

绿色智能家庭能源管理系统及其业务建模

能源互联网强调实体的互联与共享，家庭能源管理作为其重要组成实体，为实现能源精准监控以及系统之间的交互，系统需综合考虑能源生产侧和负荷用能侧的能源供需信息，并对该过程进行标准化描述。为此提出一种包含可再生能源发电和能源消费的绿色智能家庭能源管理系统（GSHEMS）框架，介绍了其组成与功能，并根据面向能源互联网的业务建模一般方法，给出GSHEMS业务建模过程，为业务系统建设和部署提供标准化指导。

袁晶晶¹ 胡紫巍² 孙媛媛¹ 翟明岳¹ / 1. 华北电力大学电气与电子工程学院
2. 全球能源互联网研究院

0 引言

能源互联网已经成为未来能源行业的发展趋势，其主要特征体现为互联、开放、共享和对等。家庭作为能源系统的组成实体，将以对等的形式接入到能源互联网中。分布式可再生能源的发展使得家庭能源在形成一个自治体系的同时，还可以与大电网进行双向能源交互。因此，家庭能源管理系统需综合考虑可再生能源产能和家电用能，构架全新的系统结构以支持更多、更复杂的功能实现，保证供需平衡、节约用电成本。

家庭能源管理系统（HEMS）的研究得到许多学者的广泛关注。文献[1]通过研究一种能够处理网络连接的家电控制模块，提出了基于电力线通信（PLC）的家庭用电优化方法。文献[2]提出了能够监测、比较以及控制家电用能的绿色家庭能源管理系统。文献[3]研究了包

含太阳能、风能和潮汐能的混合发电系统。文献[4]基于PLC的电力控制模块，提出了增强对家电智能监测与控制的管理系统。文献[5]提出了大电网故障发生时家庭能源管理孤岛运行模式。但是这些研究中均没有考虑将分布式发电和负荷智能用电综合分析以实现供需平衡。

本文针对此，基于能源互联网互联、共享的特征及借鉴互联网理念实现信息能源基础设施一体化，提出一种绿色智能家庭能源管理框架（GSHEMS）。系统中既包括以分布式能源和大电网共同支撑的能源供能，又包括智能控制设备运用通信技术实现负荷智能用电。两者之间按照相应流程进行信息交互和能量控制，实现供需平衡及优化用能。

同时，为实现系统间的交互，需对该业务系统进行规范化描述。本文将绿色智能家庭能源管理作为一类典型的局域网场景，采用文献[6]的方法对其进行业务建模，完成了该系统的业务总体描述、业务功能描述和业务内容确定三方面的标准描述，同时为该业务的部署及设计提供了理论基础支撑。

1 绿色智能家庭能源管理系统框架

能源互联网中将存在大量的分布式电源，其中风能和光伏发电是居民侧最常见的分布式可再生能源形式。为优化能源结构，家庭能源管理系统需要为家庭用户拥有的分布式可再生能源接入电网提供支持；需支持需求响应在居民侧的实施，居民用户通过HEMS对电力公司



袁晶晶/硕士研究生

关键词/Keywords

GSHEMS ·
业务建模 ·
标准化 ·

国家电网公司科技项目（SGRXTKJ[2015]253），Science and Technology Project of State Grid Corporation of China（SGRXTKJ[2015]253）。

发布的动态电价信号进行合适的响应，对用电设备进行优化控制降低用户用电费用，削减电力峰值需求；另外电动汽车还可以利用家庭用电网络安全接入电网，实现电动汽车的入网充电，消除对电网的不利影响。

如图1所示，GSHEMS中主要包括四类设备：用电负载、分布式电源、储能设备及控制管理设备。核心思路为系统中的设备智能管理器运用信息通信技术，实现能源管理模块和可再生能源网关分别对家电用电和可再生能源发电进行监测；对用电和发电数据进行采集处理，根据分析结果以及接收的电价，运用控制技术和网络通信技术对用电负载进行优化用能调度，实现居民侧需求响应，优化用能；利用储能装置改善风电和光伏发电的电能质量，提高利用率；根据电能需求分析实现与电网的售电交易，降低用户的用电费用。

在负载用能侧，用户可以利用智能设备经无线网络访问智能管理器，手动设置用电需求、浏览家庭能源信息。智能管理器与安装在每个用电

负载的能量计量通信单元（EMCU）之间进行通信。EMCU包括通信模块和测量模块，EMCU周期性地负载用电测量值传送到智能管理器，智能管理器采集并处理数据，将分析结果、用户需求和获得电价结合得出优化用能策略（时间段、优先级等），减少用电成本。

在能源发电侧，利用可再生能源网关（REG）监测太阳能和风能的发电。嵌入在每一个太阳能板内的PLC调制解调器将监测的太阳能板状态利用串行通信技术传送至可再生能源网关（REG）。可再生能源网关利用通信技术将采集的状态数据传送至智能管理器。智能管理器分析上传的能源发电数据，并结合家电用电情况实现家庭负载的供能。

能源互联网环境下的家庭能源管理系统不仅要单个家庭环境内的用能进行优化、管理，还需要多个家庭协同工作。因此，能源互联网环境下的HEMS需要家域网（HAN）、小区网络（NAN）和广域网（WAN）三种网络的支持。众多智能管理器将信息数据传送至区域控制中心，

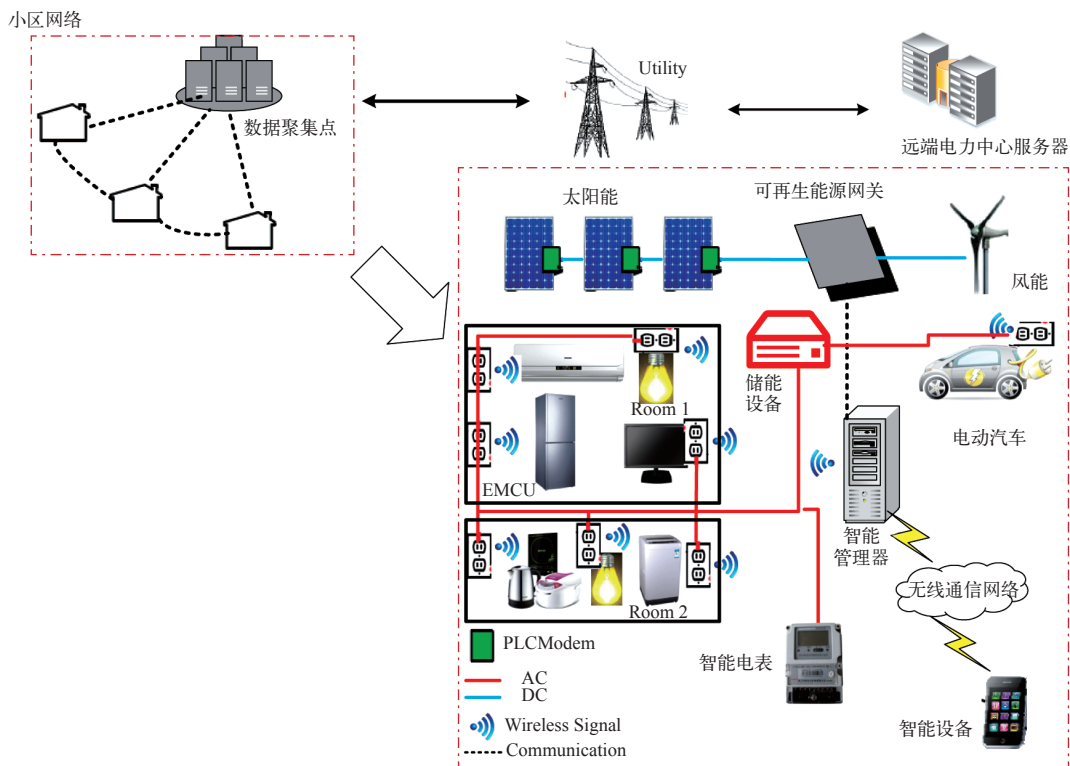


图1 绿色智能家庭能源管理框架

再通过广域网送到电力公司实现用能计量、统计、比较、能源门户服务 (Energy Portal Service) 和订阅等功能, 同时电力公司发布的需求响应控制命令、调度策略和电价等信息将沿相反的路径回传。

另外, 为应对风能和光能的间歇性、随机性, 智能管理器根据一段时间内采集的发电数据以及天气预测估计可再生能源的发电情况, 利用储能装置维护系统的稳定性, 提高利用率。在智能管理器和数据聚集点协同下, 实现小区内用户之间、用户与大电网之间的电能交互。例如: 在电力需求的“谷底”, 储能系统将从电网吸收电能, 在用电高峰时期供给家庭用电负载使用, 或向区域内其他用户供电, 或供给给电网来获取经济效益。

2 智能家庭能源管理业务建模

能源互联网环境下的HEMS为保证能源的合理有效利用, 降低用户的用能费用, 需实现区域中多个家庭间的交互和协同工作, 本部分将基于文

献[6]提出的具体能源互联网业务建模设计一般方法, 规范GSHEMS业务建模流程, 下面将从业务总体描述、业务功能定义和业务内容确定进行具体介绍。

2.1 业务总体描述

基于上述提出的框架, 这里通过UML用例图的形式对GSHEMS进行总体描述, 如图2所示。在家域网中, 智能管理器作为重要单元, 需具备数据处理、电能监测、通信和调度管理等功能实现用电负荷、储能设备和可再生能源之间的合理调度和控制, 并通过信息的传递与输配电系统共同参与电力市场的电价规划和电力分配, 最后在电力市场调节下实现家域网中储能设备与输配电系统的能量传递。其包括以下组成部分。

参与者: 智能终端设备、智能管理器、EMCU、可再生能源网关、储能设备、数据聚集点、电力市场 (远端服务器) 和输配电系统。

功能: 每个参与者各自都具备实现能源管理的功能, 具体如表1所示。

储能设备、输配电系统和电力市场结合, 实

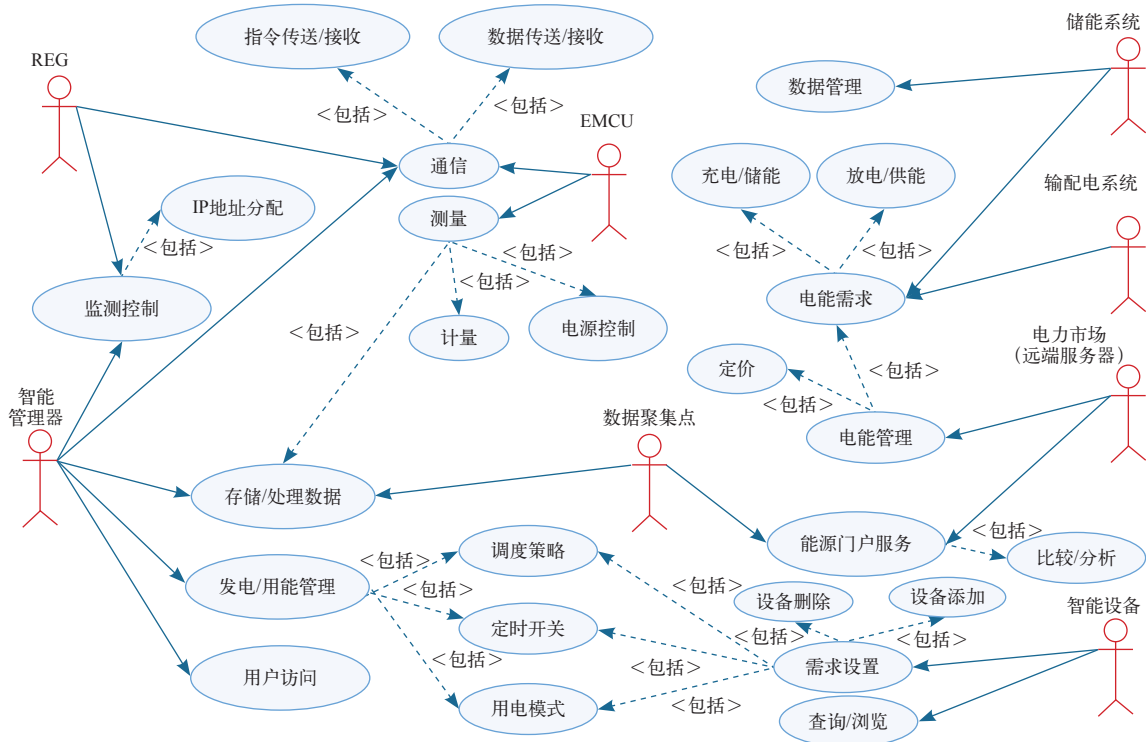


图2 绿色智能家庭能源管理UML用例图

表1 家庭能源管理业务组成表

业务组成	业务功能
智能终端设备	需求设置（设备的添加、删除、用电模式和定时开关等）、查询/浏览
智能管理器	用户访问、监测控制、发电和用能管理、通信（数据与指令的传送/接收）和存储/处理数据
EMCU	通信（数据与指令的传送/接收）、测量（电源控制、计量）
REG	通信（数据与指令的传送/接收）、监测控制（PLC调制解调器分配IP地址）
储能设备	数据管理、电能需求（充电/储能、放电/供能）
数据聚集点	存储/处理数据、门户服务（比较/分析、用能方式和调度策略等）
电力市场	电能管理（定价、电能需求）、能源门户服务（比较/分析、用能方式等）

现电能需求管理、电价制定和服务订阅。

过程：整个用例图分为用户利用智能终端设备访问智能管理器进行手动设置，家庭控制器结合负荷用电和可再生能源发电数据进行用能调度管理；储能设备、数据聚集点、输配电系统和电力市场参与市场定价，并根据市场需求实现能源交互。

用户利用终端设备访问智能管理器实现用能管理的过程如下。

1) 当家电添加或移除时，利用智能终端设备在智能管理器上进行信息注册，为嵌在家电中的EMCU分配/撤销IP地址。

2) 智能管理器将信息采集命令经通信网络发送至每个家电中的EMCU及REG，EMCU和网关接收指令并解析，完成家电用电信息和可再生能源发电信息的采集。

3) EMCU和REG将采集的数据回馈到通信网络并传送至智能管理器。

4) 智能管理器对采集的数据进行处理与存储（过滤/计算/存储/分析），根据用户需求和采集到的信息，自动制定优化调度策略，实现家电用电能的决策调度和动态控制（定时开关、用电模式等）。

5) 用户通过智能终端设备（手机、计算机等）应用程序经无线通信技术访问智能管理器，查询/浏览信息，也可以进行手动需求的设置。

智能管理器、数据聚集点和输配电系统信息传递的过程如下。

1) 多个智能管理器经网络将采集到的家庭用电信息和能源发电信息传送至数据聚集点。

2) 数据聚集点将数据经输配电系统上传至远端电力服务器。

3) 电力公司根据用电信息进行电能管理，进行电价设定以及电能需求的设定，并将信息及服务按原路径回传。

在电力市场参与下，数据聚集点、输配电系统与储能系统实现电能交互的关系如下。

1) 可再生能源发电装置向系统家庭内的用电负载供电。

2) 产能大于负荷用电量时，将剩余电能向储能设备充电（储能/充电），以削减电力系统用电高峰、无停电电源系统在灾害时的紧急用电源。若还有剩余，结合数据聚集点的数据分析，通过并网保护装置将电卖给区域中其他供能不足的家庭或送往输配电系统。

3) 产生的电能不能满足负荷需要时，先由储能设备供电（供能/放电）。若还不足，则根据传输至电力公司的数据及分析结果进行家庭之间的用能调度或直接从电力公司买电。

2.2 业务主要功能定义

家庭能源管理业务主要功能定义如表2所示。

2.3 业务主要内容确定

在GSHEMS中，智能管理器是系统的核心单元，它是家域网与外部网络进行信息交换的接口。对外向数据聚集点、电力控制中心传送家庭用能信息和用能需求，并接收电价信息和调度策略。在家庭内部根据数据分析结果实现所有家电、可再生能源和储能系统的配置、控制和调度。图3为系统中各组成部分之间信息传递图。

表2 家庭能源管理业务主要功能定义

业务组成	业务功能	业务定义
智能终端设备	需求设置	用户利用智能终端设备经通信网络登录到智能管理器进行手动设置家电设备的具体需求
智能管理器	监测控制/通信	基于分配给EMCU单元IP地址进行数据/指令的传递，实现对EMCU的监测和控制
	存储/处理数据	对采集的小时/日/周/旬/月/季度/年用电数据进行过滤、计算和存储，并进行相应需求信息分析
	发电/用能管理	根据数据分析结果对家庭设备表进行自动设置，实现家电用电决策调度与控制。根据采集数据判断可再生能源发电、用电负荷和输配电系统之间供能（买卖电）关系
EMCU	计量与控制	测量接入家电的功率、能量和功率因数等，根据接收的指令控制所连接家电的用电供应和切断
	通信	与智能管理器之间实现指令的接收/数据的传递
REG	监测控制/通信	管理控制所连接的以IP为标识的调制解调器，进行数据/指令的传递，实现状态数据的采集管理
储能系统	电能需求	完成储能/充电、供能/放电操作
数据聚集点	存储/处理数据	接收并存储各智能管理器上传的用能信息，并将信息上传至远端电力中心服务器
电力市场	电能管理	根据已经采集到的用电数据分析结果确定电力定价和电能需求策略
	能源门户服务	电力公司接收不同用户用能数据并进行比较分析，向用户提供订阅服务

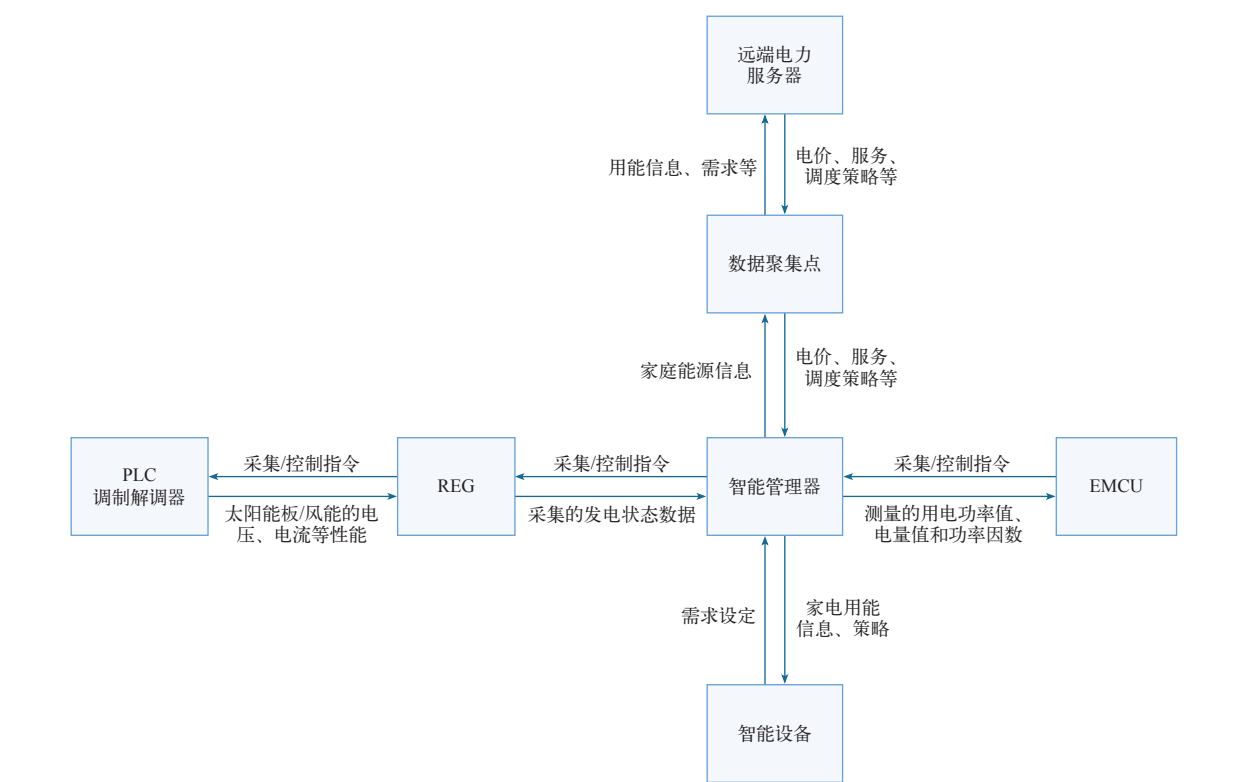


图3 系统信息传递示意图

家庭能源管理业务内容如表3所示。

3 结束语

在能源互联网环境下，家庭环境内的用电网络构成一个家域微电网，拥有用电负载、储能系统和分布式电源等设备。本文提出了综合可再生能源发电和用能的GSHEMS，支持居民侧需

求响应实施、分布式电源和电动汽车接入网络，运用控制技术和网络通信技术优化用能策略、提高用电效率。基于一般建模方法对该业务进行简单描述，有助于系统之间的交互和协同工作，为GSHEMS的设计及部署提供了解决思路，将促进能源互联网的全面实现。对业务的标准描述还处于初步研究阶段，详细的建模过程还有待深入研究。

表3 家庭能源管理业务内容

业务组成	业务功能	业务内容
智能终端设备	需求设置	家电需求电量、用电模式、定时开关时间、家电的功能特性及分类（可调度、不可调度等）和IP地址
	查询/浏览	各家电待机电量、耗电量和可再生能源的发电量
智能管理器	监测控制/通信	家电设备IP地址、广播方式、优先级别、延迟和同/异步性 家电设备IP地址、PLC调制解调器IP地址、家电小时/日/周/旬/月/季度/年的用电量（电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数和电网频率等）、可再生能源的发电量（标识风能、太阳能发电系统性能状态的数据和预测的发电量）以及数据的瞬时和长久性、静态性和动态性
	存储/处理数据	
	发电/用电管理	购电信息、售电信息、存储信息和家电的运行设备表
	计量与控制	控制指令、家电的功率值、电量值和功率因数
EMCU	数据传送	家电的电压值、电流值、功率值、电量值和功率因数
	指令接收	控制指令、本地调用能源指令和电网收购能源指令
REG	监测控制/通信	PLC调制解调器IP地址、太阳能板和风能发电的状态数据
储能设备	电能需求	各家电的用电总量、可再生能源的发电总量及预测量
数据聚集点	数据存储	各家庭地理位置信息、各家庭的总用电量、可再生能源的总发电量和预测量、本地售电信息和购电信息
电力市场	电能管理	各家庭地理位置信息、各家庭用能数据
	能源门户服务	各家庭地理位置信息、各家庭的用能数据、售电所得费和购电用电费
	定价	不同时间段的实时电价、向电网卖电的实时电价

参考文献

[1] Youngsung Son, Kyeongdeok Moon. Home energy management system based on power line communication [C]. IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, 2010: 115-116.

[2] Jinsoo Han, Changsic Choi, Wanki Park, et al. Green home energy management system through comparison of energy usage between the same kinds of home appliances [C]. IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Singapore, 2011: 1-4.

[3] Chiahung Lien, Hsienchung Chen, Yingwen Bai, et al. Power monitoring and control for electric home appliances based on power line communication [C]. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, British Columbi, 2008: 2179-2184.

[4] Saeed Jahdi, Loilei Lai. Grid integration of wind-solar hybrid renewable using AC/DC converters as

DG power sources [C]. World Congress Sustainable Technologies, 2011: 171-177.

[5] Hayato Yamauchi, Kosuke Uchida, Tomonobu Senjyu . Advanced smart home [C] . IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power, Hong Kong, 2012: 130-135.

[6] Weimin Lin, Ziwei Hu, Jinghong Guo, et al. Research on business modeling mechanism for energy internet [C]. Global Energy Internet Conference, 2016: 1000-1006.

[7] Jinsoo Han, Changsic Choi, Wanki Park, et al. Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC [C]. IEEE International Conference on Consumer Electronics, Las Vegas, 2014: 198-202.

[8] 王继业, 郭经红, 曹军威, 等. 能源互联网信息通信关键技术综述 [J]. 智能电网, 2015, 3 (6) : 1-10.

[9] 艾萍, 施展. 业务建模技术综述 [J]. 计算机应用与软件, 2012, 29 (7) : 1-6.

(收稿日期: 2016-06-09) **EA**