

微电网 CPS 物理端融合模型设计

刘汉宇^{1,2}, 邱 赞³, 牟龙华¹

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011;
3. 中船重工第 704 研究所, 上海 200031)

摘要: 基于微电网信息物理融合系统(CPS)的架构体系, 分析了微电网 CPS 的信息资源环境特征, 提出了针对微电网 CPS 中电气物理设备端节点的融合模型, 其本质为一种依附于电气物理设备工作状态的微电网 CPS 云端计算融合模型; 模型充分挖掘物理设备终端节点所被赋予的信息资源, 各层次的任务有序地分配到核心服务器节点、集群服务器节点和物理设备端节点上, 以达到所有信息资源高效利用的目的; 为了满足能够在微电网“即插即用”控制策略下灵活调度和管理大量物理设备端节点的信息资源, 提出一种新颖的环形协同管理机制, 该机制能够有效地增加物理设备端节点的工作稳定性, 减轻上层节点的计算负担; 最后给出了具有参考意义的基于融合模型的设计方案。

关键词: 微电网; 信息物理融合系统; 代理; 融合模型; 电气设备; 物理端; 模型

中图分类号: TM 727

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.10.005

0 引言

微电网是为了解决分布式电源并网而出现的一个可控的小规模发电网络, 其核心功能是规模化地接纳清洁能源。智能微电网(即微电网的智能化)是未来微电网的发展方向和新的组织形式^[1-3], 能够实现微电网内电力流和信息流的高度融合统一。未来智能微电网应将先进的信息技术、控制技术与电力技术相结合, 在满足不同用户对电能个性化需求的同时, 实现清洁能源发电大规模平稳地接入主电网。在传统的电力系统建设中主要是集中在电力系统本身, 并没有充分考虑到信息通信系统和电力系统的深入融合。这主要是因为当时的电力信息系统和电力系统还不需要具备足够深入的交互和控制^[4]。近年智能电网^[5]概念明确地指出未来电力系统发展方向中的信息化本质要求。显然, 作为未来智能电网中

发挥绿色能源电力的重要环节, 采用传统电力信息系统手段建设微电网已经不能满足未来智能化发展的需要。

信息物理融合系统 CPS(Cyber Physical System)^[6]将计算能力、通信能力和自治控制能力进行兼容和深度整合, 通过信息系统和物理系统的深度交互融合而形成的一个全新的研究领域, 是基于下一代高速无线网络和嵌入式系统等技术而发展起来的智能系统。CPS 使得物理设备成为具有强大网络信息能力和自主能力的智能行为体, 如同一个能够实时获知环境信息而执行指定任务的联网机器人, 同时这些“机器人”的行为是依赖于物理设备本身性质来体现。

文献[7-8]提出将 CPS 概念引入电力系统中, 分析了 CPS 与智能电网在概念上的相通之处, 提出了以电力 CPS 完成智能电网建设的想法。但若一开始就以整个庞大的电力系统作为研究对象, 范围将会过大, 研究比较笼统, 技术上难以细化和深入。另一方面, 目前对智能电网的定义和内涵都不完善, 其中的一些体系和关键技术都存在着争议, 直接以还处

收稿日期: 2014-02-10; 修回日期: 2014-09-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51207110)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51207110)

Optimal operation of grid-connected microgrid based on Benders decomposition

YANG Yanhong^{1,2}, PEI Wei¹, DENG Wei¹, XIAO Hao^{1,2}, QI Zhiping¹

(1. Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The optimal power flow problem is extended for the grid-connected microgrid and an optimal operation model with the consideration of UC(Unit Commitment) is built. The 0/1 decision variables and the continuous operational variables mixed in the model are separated by the Benders decomposition and solved by the iteration between the UC main problem without network constraints and the OPF sub-problem with network constraints. Case analysis of the modified IEEE 13-bus system verifies that the proposed method can quickly and reliably optimize the operation of microgrid.

Key words: microgrid; Benders decomposition; optimization; models; power flow; unit commitment

于完善阶段的智能电网作为对象建立电力 CPS 技术,在可行性上还需商榷和论证。但是如果选择电力大系统中一个“合适”的区域来建立局限性的电力 CPS,其难度将会大幅降低。

文献[9-10]首次将 CPS 引入微电网的信息网络建设中,提出微电网 CPS 的相关概念体系。本文在此基础上,对微电网 CPS 环境下电气设备端信息计算资源的融合模型及其运行协调机制展开研究。

1 微电网 CPS 信息资源环境分析

传统的配电网络只考虑如何将电能经济可靠地单向输送给用户。而随着微电网技术的发展和逐渐成熟,分布式电源、储能设备、大功率风力发电机、电动汽车等新设备的应用,现有电力系统中的信息模式已经无法应对随之产生的问题,如:根据动态电价调整用户的用电模式;收集并快速分析电气和环境参数的变化;区分不同信息的时效性和安全等级,海量数据处理方式(并行计算、云计算)。因此,需在微电网及其内部设备 2 个层面都考虑全网的双向互动信息流。而目前的电力信息系统,如 DSCADA/DMS、PMS、OMS 和 WMS 等,在数据量急剧增加时,从全局来看,信息重叠和异构数据孤岛的局面将不可避免,根本无法方便地实现数据交换和信息共享,特别是在故障情况下,电力信息系统的底层数据获取、分析或者电源等系统也会受到一定影响。若不加以注意和克服,当故障比较严重时,其造成的破坏完全有可能使微电网成为电力孤岛的同时还变成信息孤岛。

构建微电网 CPS 的目的就是利用 CPS 技术将计算、网络和微电网物理环境进行多维融合与相互协作,只需在微电网层面就能够完成所有的信息化控制要求,完全避免微电网信息孤岛的产生,因此首先需要分析和研究微电网 CPS 的存在模式及其所需配置的信息资源能力。根据文献[9-10]所述,微电网 CPS 中的设备应具备“云端计算”能力,能够将松耦合的分布式计算资源和具有嵌入式信息资源的电气物理设备通过下一代互联网连接,在应用层面上实现计算资源、通信、控制和微电网的电气等物理装置的紧密关联。根据文献[9]的微电网 CPS 分层描述,可建立如图 1 所示的微电网 CPS 的架构。

图中,微电网 CPS 是作为未来电力 CPS 中的一个局域网。微电网 CPS 中的电力设备也被赋予了连入 CPS 网络的能力,电力设备通过 CPS 路由器与电力 CPS 网络相连。CPS 路由器应能方便地实现 IP 地址编址和异构数据之间格式的转换。CPS 的网络不同于传统意义上的 Internet,而是由传感器网络、执行器网络和计算机网络构成的组合通信网络,可以采用面向服务的架构(SOA)和企业服务总线(ESB)实

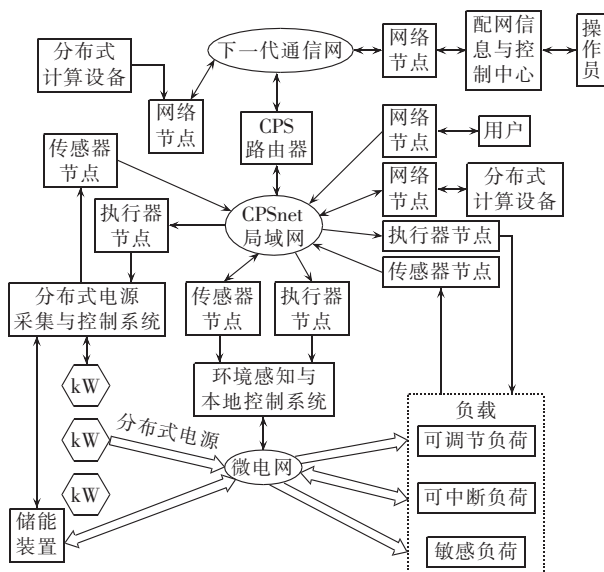


图 1 微电网 CPS 体系架构

Fig.1 Architecture of microgrid CPS

现具有松散耦合特性的消息传递,通过标准化的组件适配器,完成不同应用系统间的数据和服务分享。

微电网 CPS 的主要组成部分分别是通信网络、控制中心、分布式计算设备、微电网电力设备等。要实现微电网系统与信息系统的深度融合,其电气设备不仅要具有发电、输电和用电等特征,还必须能够进行自主状态下的环境感知和物理设备联网控制。特别是在其连接到互联网后,微电网的分布式电源、储能装置、能量转换装置,相关负荷和监控、保护装置,智能电力仪表和各种负荷、仪表等设备都应具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治五大功能。这意味着微电网 CPS 中的电气设备等物理装置必须拥有一定的计算、存储、通信等资源,它不再仅仅是传统电网中的冰冷的完成电能转化和执行的装置,而是嵌入了传感器、执行器和联网设备,能够对大系统实现信息采取和自主行为感控的智能体。因此,微电网 CPS 中的电气物理设备连入 CPS 网络后,可以看成是 CPS 网络环境中的信息资源节点,成为网络信息服务的提供者。

但是,电气设备端作为信息资源(包括负载、智能电表、电源等)却是不稳定的。这是因为在 CPS 环境下,虽然微电网中所有的电气智能设备都被嵌入了芯片和软件,并被赋予一个 CPS 网络地址,成为一个信息资源节点(具备 CPU、GPU、RAM、ROM 等硬件和应用软件资源,能够参与对自身设备的信息收集、加工处理、储存、发布和表示),但是这些末端资源节点的运行将被设定为与其电力设备自身的工作条件相适应,只在电气设备运行时提供服务(CPU 低负荷状态下,参与处理一定的非本地任务),而在电气设备停运时,虽然仍旧保持通信,但只限于少量的

状态应答信息,不会继续作为信息节点提供服务。因此,它们会随着电气设备的运转工况,动态地、随机地加入或者退出微电网 CPS 信息服务环境。显然这样的服务是不可靠的,服务质量难以保障。但是当这样的设备端节点的数量较大时,还是可以用冗余来提高性能。

微电网 CPS 中的信息计算资源环境主要是由 3 个部分组成:电力 CPS 中心长期稳定运行的高性能服务器节点;微电网 CPS 的本地集群服务器节点;电气设备端节点。其模型如图 2 所示。

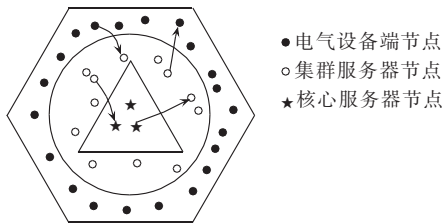


图 2 微电网 CPS 的信息计算资源环境模型
Fig.2 Information computing resource environment model of microgrid CPS

高性能服务器节点处于微电网 CPS 信息计算资源环境的内层;集群服务器节点处于中间层;电气设备端节点处于外层。微电网 CPS 涉及到的信息资源环境从内到外是由稳定的内层、次稳定的中间层和不稳定的外层构成,下层节点与上层节点的信息彼此交互。内层由核心服务器构成;中间层由集群服务器组成;外层则具有开放网络通信能力的电气物理设备端节点组成。由于外层节点依附于微电网中的电气设备,其中的一些节点服务就具有很强的随机性,通常是不可信赖的。显然,微电网 CPS 信息计算资源模型能够正常运行的关键就在于对其提供一套工作机制,保证外层节点能稳定地贡献资源和协同工作。

2 设备物理端节点融合模型与工作机制

2.1 电气设备物理端的融合模型

采用 Agent 技术^[11-12]描述微电网 CPS 下电气设备端被赋予的计算、通信、控制和本地环境感知能力,在由每个设备中的信息资源构成的网络节点上构建 Agent 和 Agent 的运行平台。尽管不同的电力物理设备中计算和存储能力、操作系统、软件平台等方面差别明显,但是通过抽象模型定义的方法仍然能够对其进行描述。这是因为,微电网 CPS 执行任务时,不必关心物理设备的具体形态和功能,只需要关心此设备中的信息资源是否能够完成分配给它的任务即可。

定义 微电网 CPS 电气物理端应该是同时具有感知和执行功能的端节点,其 Agent 模型定义为一个九元组:

$CAgent ::= \langle ID, Env, Time, Layer, Role, Resource, State, Act, Credit \rangle$

其中, ID 为此 Agent 在微电网 CPS 网络的唯一身份标识,标识此 Agent 的位置。由于同一个物理设备端节点可能驻留有多个 Agent,所以 Agent 网络身份标识 ID 应该起码包含节点标识和该节点 Agent 的序号两部分信息,表示为:

$ID ::= NodeIdentity \cup SerialNo$

Env 是 Agent 根据当前任务需要采集的本地信息,包括电气和环境气象等相关参数。

Time 是时间点的集合,是调度 Agent 的自适应定值整定的任务周期,包括通信耗时、网络拓扑耗时、整定定值等。

Layer 是 Agent 在微电网 CPS 中的网络层次归属,标明内层、次内层还是外层。

Role 是 Agent 在此节点中承担的角色和该角色所应具备的条件。微电网 CPS 的电气设备端节点在孤岛或并网状态下可能承担的角色包含以下几种:用户、信使、任务执行者;在特殊条件下,如偏远地区的小型微电网 CPS,资源相对充裕的电气设备端节点也可能承担任务调度者或者管理员的角色。

Resource 是 Agent 的资源约束,它描述其拥有的资源数量,包括内存、CPU 等硬资源,以及数据、文件、程序等软资源。

State 状态描述了当前 Agent 的工作状态,如繁忙、闲置、历史信息记录等。

Act 是根据当前节点状况和 Agent 的先前设置意愿所实施的动作行为,Act 是一组集合,即: $Act = \{act_1, act_2, \dots, act_n\}$ 。行为直接作用于 Agent 的所处环境。在通常的微电网并网情况下,各节点上的不同 Agent 必须通过其通信模块每隔一定时间持续向内层节点发送“心跳”信息,以让管理者掌握其当前各节点的在线状态和监视当前任务的承担情况。

Credit 是 Agent 所在节点的可信度,区分当前节点是长时间稳定在线地提供可靠服务的物理端节点,还是不能长期在线运行或者随机性很强的不可信赖的端节点。

2.2 电气设备端节点的协同管理

即插即用特性是实现微电网灵活方便供电的基本要求,它使得微电网能够自动配置设备层中的各种底层电力一次设备,并且告诉对应的设备所承担的角色和执行的任務。微电网中设备即插即用的特性将要求在新增设备接入微电网时,微电网 CPS 的中心管理节点能够识别新增节点的相关属性信息,同时要对微电网中已有的管理秩序进行修改。新增的节点具体可以分为以下 3 类:一是增加的节点是已有的节点,中心管理节点可以对其进行完全描述

和管理,对这样的设备节点只需要修改其 Agent 的 ID 属性值和关联即可;二是增加的节点为当前已有设备的不同升级版本时,中心管理节点只能够部分对其进行描述,此时需要对新增的属性和关联进行扩展描述,修改其 Agent 的 ID、Env、Time 和 Resource 等属性;三是增加一种全新的设备节点,则需要向微电网 CPS 节点库中增加新类型节点的完全描述。

按照 CPS 的要求,微电网 CPS 中的电气仪表等设备构成的外层端节点应该具有动态的自组织重构功能。就算微电网 CPS 内部某些资源或者管理节点已经失效,如感知到某一设备故障退出外层,附近的设备端节点能够自主进行资源补充,迅速地重建相互协作关系。另外,由于微电网普遍采用“即插即用”的设备接入工作方式,当节点数量较大时,就很容易导致系统随着节点资源的增多而趋于混乱的状态,相互之间的协作不能建立,严重时节点相互封锁之间通信,产生信息孤岛的情况。如果采用集中控制管理模式,作为任务执行者向微电网 CPS 中间层节点定期发送心跳信息,防止节点失效是可行的。但是要提高被分配至外层节点任务执行的成功率,并确保任务能够在规定的时间内提交结果,则不能采用心跳机制,原因是数量庞大的电气设备端节点都向内层节点发送周期心跳信息将会带来大量额外的网络通信负担,并容易大量消耗云核心层节点的资源,产生类似于分布式拒绝服务攻击^[13]的效果。由此可见,“即插即用”的微电网设备接入方式在带来方便的同时,也存在着使整体效益随着节点的增多而降低的可能性。

为了解决这个问题,可以采用节点环形协同管理机制,如图 3 所示。具体而言,就是将微电网 CPS 外层的电气设备端节点按照网络最短路径^[14]的原则,依次相互建立联系,组成逻辑上的节点环。微电网 CPS 外层节点和中间层节点在节点数量较大时均可以采用相互感知、监视的机制,两相邻节点相互之间定时发送心跳信息来确认彼此是否在线。当电气设备端节点数量庞大时,外层节点环可采用分布式散列表作为存储架构,将微电网 CPS 外层分为若干组进行管理,使其具有更强的结构和系统融合性。

G_1 中的外层节点环与中间层节点 m_2 进行信息

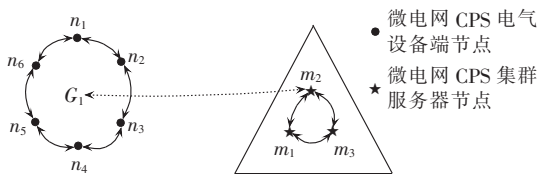


图 3 微电网 CPS 电气设备端节点环形协同管理示意图

Fig.3 Schematic diagram of annular collaborative management of microgrid CPS electrical physical device nodes

交互,但是 m_2 并不会与环中的节点频繁通信。 G_1 中的节点状态还是依靠节点彼此之间的感知进行。例如,节点 n_5 平时受 n_6 与 n_4 的监视,同时 n_5 也会监视 n_6 与 n_4 的状态。若节点 n_5 因为某种原因退出微电网 CPS 网络,则 n_6 和 n_4 在一定的时间间隔后收不到 n_5 发来的心跳信息,就会立即向 m_2 上发 n_5 的异常信息,得到确认后, n_6 与 n_4 建立相互监视关系。下面给出具体的实施步骤。

(1)内层节点 m_2 将相互监控任务发送到电气物理端节点 $n_1 \sim n_5$ 上执行。

(2)节点 n_1 侦听到节点 n_2 的状态结果时暂停;等待节点 n_3 侦听节点 n_2 的状态结果。

(3)当等待到节点 n_3 的侦听结果时,与节点 n_2 提交的结果进行比较。

(4)如果结果相同,则采用该结果,进而决定是否向节点 m_2 汇报;如果不同,则再次重复上面的步骤。

(5)若经过 2 次比较后仍然不一致,则节点 n_1 或者 n_3 向节点 m_2 汇报节点环异常信息。

(6) n_1 与 n_3 建立相互监视关系。

微电网 CPS 环境下的电气设备物理端节点和中间层节点将充当任务执行者的角色。相对重要的任务由中间层节点执行,内层节点主要起调度程序的作用,一般不会直接参与具体的任务中。电气设备物理端节点拥有相对较弱的计算能力和存储资源,而且还不能够保证全部资源都投入到处理其他非本地任务中,因此分配到电气设备物理端节点的任务工作量应相对较小。采用基于合同网^[15]的思想,将每个任务采用任务招标的方式,将投标值作为 Agent 之间任务分配的控制变量,通过互相协商和竞争,以实现任务的动态分配和调整。标书对所有外层节点上的 Agent 开放,各 Agent 根据自身状态和当前可用的资源,通过决策模型计算投标值,决定对公布的任务是否具有能力申请。中间层节点通过优化算法或协调算法计算选择最适合完成合同的 Agent 节点,将子任务交给它。

3 微电网 CPS 的服务平台设计

虽然 CPS 中的认证技术、下一代网络技术和访问控制技术等关键技术尚未成型,但从微电网中物理设备和 CPS 技术特征相结合的应用层面考虑,就可以设计出符合微电网 CPS 需求的平台。考虑上述的物理端融合模型与微电网 CPS 的运行需求,在 Hadoop 的软件框架下,利用 Java 语言及其开发工具 Eclipse IDE 具体构建出电气设备物理端节点的 Agent 平台。总体设计方案如图 4 所示。

图 4 中的端节点平台系统通过新一代单页 Web

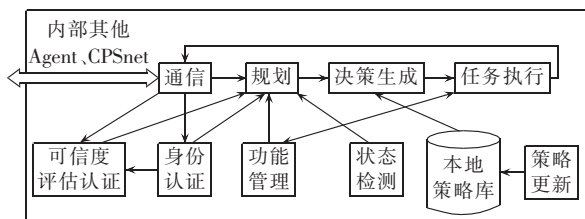


图 4 电气设备端节点平台架构示意图

Fig.4 Architecture of electrical physical device node platform

服务,使得面向服务的架构和微电网的扩展公共信息模型(CIM)具备异构平台之间互操作的数据基础能力。Web 服务接口封装物理端节点的 CAgent,为外部的 Web 服务提供智能协作。如通过 Web 通信使得各控制设备能够自主参与电压与频率控制、电能质量优化和电价竞价等业务。平台内通过身份认证为微电网 CPS 内的各种智能服务提供服务注册,包括消息数据的类型、消息通信机制、服务操作及定义如何用所选通信技术处理消息,Web 通信服务代理负责不同节点与上层的服务信息传递。

进而可以给出基于微电网 CPS 物理端节点融合模型的孤岛控制策略,如图 5 所示。物理端的信息资源能力使得其也能够参与系统的运行服务中,整个运行管理以智能服务为主。

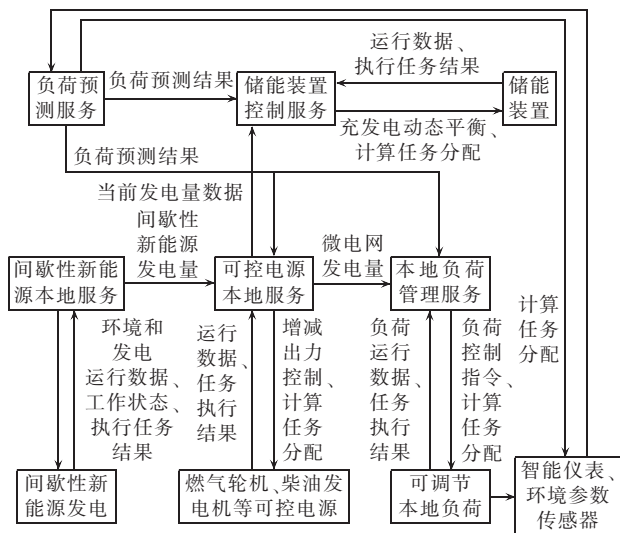


图 5 微电网 CPS 的孤岛控制策略

Fig.5 Islanding control strategy of microgrid CPS

每一个微电网 CPS 中的物理设备都能够提供或者被提供独立的智能服务,每个智能服务由预先定义的基本功能服务组成,负责各自的任务,如新电源发电控制服务、用户电价制定服务、可控发电经济控制服务等。微电网 CPS 的集群服务器将根据内部的各个计算或资源调度任务以消息的形式发下去,由各个设备物理端智能服务执行。比如如果某一台风能与太阳能接受量下降,则物理端上 CAgent 自动接受与最近处的环境传感器 Agent 信息服务,快速调整

出力策略,无需上层调度,从而节省上级资源并形成对上级计算资源的有效支持。

4 结论

本文在建设智能微电网方面进行了探索性研究,在前期研究成果的基础上进一步深化了对 CPS 技术在未来微电网智能化过程中可能发挥作用的认识。

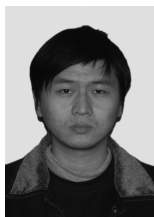
微电网 CPS 是 CPS 概念在新能源发电领域应用的具体体现,有望对未来智能微电网的建设提供有力的支持,其核心内涵是如何有效地将控制、通信和计算能力集成体现在微电网的具体设备运行中。在 CPS 的环境下,电网的运行特性必将发生根本性的变化。本文通过分析微电网 CPS 体系架构中的资源环境,提出电气设备端节点的抽象模型和运行机制;基于此模型设计了微电网 CPS 的运行平台,该平台将 Agent 封装为服务主体来实现彼此之间的相互通信与协作。

参考文献:

- [1] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007,31(19):102-107.
LU Zongxiang,WANG Caixia,MIN Yong,et al. Overview on microgrid research[J]. Automation of Electric Power Systems,2007, 31(19):102-107.
- [2] 刘杨华,吴政球,涂有庆,等. 分布式发电及其并网技术综述[J]. 电网技术,2008,32(15):71-75.
LIU Yanghua,WU Zhengqiu,TU Youqing,et al. A survey on distributed generation and its networking technology[J]. Power System Technology,2008,32(15):71-75.
- [3] 张华威,刘莉. 智能微网研究综述[J]. 沈阳工程学院学报,2012,8(3):21-23.
ZHANG Huawei,LIU Li. Design of smart micro-grid energy management system[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering,2012,8(3):21-23.
- [4] 盛万兴,杨旭日. 多 Agent 系统及其在电力系统中的应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [5] 卢强,戚晓耀,何光宇. 智能电网与智能广域机器人[J]. 中国电机工程学报,2011,31(10):1-5.
LU Qiang,QI Xiaoyao,HE Guangyu. Smart grid and smart wide area robot[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(10):1-5.
- [6] National Science Foundation of the United States. Cyber Physical System (CPS) program solicitation [EB/OL]. (2011- 03-11). <http://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10515/nsf10515.htm>.
- [7] 赵俊华,文福拴,薛禹胜,等. 电力 CPS 的架构及其实现技术与挑战[J]. 电力系统自动化,2010,34(16):1-7.
ZHAO Junhua,WEN Fushuan,XUE Yusheng,et al. Cyber physical power systems:architecture,implementation techniques and challenges[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(16):1-7.
- [8] 赵俊华,文福拴,薛禹胜,等. 电力信息物理融合系统的建模分析与控制研究框架[J]. 电力系统自动化,2011,35(16):1-8.
ZHAO Junhua,WEN Fushuan,XUE Yusheng,et al. Modeling

- analysis and control research framework of cyber physical power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(16): 1-8.
- [9] 刘汉宇,牟龙华. 微网 CPS 体系架构及其物理端研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):34-37.
- LIU Hanyu,MU Longhua. Architecture of microgrid CPS and research of its physical side[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(5):34-37.
- [10] MACANA C A,QUIJANO N,MOJICA-NAVA E. A survey on cyber physical energy systems and their applications on smart grids[C]//2011 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies. Medellin,Colombia:[s.n.],2011:1-7.
- [11] REN Fenghui,ZHANG Minjie,SOETANTO D. Conceptual design of a multi-agent system for interconnected power systems restoration[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2012,27(2):732-740.
- [12] 高济,袁成祥,王进. 支持 Agent 社交活动的方法体系 SASA5[J]. 计算机学报,2005,4(5):38-47.
- GAO Ji,YUAN Chengxiang,WANG Jin. SASA5:a method system for supporting agent social activities[J]. Chinese Journal of Computers,2005,4(5):38-47.
- [13] 孙钦东,张德运,高鹏. 基于时间序列分析的分布式拒绝服务攻击检测[J]. 计算机学报,2005,28(5):767-773.
- SUN Qindong,ZHANG Deyun,GAO Peng. Detecting distributed denial of service attacks based on time series analysis[J]. Chinese Journal of Computers,2005,28(5):767-773.
- [14] 唐晋韬,王挺,王戟. 适合复杂网络分析的最短路径近似算法[J]. 软件学报,2011,22(10):2280-2290.
- TANG Jintao,WANG Ting,WANG Ji. Shortest path approximate algorithm for complex network analysis[J]. Journal of Software,2011,22(10):2280-2290.
- [15] 徐小龙,程春玲,熊婧夷. 基于 multi-agent 的云端计算融合模型的研究[J]. 通信学报,2010,31(10):203-210.
- XU Xiaolong,CHENG Chunling,XIONG Jingyi. Conjoint model of cloud & client computing based on multi-agent[J]. Journal on Communications,2010,31(10):203-210.

作者简介:



刘汉宇

刘汉宇(1982—),男,重庆人,博士,主要研究方向为电力系统智能控制、微电网智能控制(**E-mail**:d_boy2001@163.com);

邱 赞(1983—),女,黑龙江哈尔滨人,工程师,硕士,主要研究方向为船舶新能源发电系统(**E-mail**:QiuYun_1983@163.com);

牟龙华(1963—),男,江苏无锡人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力系统微机保护与电能质量(**E-mail**:lhmu@tongji.edu.cn)。

Conjunct model of physical side on microgrid CPS

LIU Hanyu^{1,2}, QIU Yun³, MU Longhua¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 200011, China;

3. Shanghai Institute of Marine Equipment, Shanghai 200031, China)

Abstract: The information resource environmental characteristics of microgrid CPS(Cyber Physical System) are analyzed based on its architecture and a conjunct model is proposed for its electrical physical device node, which is in essence a conjunct model attaching to the working conditions of electrical physical devices for the cloud & client computing of microgrid CPS. The information resources assigned to the physical device terminal node are fully mined and the tasks of different levels are allocated in order to the core server nodes, cluster server nodes and physical device nodes for the efficient use of all information resources. An annular collaborative management mechanism is put forward for the flexible dispatch and management of the massive information resources under the “plug and play” control of microgrid, which effectively enhances the working stability of physical device nodes and reduces the computing load of upper nodes. A design scheme based on the conjunct model is provided as reference.

Key words: microgrid; cyber physical system; Agents; conjunct model; electric equipments; physical terminal; models