王骁 负责第四部分的小节4和5

说明：

各章节标题，我按照3份项目书，进行了调整，可以进一步修改。

斜体字 - 不需要添加到正文中的说明性文字。

# 4 项目研究内容和实施方案

## 4.1 研究内容

*（需要概括一共几个课题，每个课题几句话总结，课题之间关系与作用）*

### 4.1.1 需下沉的通信规约业务（整理）

### 4.1.2 需支持的边缘智能算法（整理）

### 4.1.3 研究节点自描述与节点自发现技术

*（目的：研究设备功能自描述文件设计与实现，在主控芯片上实现）*

### 4.1.4 研究基于协作化物联的协作化智能感知技术

*（目的：设备间智联算法设计与实现，通过设备环境感知，建立环境模型，形成智能处理模型的输入，在主控芯片上实现）*

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。协作化物联技术，是以节点自描述与节点自发现为基础的数据、通信协作技术。

#### 4.1.4.1 研究协作化物联技术

研究协作化物联技术。运用节点智联算法技术，通过改进终端的数据管理和通信管理，研究如何将网络中的通信业务管理由应用层转移至协议层底层；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。

基于协作化物联技术，采集配电终端设备生命周期运行数据；研究配电自动化终端设备全生命周期运行数据预处理技术；实现配电自动化终端设备生命周期运行状态管理技术，构建全生命周期的管理体系。

#### 4.1.4.2 研究协作化智能感知技术

研究协作化智能技术。提出基于协作化物联技术的数据处理算法；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技术。

### 4.1.5 研究协作化智能感知技术的配电终端行为模型框架

*（目的：设计基于环境感知的轻量级智能行为模型，并在主控芯片上实现）*

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自动化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。

### 4.1.6研究智能分布配电网终端的软件与硬件体系

*（目的：主控芯片与通信芯片的结构实现，搭建演示系统，支持上位机DTU设备的业务功能）*

## 4.2 实施方案

### 4.2.3 研究节点自描述与节点自发现技术

*（目的：研究设备功能自描述文件设计与实现，在主控芯片上实现）*

### 4.2.4 研究基于节点智联算法的环境感知技术

*（目的：设备间智联算法设计与实现，通过设备环境感知，建立环境模型，形成智能处理模型的输入，在主控芯片上实现）*

#### 4.2.4.1 研究协作化物联技术

*（研究协作化物联技术。运用节点智联算法技术，通过改进终端的数据管理和通信管理，研究如何将网络中的通信业务管理由应用层转移至协议层底层；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。*

*基于协作化物联技术，采集配电终端设备生命周期运行数据；研究配电自动化终端设备全生命周期运行数据预处理技术；实现配电自动化终端设备生命周期运行状态管理技术，构建全生命周期的管理体系。）*

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。

**协作化物联技术智能化流程。**协作化物联技术在一般物联网核心通信管理基础上，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。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。

**协作化节点数据共享策略。**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。当本地断路器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。

**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。

**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，其存储对象是断路器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。

**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。

**配电自动化终端设备全生命周期运行数据采集。**配电自动化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。

#### 4.2.4.2 研究协作化智能技术

（研究协作化智能技术。提出基于协作化物联技术的数据处理算法；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技术。）

**配电动化终端运行状态多维影响因素分析。**从配电自动化终端设备运行角度，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智能断路器故障识别方法。**通过基于协作化物联的通信及协同数据管理策略，获取断路器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智能断路器故障识别方法。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智能断路器健康状态检测/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）形成与断路器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断路器寿命的神经网络。当预测到当前断路器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。当当前断路器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。

### 4.2.5 研究基于环境感知技术的配电终端行为模型框架

（目的：设计基于环境感知的轻量级智能行为模型，并在主控芯片上实现）

**协作化智能环境感知技术下的电力环境及配电终端行为模型。**通过电力网内传感器采集断路器所在电力网内部环境，通过外部传感器采集断路器所在实际物理环境，结合信号语义，对断路器内外环境进行建模，用以判断断路器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。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研究。**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。

**研究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。

**研究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。

研究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，减少断路器的更换成本；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。

### 4.2.6研究智能分布配电网终端的软件与硬件体系

（目的：主控芯片与通信芯片的结构实现，搭建演示系统，支持上位机DTU设备的业务功能）