**配电网智能断路器SOC芯片技术**

**项目建议书**

|  |  |
| --- | --- |
| **依托单位：** | 清华大学深圳国际研究生院 |
| **项目负责人：** | 张盛 |
| **电子邮箱：** | zhangsh@sz.tinghua.edu.cn |
| **移动电话：** | 13632683550 |

2020年4月30日

# 一、项目建设背景及必要性

## 1.1 项目建设背景

智能电网建设是全球在能源领域的重要战略部署，构建以信息化、自动化、互动化为特征的智能电网是电力行业的发展方向。智能电网的实现首先依赖于电网各个环节重要运行参数的在线监测和实时信息掌控，物联网作为“智能信息感知末梢”，成为推动智能电网发展的重要技术手段。

我国整个电力系统中，配电设备点多面广，配网是最为薄弱的环节。作为受端系统的核心部分，配网是提高供电可靠性至关重要的物质基础，是提高电网的防灾抗灾能力、确保终端用户不间断供电的最后屏障。随着对配电网供电可靠性要求的不断提高，高效率高准确性的配电线路主动智能控制势在必行。如电压闪变、相间短路、单相接地、浪涌等多种运行工况时刻威胁着配电网馈线的安全稳定运行；另外，台风、高温高湿、飞鸟、悬浮物、电缆沟水侵等环境因素，对配电网馈线的管理也构成了严重的技术挑战。传统上依靠人力在事后进行巡线再处理，不仅无法及时解决隐患，严重影响供电可靠性，同时也消耗了大量人力物力，对配电网线路的智能化管理提出来技术需求。

随着物联网技术，特别是基于无线传感网络技术的兴起，已经为这些问题的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断路器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，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。

提升配电网断路器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断路器控制芯片，以实现具有自主智能能力的配电网智能断路器多层次系统结构和功能。基于物联网和边缘侧人工智能技术的配电网断路器智能系统，可以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，对提高配网供电可靠性及运行效率具有重要意义。

## 1.2 项目必要性分析

### 1.2.1 配电网智能断路器芯片国产化的必要性

*（从芯片角度讲必要性）*

### 1.2.2 配电网智能断路器芯片智能化的必要性

*（从芯片角度讲必要性）*

### 1.2.3 配电网智能断路器芯片协作化的必要性

*（从芯片角度讲必要性）*

智能断路器SOC芯片应包括高性能主控芯片、通信芯片、接口芯片、AD采样芯片等部分，能够完成完整的系统芯片功能；高性能主控芯片应该能够支持较为广泛的指令集架构，并支持较强的边缘智能能力；通信芯片支持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，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智能决策；接口芯片应包括485等常用兼容接口；集成高精度中低速模数转换AD电路；需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。

支持边缘智能的断路器控制芯片应具有以下创新的技术特征：1）主控芯片具有更强的计算能力，集成具有专用指令扩展设计的自主知识产权RISC-V架构微处理器内核，工作主频超过400MHz，等效计算能力达到300MIPS；2）通信芯片支持开放协作的数据与通信管理能力，同时支持HPLC和蓝牙5.0以上版本通信协议，实现基于通信芯片层次的电力物联网生态，为数据驱动的电力物联网管理能力提供协议支持；3）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；4）支持丰富的外设接口，包括GPI/UART/I2C/SPI/I2S/PWM/PDM等，以及灵活的外部中断与计数器控制逻辑；5）工业级高可靠强电磁场条件下的工作；6）集成24bit高精度AD电路模块。

# 二、现状分析

## 2.1 产业现状

## 2.2 技术发展趋势

## 2.3 市场前景

# 三、项目主要研究内容

## 3.1 研究内容概述

断路器智能控制器芯片研发的主要研究内容包括：

1. 自主知识产权RISC-V架构微处理器内核

与大多数指令集相比，RISC-V指令集可以自由地用于任何目的，允许任何人设计、制造和销售RISC-V芯片和软件。虽然这不是第一个开源指令集，但它具有重要意义，因为其设计使其适用于现代计算设备（如仓库规模云计算机、高端移动电话和微小嵌入式系统）。设计者考虑到了这些用途中的性能与功率效率。该指令集还具有众多支持的软件，这解决了新指令集通常的弱点。

1. HPLC通信芯片IP

宽带电力线载波通信HPLC是在低压电力线上进行数据传输的宽带电力线载波技术。宽带电力线载波通信网络则是以电力线作为通信媒介，实现低压电力用户用电信息汇聚、传输、交互的通信网络。宽带电力线载波主要采用了正交频分复用（OFDM）技术，频段使用2MHz-12MHz。与传统的低速窄带电力线载波技术而言，HPLC技术具有带宽大、传输速率高，可以满足低压电力线载波通信更高的需求。HPLC作为本地通信技术还融合了远程通信（4G）应用在集中器I型上。有线技术融合无线技术是HPLC应用的一个特点。

1. 蓝牙5.0通信芯片IP
2. 高安全协作物联技术
3. 协作智能行为模型（与协作相关的技术部分列出by程&王）

在现代店里网络中，智能断路器基本工作模式是根据监测到的不同故障电流，自动选择操作机构及灭弧室预先设定的工作条件，如正常运行电流较小时以较低速度分闸，系统短路电流较大时以较高速度分闸，以获得电气和机械性能上的最佳分闸效果。

智能操作断路器的工作过程简单可以概括为，当系统故障由继电保护装置发出分闸信号或由操作人员发出操作信号后，首先启动智能识别模块工作，判断当前断路器所处的工作条件，对调节装置发出不同的定量控制信息而自动调整操动机构的参数，以获得与当前系统工作状态相适应的运动特性，然后使断路器动作。

另外，智能断路器除了保护作用外，还有更一般的控制作用，可以根据运行需要，投入、切除或者控制部分电力设备或线路。

智能断路器对于电力的保护功能和控制功能，通常是回路检测、机械特性检测、接触电阻检测等检测指标，依靠人力日常检测运行状态并进行维护，存在检测效率低、工作量大、工作效率低的特点。同时，受限于物理条件和检测人员专业水平和经验，检测结果的准确性难以保障；数据记录、上传和处理的过程繁复， 使用检测数据的效果十分受限。

基于协作物联和协作智能的系统检测预测系统，旨在利用协作物联的数据共享能力，和协作智能的数据处理算法，实现断路器的自动化和智能化，尤其为断路器的赋能，实现高效的边缘异常检测和预测能力。在本系统中，利用断路器芯片在通信层面的特性，即通信芯片支持开放协作的数据与通信管理能力，在本地实现本地数据和其他断路节点数据的协同管理，极大丰富了本地数据，为数据处理算法提供时间、空间层面更加丰富的数据。协作智能的数据处理算法，目的是对边缘侧感知数据的本地化分类、识别与决策智能，通过结合电力场景的算法设计与优化、支持算法升级的神经网络计算单元，实现对于本断路节点的高分辨率的系统监测与预测。

1. 工业高可靠芯片设计加固技术
2. 高精度AD转化电路IP

## 3.2 拟解决关键难点问题（与协作相关的技术部分列出by程&王）

3.2.1 高可靠性

3.2.2 通信芯片、SOC蓝牙

3.2.3 协作物联

3.2.4 协作智能

3.2.4.1 智能断路器的工作状态识别和自适应调整

系统故障由继电保护装置发出断开信号或由操作人员发出操作信号后，首先启动智能识别模块，判断当前状态即断路器所处的工作条件，对调节装置发出不同的定量控制信息而自动调整相关参数，以获得与当前系统工作状态相适应的运动特性，然后使断路器动作。

其核心在于根据监测到的不同故障（过电压，过电流，漏电流和电弧；电流类型：短路电流、过载电流、小电容电流和小电感电流），识别其类型，自动选择操动机构参数及灭弧室预先规定的工作条件，（如漏电流：电流小时低速断开，电流大时高速断开），以获得电气和机械性能上的最佳断开效果，并尽可能减少在没有安全隐患的情况下提示关闭设备和电器的误报。

随着时间的流逝和处理数据的增大，智能识别模块应当能够主动学习并自适应调整，选择需要的信号或数据，从而更加准确地判断，减少误判率，变得更加智能。

对于断路器所在的电力网环境，更应考虑各个节点之间的关系，构建合理的数据处理方法与算法，实现超越传感器检测信号精度、检测指标量的系统状态判断方法，并且对本地未来工作状态和控制状态、电力控制状态需求等多维度问题进行预测，如果能对其他断路节点的状态检测与预测提供辅助，则是更好的解决方案。

3.2.4.2 智能断路器的健康监测和预测性维护

为了保证配电线路的安全可靠，提高配网供电可靠性及运行效率，需要对智能断路器进行实时或周期性的健康监测和预测性维护。

通过对协作物联网获得的各类传感器参数信息，利用其不同的特性（传感器类型、时间相关性、空间分布特征）进行适当的预处理，涉及针对不同类传感器的大量并行处理。之后使用不同的机器学习或专家系统方法确定断路器的运行状态及故障概率，或者预测断路器的寿命并确定维护的优先级。预处理和学习算法及超参数化需要手动创建或者利用AutoML领域相关的知识自动化进行。

3.2.4.3 边缘侧硬件快速计算与响应实时性问题

实现对边缘侧感知数据的本地化分类、识别与决策智能，需要集成支持算法升级的神经网络计算单元。相对云端应用，边缘设备的应用需求和场景约束要复杂很多，针对不同的情况可能需要专门的架构设计。抛开需求的复杂性，目前的边缘设备主要是执行“推断”。推断和训练相比有其特殊性，更强调吞吐率、能效和实时性。

近年来，随着深度神经网络技术的发展，很多开创性的神经网络架构不断出现，具有代表性的网络结构有 AlexNet、VGGNET、GoogleNet、ResNet、R-FCN、Deformable-ConvNets 等等。然而，这些网络通常包含数以百万计的参数，几十到几百个卷积层，需要数十亿次的算术运算。

目前嵌入式硬件加速设计普遍存在处理速度相对较慢，与高速应用不适配等缺点。因此非常需要针对设备的特点，有针对性的进行优化设计。

在提高推断效率和推断准确率允许范围内的各种方法中，降低推断的量化比特精度是最有效的方法。此外，提升基本运算单元 （MAC） 的效率可以结合一些数据结构转换来减少运算量，比如通过快速傅里叶变换（FFT）变换来减少矩阵运算中的乘法；还可以通过查表的方法来简化 MAC 的实现等。另一个重要的方向是减少对存储器的访问，这也是缓解冯·诺伊曼“瓶颈”问题的基本方法。利用这样的稀疏性特性，再有就是拉近运算和存储的距离，比如把神经网络运算放在传感器或者存储器中。

系统能够支持对数据处理方法算法进行远程升级，也决定这断路器解决方案的灵活性。断路器的远程升级，可以对本地存储的数据和模型进行调整，部署新的计算方法，减少断路器更换成本，提高断路器的工作性能和工作效率。

## 3.3 关键技术方案（与协作相关的技术部分列出by程&王）

3.3.1 基于协作物联的协同数据管理

3.3.1.1 断路节点间数据共享策略

一种面向非同源物联网设备终端的节点智联机制

3.3.1.2 本地节点数据存储策略

一种面向非同源物联网设备终端的节点智联机制

3.3.1.3 低功耗的通信唤醒策略

一种基于统计信息预取的通信芯片协议层操作系统通信管理方案.

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。据此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。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，实现消息的预取推送。

3.3.2 基于协作智能的技术方案

为了减少定期检修的维护成本，提高突发故障与时间应对速度，设计了收集设备与其他设备的大量数据、使用这些数据进行自动化的设备状态检测预测方法，形成了基于协作物联和协作智能的系统检测预测技术方案。

3.3.2.1 基于环境参数时间序列的智能断路器故障识别方法

提出一种自适应深度神经网络进行故障概率预测的方法。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[3]来区分恶性电流测量的正常值，训练得到深度神经网络。

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。

3.3.2.2 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[4]

3.3.2.3 协作智能下的电力环境模型

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。

3.3.3 适应电力网环境的边缘计算的神经网络技术

## 3.4 创新点（与协作相关的技术部分列出by程&王）

3.4.1 基于协作物联的电力网断路器数据管理方法

适应电力网断路器功能的节点数据共享策略、存储策略和设备唤醒策略，满足高性能与低功耗需求。

3.4.1 智能断路器的工作状态识别和自适应调整

在未提高传感器精度的条件下，尽量降低系统功耗，提出了多种断路器智能工作状态识别与自适应调整的方法。

3.4.2 智能断路器的健康监测和预测性维护

帮助提高了断路器健康检测的智能性，降低运维成本。

3.4.3 边缘侧硬件快速计算与响应实时性问题

结合电力网任务，构建了高效能的软硬件处理协同加速，提高了实时性。

3.4.4 适应电力网断路器环境的边缘计算

对机器学习和神经网络任务在边缘测的实现，进行了适应电力网断路器任务的优化，并设计了低功耗高性能神经网络计算单元，构建了支持升级的数据处理方法算法模型。

# 四、项目实施方案

# 五、投资估算及效益分析

# 六、项目综合评价