

智能家居能耗管理的研究进展

梁明^{1,2} 李学瑞² 石永华² 马芳¹ 何丽娇¹
(1. 中国电器科学研究院有限公司 中山 442000
2. 华南理工大学 机械与汽车工程学院 广州 510300)

摘要：随着智能家居的不断快速发展，智能家居能耗管理系统实现了对家电设备的能源使用情况进行实时监测，进一步优化家庭能源消耗结构，从而实现节能减排。本文详细介绍了基于智能家居能耗管理系统及能耗管理策略的研究进展。目前，家庭能耗管理系统的研究主要有对家庭能耗建立能耗模型，理论分析设计最优的家庭能耗管理策略以及通过案例设计，分析用户自觉采取节电行为进而研究家庭能耗管理策略的有效性两个方向。现有的研究和实验表明，采取家庭能耗管理策略可以有效的达到节能减排的目的。

关键词：智能家居；能耗管理；节能减排

Abstract: With the rapid development of smart home appliances, information and web based home appliances also have a relatively huge development. This makes it possible for the real-time supervision of the status of home appliances. For the further optimization of home energy consumption architecture, the home energy management system was created. In this paper, it mainly introduces the energy consumption management systems applied in the home energy management system. Currently, one of the strategies designs the optimal energy consumption management strategies by using modeling and theoretical analysis. And the other strategy, by the way of analysis of experiments cases which taken from users, researchers mainly made a research on the influences of user behavior on energy saving by providing user visualized information of home energy consumption. Given the existing results, it is effective for users to take energy consumption management strategies in the home energy management system for the purpose of energy saving and emission-reduction.

Key words: smart home appliances; energy consumption management; energy-saving and emission-reduction

引言

随着全球人口膨胀和经济的发展，能源消耗不断加大，全球气候变暖已成为威胁人类生存的重大问题。因此，提高能源利用效率，节能减排已成为我国的基本国策之一。电能是主要的能源，社会经济的快速发展致使人们对电力的需求日益增加，鉴于发电过程带来的环境污染问题和用电侧的电能浪费现象，为适应未来经济社会发展的需要，全面支持清洁能源和低碳经济发展，研究如何实现家庭电能消耗的最优配置和探求有效的电能节约途径成为研究的热点^[1]。

智能家居能耗管理系统是智能家居不断发展的产物，作为能耗管理的核心组成部分——能耗管理策略也在不断的发展之中。社会经济的快速发展使得人们对于高质量的电力需求

日益增加，如何有效的控制家庭电能消耗、提高电能利用率成为重要的研究课题。

1 智能家居能耗管理系统构成

传统意义的家庭电力能耗信息主要有电力供给部门提供的电费账单作为电能消耗指标反馈给用户。用户只有非常有限的信息量，比如当月总的用电量和费用，缺乏家庭用电详细的能耗构成，处于被动的信息接收地位^[2]。文献 [3] 较早的提出了家庭能耗管理系统概念，认为在能耗大的家用电器上增加具备通信功能的模块，使得用户能监察耗能大小，关注家电能耗规模而实现用户端提高电能利用率的目的。文献 [4] 给出了一个典型的智能家居管理系统，如图 1 所示，该系统由 zigbee 模块组成

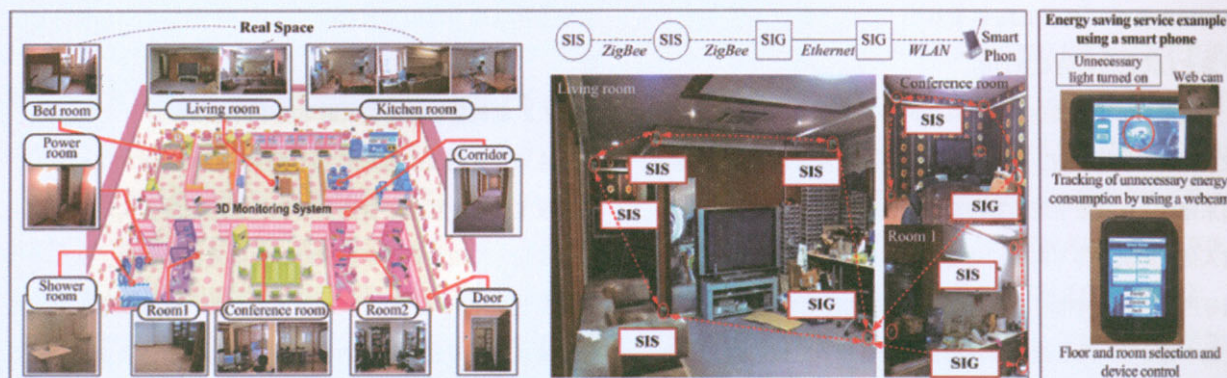


图1 家智能家居能耗管理系统

室内的传感器网络,收集照明系统、空调、冰箱、电视等功率电器的耗能,另外,结合温度、湿度、红外等传感模块,采集室内环境参数信息为主控制器对电器的控制提供参考信息。通过zigbee模块发送到终端控制器进行数据分析和处理。终端控制器通过Ethernet和有线网连接实现远程计算机控制,也可以通过WLAN和手机通信实现手机显示耗能信息的功能。该系统能够为用户建立详细的家庭能耗信息数据库,基于主控制器采用的遗传算法帮助用户分析能耗构成,方便用户了解各个用电场所和用电单元的耗电信息,给予个性化的显示。并对电力消费做横向和纵向的对比,使用户对电能的消费一目了然,指导用户自觉采取节能措施,提高用电效率。

2 家庭能耗管理策略研究

目前家庭能耗管理策略的研究方向主要有两个:一是对家庭能耗建立能耗模型,通过理论分析和软件仿真(主要是MATLAB/SIMULINK)设计最优的家庭能耗管理策略^[5];二是通过设计家庭能耗管理系统在具体的家庭环境中应用,进行实验和对用户的调查反馈,研究家庭能耗管理系统在实践层面的有效性。

2.1 能耗管理策略的理论分析和仿真

在家庭能耗管理策略建模和理论分析方面,文献[6]基于已有的住宅能源管理系统(BEMS)未能把用户的选择考虑在内而带来的节能效果不明显的现实,利用模糊控制技术,设计研发了一个模糊控制器,将用户选择通过人机界面加入能源管理系统之中,在满足用户设定参数的基础上实现最小化能源消耗,进

一步给出了建立能源消耗的模型和消耗函数(cost function),利用MATLAB/SIMULINK进行了仿真,建立的能耗函数为:

$$\text{Cost } F = w_1 * f_1 + w_2 * f_2 + w_3 * f_3 + w_4 * f_4 + w_5 * f_5 \quad (1)$$

其中: f_1 是基于温度、相对湿度、空气流通速率、室内活动水平等的耗能参数; f_2 是二氧化碳的排放量参数; f_3 是自然光对耗能的贡献参数; f_4 是加热和制冷的耗能参数; f_5 是照明系统的耗能参数。 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 、 w_5 分别为各个参数的权重值。结果表明,用模糊控制算法,可以提高整个BEMS的性能并且能实现较好的节能。

文献[7]提出了一个基于家庭自动化的电能消费管理方法。应用需求侧负荷管理(Demand-Side load Management)的方法,将住宅需求侧负载管理分为3层:预测层、反应层和设备层。主要针对预测层建模,分析预测机制,做出电力能源分配的决策,依据用户需求设定电器恒定或定时的服务。就家用电器时限服务而言,文献[8]中也提出了家用功率电器因为缺乏精确的用户管理,造成电器工作在无人空间和过热或过冷现象带来的电能浪费。尤其是在大功率电器(空调/加热器等)的工作范围和工作时间设定方面。应用需求侧负荷管理的策略,既能满足用户需求的最大化又能避免不必要的电能浪费,实现电能消耗的最小化。模型中的NP难题,通过引进Tabu Search算法^[9]进行解决。Tabu算法能够解决组合优化的许多问题,在进行家庭能耗分析时,Tabu搜索的思想是标记对已搜索的局部最优解的一些电器的耗能指标,并在进一步的迭代搜索中尽量避开对这些电器的搜索,从而保证对不同的电器耗能指标的探索。得到所有电器的耗能指标最优解时,也就满足家用电器耗能的组合优化。

分析结果表明，基于 Tabu 搜索算法，该模型能够实现满足用户需求 and 降低能耗的双重目的。

文献 [10] 主要描述了一个具备网络接入能力的设备工作组状态的能源消耗模型。通过把网络服务和家庭自动化设备连接起来建立一个高效节能的基础设施实现消费者对电能的管理。引入信息库机制为不同级别的用户提供优化的家庭用电模式，指导用户对接入网络的设备进行管理实现能耗消费最低的目的。文献中建立了一个 3 层的市场模型，结合用户、供应商，给出了优化的方案，通过设计的算法分析证实了用户电能利用率提高可以通过网络服务与用户使用策略及智能电表数据的联合而实现。

文献 [11] 中作者引用美国政府住宅能源消耗调查报告 (RECS) 的数据，综合考量电能价格随季节性变化的因素，住宅取暖和降温对电能要求不同的因素以及天气变化对电能需求不同的因素，探求了应用于多种需求侧功能的复杂多参数电力需求函数，并利用非线性最小二乘法分析得到适合能源消耗数据的参数。需求函数为家庭耗能管理策略的制定提供了理论性的分析基础，同时为节能减排提供了一个有效的理论分析工具。

在家庭耗能管理策略建模和理论分析方面，现有的研究主要集中在模型的软件仿真和算法的最优化方向。智能家居耗能管理模型的建立和完善离不开系统传感器网络功能的完善和强化，基于能耗的函数分析也要综合全面的考量智能家居系统中各个耗能单元的参数，尽可能多地引入引起能耗变化的因子，

做归一化处理为智能家居管理系统提供相对简单的理论分析基础。

2.2 能耗管理策略在家庭环境中的应用实验

在通过案例实证的方式，设计研究家庭能耗管理策略方面，现阶段主要集中在基于智能家居能耗管理系统，实现耗能信息的可视化，为用户详尽掌握家庭耗能信息提供便捷，从而使用户自觉改变用电行为模式实现节能的目的。通过观察家庭成员行为模式来探究家庭节能的可行性，结合人员活动来确定有效的节能行为模式并进行相关的节能产品设计 [12]。

文献 [13] 把研究用户行为，动机和喜好融入具备传感网络和实时能耗显示功能的家庭能源管理系统中。使系统具备更高的实用价值，同时对用户行为模式的改变产生更大的影响。提出了递进循环的设计方法，在循环 1 中主要进行智能家居能耗管理系统的设计，主要包括传感网络的建立，耗能信息的充分采集和处理。循环 2 则在循环 1 的基础上通过多方的实时显示器 (PC、手机等) 进行数据的可视化表达，如图 2 所示。循环 3 在循环 1、2 的基础上进一步细化，添加用电贴士，增加天然气仪表监察等方式尽可能多的为用户提供家庭耗能信息。循环 2、3 基于对用户做问卷调查得到循环 1 所设计系统的反馈信息作为此次设计的考虑因素，综合用户对系统的要求对系统做改进。通过 4 个月的研究调查发现，详尽的能耗信息可视化的表达从一定程度上对用户节电意识的培养起到了至关重要的作用，家庭耗能得到了明显的改善。

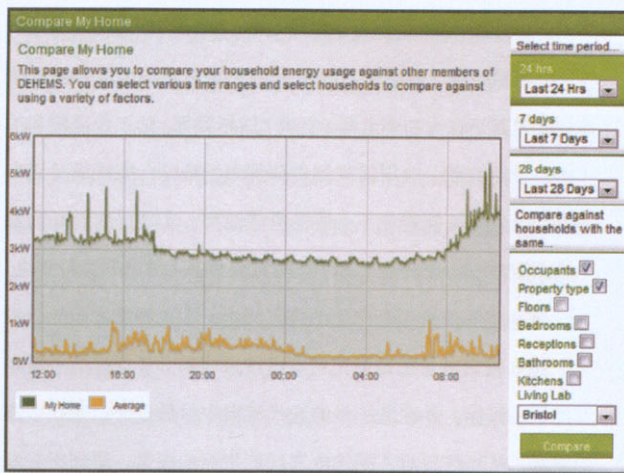


图 2 家庭能耗分析图

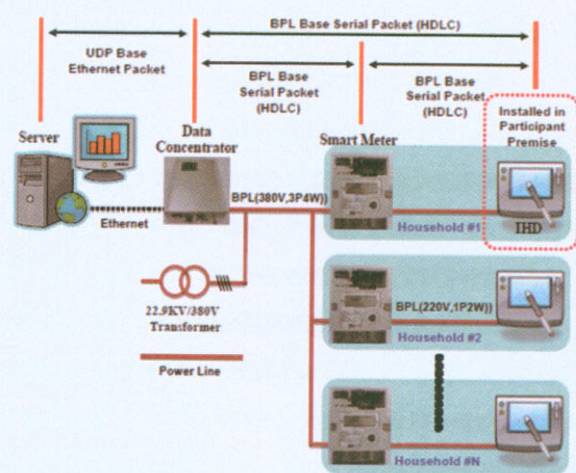


图 3 智能电表系统结构图

文献 [14] 基于先进的智能电表系统, 给出了特别适合韩国居住环境的家庭能耗管理策略。作者在韩国两个城市不同面积大小的 77 个用户家庭安装智能电表系统, 如图 3 所示, 把电器的耗能信息通过智能电表发送到服务器进行处理, 然后基于智能电表系统的 IHD, 即家庭能耗内部显示器 (In-Home Display)。历时 2 个月得到电能消费记录表明, 通过对用户提供清晰明了耗能信息能够改变用户用电行为习惯。通过实验数据看出, 为用户提供实时的能耗反馈信息, 能够增强用户节电的意识, 增强自我约束力实现高达 10% 的电能节约。

文献 [15] 组建了一个安装在公寓中的实验性的系统。该系统分为 4 个子系统, 分别为空调变压器控制系统、照明控制系统、开关控制系统以及用电警告系统, 能够监视用电量并通过 LCD 加以显示, 在用电量接近规定用电水平时通过 LED 灯提醒用户。警告系统的引入, 鼓励用户关注家庭电能消耗, 进而改变用电模式, 起到了很好的提醒作用。实验结果显示, 该系统在一个月的运行期内, 总用电量比预测值减少了 17.55%。

文献 [16] 通过网络调查问卷的形式收集家庭能耗信息和用户用电行为习惯方面的数据, 根据相同等级不同用户的用电状况建立知识库。如图 4 所示, 在这个知识库中, 各个用电单元的能耗信息经过采集和处理, 使得相同用电等级的用户可以发现自己和其他用户在耗能方面的差距。由知识库的资源共享, 找到其他用户较好的用电方式和理念, 来改变自己的用电习惯, 学习和实践更加省电的模式。用户将个人良好的用电习惯上传知识库, 从而实现知识库信息不断的在升级和更新, 更多更有效的节能途径和方法被用户引用, 实现了用户在节能方面生活

方式的改变。

文献 [17] 在家庭能源管理系统的基础上添加合适的节能模式选择, 用户依据对自己的电能消耗分析结果选择个性化的节能模式。作者对比控制家用电器的自动化和通过视觉化用电信息来鼓励用户采取节能措施两种节能方法, 得出方法二可以实现更好的节能目的。如图 5 所示, 通过智能家居能耗管理系统, 整合来自小区所有用户的耗能信息, 排列用户的耗能指数, 得出耗能最低用户的用电模式并加以推广, 添加节能模式于智能家居能耗管理系统得以实现。这种方式也在一定程度上影响用户的行为习惯改变达到用户自发节能的目的。

进行案例设计和对用户的调查反馈, 研究智能家居能耗管理策略在实践层面的有效性方面, 文献中使用的实验平台搭建和实地考察的方法为家庭能耗管理策略的研究提供了方向, 既在用户的反馈中不断完善智能家居能源管理系统的功能性和实用性, 又能指导用户自觉改变行为习惯向更高效率的节能减排目标努力。文献 [18] 积极肯定了家电用电信息反馈对节能减排的作用, 但同时指出精确地估量这种影响的方法还很少, 实践层面的研究还很缺乏。

3 结束语

分析已有的研究和实验, 发现通过架构家庭能源管理系统, 充分实现家庭耗电情况的数据化和图像化处理, 为用户提供详尽的耗电信息从而指导用户自发地采取节能的用电措施是当前家用电器实现节能减排的有效途径。为获得更有效的节电方案, 一方面应搭建实验系统, 深入调查用户对家庭能源管理系统的

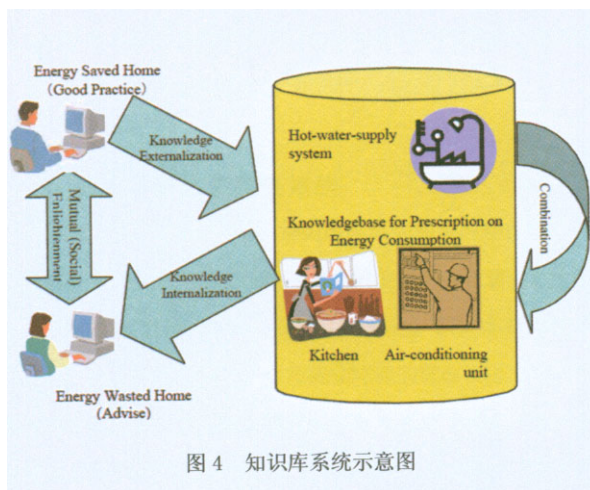


图 4 知识库系统示意图

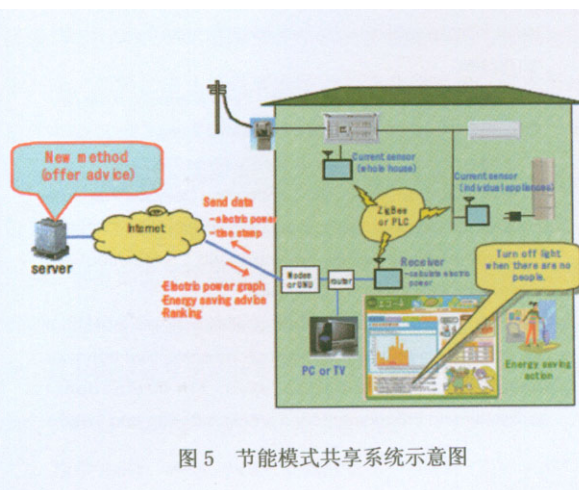


图 5 节能模式共享系统示意图

反馈信息,不断增强智能家居能耗管理系统的实用性和有效性,建立优化家庭能耗的知识库,为用户提供更加节约的耗能模式。另一方面,应坚持理论研究和实践相结合的原则,研究基于AMI(高级计量架构)和HEMS(家庭能耗管理系统)结合的方法,探求智能家居能耗管理系统在输配电及用电两个层次的结合,建立更完善的节电系统,实现电力资源的节约。

参考文献

- [1] 回海滨,孔祥鹤.低碳经济下的智能用电技术与环境安全[J].中国环境管理干部学院学报 2011, 2(21): 37-38
- [2] 章鹿华,王思彤,易忠林等.面向智能用电的家庭综合能源管理系统的设计与实现[J].电测与仪表 2010, 9(47):35-36
- [3] Boivin J Y. Demand side management: The role of the power utility[J].Pattern Recognition, 1995, 28(10): 1493-1497
- [4] Jinsung Byun, Sehyun Park. Development of a Self-adapting Intelligent System for Building Energy Saving and Context-aware Smart Services[C].IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2011, 2(57):90-95
- [5] Sierr E, Hossian A, Britos P, et al. Fuzzy Control For Improving Energy Management Within Indoor Building Environments[C].Morelos: Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2007: 412-416.
- [6] 彭金华,舒少龙,林峰等.家庭能耗管理系统研究综述[J].电力需求侧管理, Vol.13, No.1 Jan., 2011 35-38
- [7] Long Duy HA, Stephane Ploix, Eric Zamai, Mireille Jacomino. Tabu search for the optimization of household energy consumption[C]. Hawaii: IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, 2006:86-92.
- [8] Eric D Williams, H.Scott Matthews. Scoping the potential of monitoring and control technologies[C]. Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, 2007: 239-244
- [9] Fred Glover.Tabu search: A tutorial[J]. Interfaces, 1990, 20(4):74-94
- [10] Chen Wang, Martin de Groot, Peter Marendy. A Service-Oriented System for Optimizing Residential Energy Use[C].2009 IEEE International Conference on Web Services:735-741
- [11] John D Hobby, Murray Hill. Constructing Demand Response Models for Electric Power Consumption[C].IEEE First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010, 10: 403-408
- [12] Elias E W A, Dekoninek E A, Culley S J. The potential for domestic energy savings through assessing user behavior and changes in design[R]. Tokyo: 5th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse

Manufacturing.2007.

[13] Vasughi Sundramoorthy, Qi Liu, Grahame Cooper, Nigel Linge, et al. DEHEMS: A User-Driven Domestic Energy Monitoring System[C].Internet of Things (IOT), 2010.

[14] Tae-Seop Choi, Kyung-Rok Ko, Seong-Chan Park, et al. Analysis of Energy Savings using Smart Metering System and IHD(In-Home Display)[C]. Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009,11:1-4

[15] Rojchaya S, Konghirun M. Development of energy management and warning system for resident: An energy saving solution[C]. Chonburi: International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009: 426-429.

[16] Shuki Inoue, Jin Dai, Masakazu Shiba, et al. Knowledge Management Approach for Saving Home Energy Consumption[C].2010 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ), 2010:1-6

[17] Hiroshi INOUE, Masaki YAMAMOTO. Development of Home Energy Management System With Advice Function[C]. 2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), 2011:1-4

[18] Danny Parker, David Hoak, Alan Meier, et al. How much energy are we using? Potential of residential energy demand feedback devices: Proceedings of the 2006 summer study on energy efficiency in buildings[R]. California: America Council for an Energy Efficient Economy, 2006.