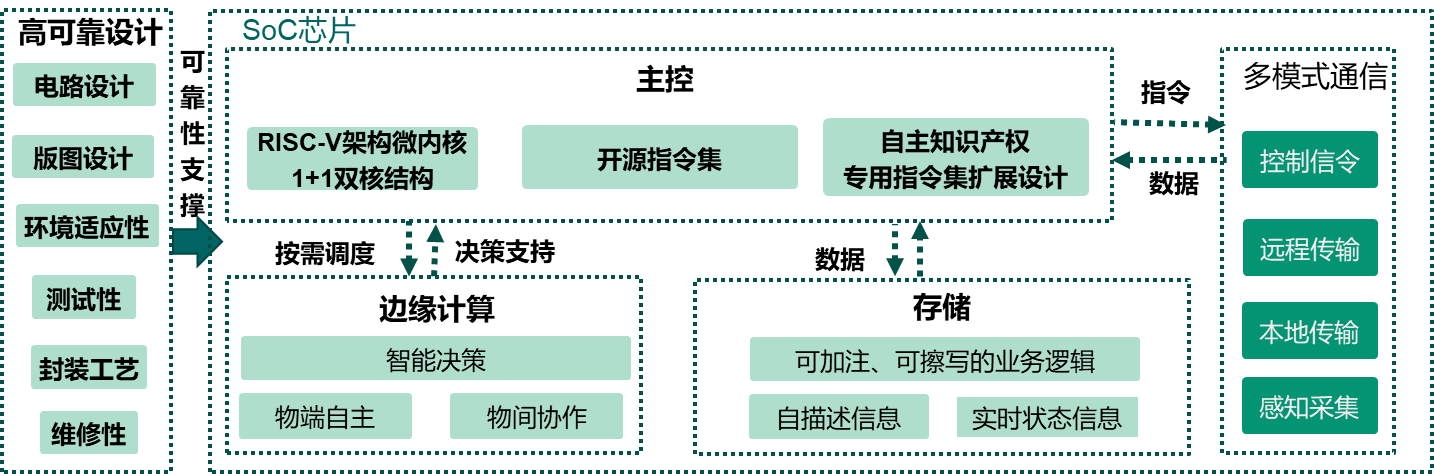


图4.8 工业级高可靠多接入边缘计算基带SoC芯片

该SoC芯片包含主控、通信、存储、边缘计算等部分，采用高可靠设计。

该SoC芯片设计目标工作频率为400MHz，可通过Jtag接口进行CPU调试。该CPU采用精简指令集计算(RISC)原理建立的开放指令集架构(ISA)，RISC-V是在指令集不断发展和成熟的基础上建立的全新指令。RISC-V指令集完全开源，设计简单，易于移植Unix系统，模块化设计，完整工具链，同时有成熟的开源实现和流片案例。

芯片还提供了丰富的外部接口电路模块，包括PWM、I2C、RS485、Uart、SPI等。

#### 4.2.5.2 软件系统

基于国产SoC芯片的配电网设备通信模组，其软件部分基于RISC-V指令集基础上的Linux软件系统上进行开发。

软件系统组成包括：

1）Linux操作系统内核，可实现eCos系统的功能。

2）设备驱动，负责外部接口的设备驱动程序管理。

3）各级应用程序，包括系统和各级初始化程序，无线、有线双模融合组网通信模块协议层数据通信解析，协作/决策处理，中断处理程序等。

作为一个源代码公开的操作系统，Linux在具体应用中稳定可靠，可扩展性强，功能强大。特点如下：

1）具有可配置性、可裁减性和可移植性，其主要技术特色是具有功能强大的配置系统，可以在源码级实现对系统的配置和裁减。

2）在具备高性能的运算能力的同时，支持TCP/IP协议栈，便于与GUI以及多种外设连接扩展，简化了硬件设计，维持小型化的同时降低了系统成本。

综合以上，结合芯片在该系统可实现的工作如下：无线、有线双模融合组网通信模块协议层协作数据与通信管理；协作化智能处理实现不同设备节点间的数据共享与交换、边缘侧协作化智能决策；外围存储器接口控制和数据访问，存储器的初始化配置、工作模式配置、工作控制；外设接口收发帧数据操作；此系统包含的USB高速外设接口以及传统RS485、Uart、SPI、I2C等低速接口的通讯和控制；以及其他数据输入输出AD/DA电路控制和配置功能。

软件架构图如下：

图4.9 软件架构图

#### 4.2.5.3 国产SoC芯片应用

该款国产SoC芯片适用于国内主要配电终端厂家的系列配电终端，支持数据采集、关键参数配置、常规数据读取等功能，主要在配电终端的现场维护调试方面，实现即插即用和数据实时处理。操作方便运行稳定可靠、避免维护人员设置参数时出错。

SoC芯片配置到配电终端中，分为四大功能模块：应用服务功能模块、公用组件模块、数据管理模块、通讯模块。公用组件模块主要是出于设计层次结构考虑，将应用服务功能的公用资源抽象化、组件化，减少软件开发维护成本；数据管理模块主要实现维护软件各种数据、文件的定义、管理，是软件应用服务功能的数据基础，也是系统各主要功能模块的主要接口定义 ；通讯管理模块主要实现软件的通信服务功能，包括各通信通道的控制，通信协议及报文的处理，通信数据分析、加密等。

本项目拟基于国产SoC芯片，开发核心板卡和配电终端，形成12套样机，支持不少于12个节点规模的中压线路示范。

**4.3 项目主要创新点**

**预期创新点一：扩展电力物联数据与控制协作专用指令集**

基于RISC-V架构，根据电力规约在芯片层面实现的需要，扩展电力物联数据与控制协作专用指令集，支持设备自描述的便捷高效操作，支持配电网设备互操作。

**预期创新点二：提出基于芯片协议层定制化的自描述实现方法**

项目基于国产自主可控物联网SoC芯片，结合协作化物联技术，创新地提出了基于芯片协议层定制化的自描述技术实现方法，将多种配电网通信规约与芯片协议层进行集成，可扩展智能分布式FA设备的适用性。

**预期创新点三：提出基于数据协作的智能分布式FA机制**

项目基于芯片层次的通信和轻智能联合优化，创新地提出了配电网设备间本地化数据协作解决方案，可以为智能分布式FA系统提供更加丰富的数据来源，提升本地化智能分布式FA系统的实时性能。

1. **预期目标和成果形式**

**5.1 预期目标**

**1）项目研究方面**

1. 基于国产SoC芯片扩展指令集等定制化工作，研究基于芯片的自描述和互操作，赋能配电终端，实现配电终端点表免维护、拓扑自发现、“即插即用”的安装、调试及运维，解决配电终端运维工作量大的突出问题。
2. 基于国产SoC芯片能力，赋能配电终端拓扑自发现和边缘数据协作能力，支持实现智能分布式FA分析判断功能，提高故障处理功能对配电线路变更的适应性，快速实现就地故障隔离和自愈，提高供电可靠性。

**5.2 成果形式**

**1）研究报告**

1. 《基于芯片自描述的配电终端即插即用技术研究报告》；
2. 《基于芯片轻智能和通信能力的智能分布式FA分析判断技术研究报告》；

**2）论文专利及软件著作权**

1. 申请软件著作权1项，申请专利6项，其中申请发明专利不少于4项；
2. 发表核心期刊论文3篇，其中EI检索不少于1篇；

**3）系统装置**

1. 基于国产SoC芯片的配电网设备板卡一套；
2. 研制配电终端样机12台。

**4）示范应用类**

计划结合江北新区智慧能源互联网及电力设备物联网示范区建设，选择一条中压线路，实现基于国产SoC芯片研制的、具备自描述与互操作能力的配网终端成套化设备示范应用，规模不小于12个节点。通过部署国产SoC芯片应用落地示范，推动配电网设备云边协同能力的提升，实现配网业务能力的灵活定制与迭代升级的便捷化，完善示范区建设的重要环节，验证国产化SoC芯片的典型电力场景应用，为南京公司能源互联网示范区的建设提供基础硬件支撑。

**5.3 技术指标**

研制的配电终端应达到以下技术指标：

1. 研制具备自描述功能、即插即用技术以及自组网能力的配电终端，其完成一次自动注册及识别的时间应小于30s，服务模型传输时间应小于3s；
2. 配电终端在收到配电主站最新的服务模型后，自动按照新的服务模型提供服务，其转换时间应小于10s；
3. 配电终端对等通信故障信息交互报文延迟时间≤20ms，故障上游开关隔离策略形成时间≤200ms，分布式FA信号上送主站时间≤3s。
4. **项目承担单位的条件**

**6.1 项目负责人**

陈冰冰，男，1983年1月生，高级工程师，硕士研究生学历。长期从事电网运行检修管理，参与南京供电公司江北、溧水区域物联网与智慧运检示范区等工程建设，负责或参与多项网省公司重大科技项目攻关，获省公司级科技进步奖多项，发表论文多篇，主要参与编写著作2部，授权发明专利8项。

**6.2 项目研究人员**

表6.1 人员情况及分工

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **姓名** | **年龄** | **职称** | **专业** | **承担的主要工作** | **投入**  **月数** | **单位** |
| 1 | 陈冰冰 | 37 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 方案设计 | 8 | 南京供电公司 |
| 2 | 何萍 | 39 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 3 | 刘国锋 | 37 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 4 | 吴辉 | 43 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 5 | 王徐延 | 37 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 6 | 陈建坤 | 38 | 高工 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 7 | 朱正谊 | 33 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 8 | 张璨 | 31 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 8 | 南京供电公司 |
| 9 | 葛夕武 | 38 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
| 10 | 陈键 | 28 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
| 11 | 史晓宇 | 27 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |
| 12 | 陈云帆 | 30 | 工程师 | 电力系统及其自动化 | 项目实施 | 10 | 南京供电公司 |

南京供电公司参与人员均为电力调度控制中心、运维检修部等各职能部室的业务骨干，**来自于“城市智能配电网规划、优化运行”科技攻关团队**，长期从事电网调度控制工作和配电自动化系统建设、维护、运行工作，熟悉南京配电自动化系统的运维管理工作，全面参与并负责公司电网调度、监控及配电自动化试点项目主站系统建设与运维工作，项目组人员配置齐全，具有较好的团队精神及技术素养。

**6.3 实验室条件**

南京公司现拥有**“城市智能配电网规划、优化运行”、“终端通信接入网技术研究及应用”**2个省公司科技攻关团队，在智能配用电技术、终端通信接入网技术等方面，长期跟踪调研国内外技术发展动向，及时全面总结智能配用电、配网调度、配电自动化、配网信息采集、配电GIS等方面已取得的理论研究和生产实践的成功经验和成果，居国内领先水平。公司为相关技术研究打下了较坚实的技术和人才基础，取得了一定的理论和实践经验，具有较为雄厚的技术力量和较高的技术水平。

**6.4 理论研究环境**

江苏省电力有限公司南京供电分公司是国有特大型供电企业，担负着南京市11区的供电任务。南京公司拥有丰富的供用电生产运行和设备管理经验，多次承担并圆满完成省部级重点科技项目。建成了配电网自动化管理系统、GIS系统、PMIS系统、营销自动化系统、配变监测等自动化系统；建成了IEB数据总线，具备大型跨专业的系统集成能力。建成了南京供电公司科技大楼微网综合能量管理系统，开展了了智能园区示范工程建设，“南京电网规划国际咨询”等项成果先后获得中国电力科学技术和国家电网公司科技进步一等奖；南京供电公司“配电网管理系统”获得国网公司科技进步一等奖；在省公司领导下完成了国网公司总部项目“基于供电可靠性的配电网规划研究”、“大用户智能用电信息互动技术研究与应用”，所获成果居国内领先水平，在智能电网方面取得了一定的理论和实践经验。

近年，南京供电公司还牵头负责863课题“智能配电网优化调度关键技术研究”、国家重点研发计划“分布式光伏系统智慧运维技术研究”，参与“柔性直流输电在城市供电中的研究与应用”、“基于先进能效管理的智能微电网关键技术研究与示范”三项国家863课题研究。牵头承担“具备配电线路自组网能力的智能配电监控终端技术研究”、“含多元微负荷的城市配电网柔性调控关键技术及其应用”等多项国网公司总部科技项目，在智能配用电技术研究和实践方面，长期跟踪调研国内外技术发展动向，及时全面总结智能配用电、配网调度、配电自动化、配网信息采集、配电GIS等方面已取得的理论研究和生产实践的成功经验和成果，为技术体系的建立打下了较坚实的基础，具有雄厚的技术力量和较高的技术水平。

南京供电公司电力调度控制中心、运维检修部相关科技攻关团队人员，长期从事电网调度自动化终端及主站系统维护工作，全面参与并负责公司配电自动化试点项目主站系统建设工作，项目组人员配置齐全，具有较好的团队精神及技术素养。熟悉重大科技项目运作及管理流程，具有雄厚的技术力量和较高的技术水平，能够保证项目的圆满完成。

1. **项目的进度安排**

表7-1 项目进度安排

| 序号 | 时间段 | 内容 |
| --- | --- | --- |
|  | 2021.1-2021.3 | （1）项目调研、收集资料：对课题涉及的智能分布式FA及配电终端即插即用和互操作技术发展、关键理论、技术展开调研、深入研究，了解国内外技术发展现状及技术发展趋势，编制调研报告；  （2）编制课题总体实施方案，确定总体研究框架，指导课题的总体研究和开发，确定芯片总体技术指标。  **阶段性考核：**  （1）形成调研报告；  （2）形成项目实施总体方案。 |
|  | 2021.4-2021.6 | （1）研究在芯片层次实现的配电终端建模方法及模型描述方法；  （2）研究基于芯片层次配电网设备自描述的分布式数据交互技术；  （3）研究智能分布式FA的故障的定位、隔离和供电恢复方法；  **阶段性考核：**  提出配电终端芯片层次设备建模与描述方法； |
|  | 2021.7-2021.9 | （1）研究在芯片层次实现的配电线路拓扑自发现技术及拓扑变化的感知方法与分析算法。  （2）研究在芯片层次实现的智能分布式FA 的算法及其在配电终端实现技术。  **阶段性考核：**  （1）申请发明专利1项；  （2）发表论文1篇。 |
|  | 2021.10-2021.12 | （1）研究在芯片层次实现的配电终端自动识别、即插即用和远程维护技术；  （2）研究在芯片层次实现的智能分布式FA 与配电主站的交互机理。  **阶段性考核：**  （1）形成支持自描述、自动识别、即插即用互操作功能等的配电终端设计方案；形成具备智能分布式FA功能的配电终端设计方案。  （2）申请发明专利1项； |
|  | 2022.1-2022.4 | （1）在国产芯片上实现配电终端的自描述功能；  （2）研究基于组态技术的配电终端灵活配置方法；  （3）研究基于协作化智能感知技术的配电终端行为模型框架。  **阶段性考核：**  （1）提出芯片层次设备自描述和文件设计方法、形成芯片层次通信规约设计方案；  （2）申请发明专利1项；  （3）发表论文1篇。 |
|  | 2022.5-2022.8 | （1）研究具备配电线路拓扑自发现能力的配电终端实现技术；  （2）研究配电网设备分布式智能系统芯片设计与实现  （3）制具备自动识别、即插即用及智能分布式FA功能的智能配电终端；  （4）研发基于组态技术的配电终端配置工具。  **阶段性考核：**  （1）《基于芯片自描述的配电终端即插即用技术研究报告》；  （2）研发出IEC 61850标准与IEC 61968标准模型映射转换模块；  （3）智能配电终端样机；  （4）申请实用新型专利1项，申请软著1项；  （5）发表论文1篇。 |
|  | 2022.9-2022.12 | （1）完成样机的调试及测试，并开展示范应用。  （2）准备项目验收材料，对各类软件、装置、论文、专利、报告进行完善。  **阶段性考核：**  （1）《基于芯片轻智能和通信能力的智能分布式FA分析判断技术研究报告》；  （2）申请发明专利1项，实用新型专利1项。  （3）提交项目验收系列支撑材料。 |

**八、项目经费预算**

表8.1 项目经费预算总表

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算金额** | **甲方拨款** | **乙方自筹** | **备注** |
| **（一）直接费** | 159 | 159 |  |  |
| 1.人工费 | 82 | 82 |  |  |
| (1)专职研究人员费 | 70 | 70 |  |  |
| (2)临时性研究人员费 | 12 | 12 |  |  |
| 2.设备使用费 | 0 | 0 |  |  |
| (1)现有仪器设备使用费 | 0 | 0 |  |  |
| (2)现有软件使用费 | 0 | 0 |  |  |
| 3.业务费 | 57 | 57 |  |  |
| (1)材料费 | 27 | 27 |  |  |
| (2)资料费 | 2 | 2 |  |  |
| (3)印刷出版费 | 2 | 2 |  |  |
| (4)专利与知识产权事务费 | 6 | 6 |  |  |
| (5)会议费 | 5 | 5 |  |  |
| (6)差旅费 | 15 | 15 |  |  |
| (7)培训费 | 0 | 0 |  |  |
| 4.场地使用费 | 4 | 4 |  |  |
| (1)场地物业费 | 0 | 0 |  |  |
| (2)场地使用租金 | 4 | 4 |  |  |
| 5.专家咨询费 | 6 | 6 |  |  |
| **（二）间接费** | 25 | 25 |  |  |
| **（三）外委支出** | 10 | 10 |  |  |
| 1.外委研究支出 | 0 | 0 |  |  |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 | 0 |  |  |
| 3.外协测试试验与加工费 | 10 | 10 |  |  |
| **（四）税金** | 16 | 16 |  |  |
| **合计** | 200 | 200 |  |  |

**附件1 仪器、设备使用预算明细表（单价5万元以上）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **设备**  **名称** | **设备**  **型号** | **单　价**  **(万元/台件)** | **数量（台件）** | **总价** | **生产国别与地区** | **隶属单位** | **设备状况及主要性能指标** | **购置时间** | **使用费计取单价** |
|  | 无 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **累计** | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**附件2****材料费预算明细表（总价5万元以上的材料）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **材料名称** | **规格或型号** | **计量单位** | **单 价**  **（万元/单位数量）** | **材料费用** | **经费列支** |
|  | 无 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **总价5万元以上材料合计** | |  |  |  |  |  |
| **其他材料** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  |  |  |

注：表中应包括：材料原价、供销部门手续费、包装费、运杂费、采购及保管费等内容。

**附件3外委研究支出预算明细表 单位：万元**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **协作研究任务名称** | **协作研究任务内容** | **协作研究任务承担单位** | **经费列支** |
|  | 无 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 累 计 | | | |  |

**附件4 外协测试试验与加工费预算明细表（量大或价高的外协测试试验与加工项目）**

**单位：万元**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **外协测试试验与加工的内容** | **外协测试化验与加工单位** | **计量**  **单位** | **单价（万元/单位数量）** | **外协测试化验与加工费用** | **经费**  **列支** |
|  | 无 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  | |  |  |  |  |  |
| **其他外协测试化验与加工项目** | |  |  |  |  |  |
| **累 计** | |  |  |  |  |  |

附录：

可研报告补充说明材料

1. **经费预算编制依据**

根据《国家电网公司科技项目预算编制实施细则》，编制项目经费预算，同时列出预算编制依据及说明，填写表1。

**表1：项目经费预算及依据表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **科目名称** | **预算金额** | **经费预算依据及说明** |
| **（一）直接费** | **159** |  |
| 1.人工费 | **82** |  |
| （1）专职研究人员人工费 | 70 | 高级研究人员：1.5万元/人月\*28人月=42万  其他研究人员：1万元/人月\*28人月=28万 |
| （2）劳务外包人员人工费 | 0 |  |
| （3）临时性研究人员人工费 | 12 | 预估需要临时性研究人员投入48人月，人工费=48×2500元/月=12万元。 |
| 2.设备使用费 | **0** |  |
| （1）仪器设备使用费 | 0 |  |
| （2）软件使用费 | 0 |  |
| 3.业务费 | 57 |  |
| （1）材料费 | 27 |  |
| （2）资料、印刷及知识产权费 | 10 | 项目验证需购买文献检索、资料翻译、资料和书籍购买等约3万元。  项目执行过程中相关资料印刷，产生费用约2万元。  按项目考核指标，知识产权事务费用约5万元。 |
| （3）会议、差旅及国际合作交流费 | 20 | 拟召开启动会、技术交流会、督导会、中间审查会、自验收会等各1次，合计5次会议，按照每次会议1.0万元计算，总计约5万元。  项目研究过程中，项目组成员需要进行调研咨询、技术交流、系统调试、工程示范等，差旅费用约15万元。 |
| 4.场地使用费 | 0 |  |
| （1）场地物业费 | 0 |  |
| （2）场地使用租金 | 0 |  |
| 5.专家咨询费 | 6 | 按召开启动会、技术交流会、督导会、中间审查会、自验收会等各1次，合计5次会议，每次1天，每次聘请专家6名，按照每人天花费咨询费2000元计算，合计5×1×6×2000元=6万。总计6万元。 |
| **（二）间接费** | **25** | 间接费依据项目经费总额12%计算，估算约25万元。 |
| **（三）外委支出费** | **10** |  |
| 1.外委研究支出费 | 0 |  |
| 2.仪器设备租赁费 | 0 |  |
| 3.外协测试试验与加工费 | 10 |  |
| **（四）税金** | **16** | 税金估算约16万元。 |
| **合计** | **200** |  |

1. **任务及经费分解方案**

根据项目研究内容或需求提出的技术问题，结合申报确定的研究方案及技术路线，对研究任务进行分解，明确申报团队任务分工，填写表2。

**表2：项目任务及经费分解表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **研究任务** | **承担单位** | **研究经费** |
| 基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术研究 | 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司 | 200万元 |

**三、示范应用情况**

南京江北新区、溧水区等地目前正在重点开展能源互联网示范建设，同时江北新区也是国网公司全业务物联网七个示范区之一。通过部署感知元件和边缘智能终端、升级无线通信网络、建设云化主站平台，推动智慧配电运检模式变革，实现主动检修、主动消缺，提升配电网供电可靠性。同时，推进全覆盖配电物联网建设，也是江北新区智慧能源互联网示范区建设的重要环节，将为南京公司在江北新区打造智慧能源物联网示范区打下坚实的基础。

江北示范区区位图如下图1所示：

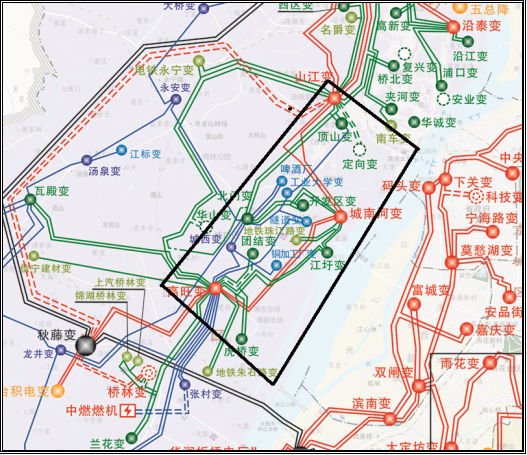


图1 江北新区示范区域

南京江北新区智慧能源物联网示范区位于国家级江北新区的核心区域，辐射自贸区及周边区域，共计56平方公里。区域内共有220千伏变电站3座（城南河变、高旺变、山江变），110千伏变电站6座（开发区变、北门变、顶山变、江圩变、虎桥变、团结变），在建变电站3座（定向变、农场变、复兴变），10千伏线路89条，高压用户176户，低压用户7万户。一期建设项目的配电部分涉及8条10kV线路，包含 60台DTU、92台TTU。

2020年计划实现89条试点中压线路的重要电源、负荷、联络等节点的配电终端（包含DTU、TTU等）物联化升级改造。在环境感知、电气感知、安全监测等感知元件部署基础上，规模化改造智能配变终端、DTU等。2020-2022年，在现有示范区配电物联网初具规模的基础上，本课题将研究基于国产SoC芯片适配的配电网设备即插即用与数据协作技术。

本课题拟利用基于国产化SoC芯片的配电网智能分布式FA系统方案，开展配网数字化、网络化、智能化能力的灵活定制，实现芯片层面支持设备能力自描述与互操作；集成具有分布协作能力和物端边缘智能的物联网控制器，实现对设备即插即用与自组网的支持；利用国产化芯片具备的电气、环境、力学等感知数据的边缘侧轻量级智能处理功能，适应配电馈线网络动态变化场景，实现配电终端自动配置，并进行适应区域配电网高可靠运行场景的云边协同自适应配置技术研究，实现配电终端的自适应快速接入配置。进一步推进实现配电终端的物联化升级改造工程的示范建设。

项目计划结合江北新区智慧能源互联网及电力设备物联网示范区建设，选取一条典型的中压线路，实现基于国产SoC芯片研制的、具备自描述与互操作能力的配网终端成套化设备示范应用，规模不小于12个节点。通过部署国产SoC芯片应用落地示范，推动配电网设备云边协同能力的提升，实现配网业务能力的灵活定制与迭代升级的便捷化，完善示范区建设的重要环节，验证国产化SoC芯片的典型电力场景应用，为南京公司能源互联网示范区的建设提供基础支撑。

**四、申报合作协议**

无

**五、组织管理方式**

项目组织机构拟设立专家组、研究课题组和管理联络组三个层级。专家组由各子课题研究专家构成，负责本课题的总体技术指导、资源协调以及定期组织研究交流推进会议，听取项目阶段性研究成果，全面掌控研究进程。每个子课题分别成立其研究课题组，研究课题组由该子课题的相关技术研究人员构成；研究课题组主要负责相关子课题管理、理论研究、实例验证、装置研发、示范工程实施等工作开展。管理联络组主要则是负责监控并规避项目实施过程中的技术和经济风险，统一设计、规划项目研究进度，协调各子课题关系，安排及管理研究工作，监督各子课题实施与进展以及文件、成果汇总和存档。

**六、其它需要说明的事项**

**无**