

智慧住宅的源起探究、绿色概念辨析与智能化指标体系构建*

The Evolution and Evaluation Index of Smart House Based on the Comparison with Green House

沈振江 Puteri Fitriaty 曹哲静 但雨泽 SHEN Zhenjiang, Puteri Fitriaty, CAO Zhejing, DAN Yuze

摘要 近年来,智慧住宅的设计与建设逐渐成为热点。智慧住宅通过一体化平台管理控制家用电器,并基于功能性的自动化技术创造高品质的生活。通过相关研究综述,解析智慧住宅的设计原则,并与绿色住宅进行异同点的概念区分,对智慧住宅的概念源起与发展进行了探讨。以日本的智慧住宅建设为案例,对6处智慧住宅进行了概念实施的比较分析,最终构建智慧住宅的智能化指标体系。智慧住宅概念与绿色住宅概念存在叠合,集中体现在用户关怀、节能节水、响应气候变化的参数设计中。

Abstract Smart house has gaining increasing popularity both in academic and industrial world. The smart house was devoted in creating a high quality of life based on technologies of the functional automation within residential buildings. This paper firstly retraces the concept of smart house based on literature review. Then it analyzes the design principals of smart house, further comparing the similarities and the differences between smart house and green house. This paper also investigates into six typical smart house projects in Japan, and finally establishes the index for smart house evaluation. It is held that there is concept overlaps between smart house and green house, which is majorly embodied in design parameters of respect for users, energy and water conservation, and climate adaption.

关键词 智慧住宅 | 绿色概念辨析 | 智能化指标体系 | 住宅参数 | ICT | HEMS

Keywords Smart house | Green concept | Smart house evaluation index | Design parameters | ICT | HEMS

文章编号 1673-8985 (2018) 01-0001-11 中图分类号 TU981 文献标志码 A

作者简介

沈振江

福州大学-金泽大学国际联合实验室

主任

金泽大学环境设计学院

教授,博士生导师

Puteri Fitriaty

日本金泽大学环境设计学院 都市计划研究室

博士研究生

曹哲静

北京清华大学建筑学院

博士研究生

但雨泽

日本金泽大学环境设计学院 都市计划研究室

博士研究生

0 引言

智慧住宅旨在通过引入家庭能源管理系统(Home Energy Management System, HEMS),管理和平衡住宅耗能,为用户创造舒适的生活环境,从而提高用户生活质量^[1]。智慧住宅作为新兴领域,各式各样的类型与功能不断被开发建

设,但智慧住宅的概念依旧较为模糊^[2-3],且相应实证研究较少^[4]。在智慧住宅发展进程中,一直存在分别来自学界和业界的两种观点。学界探讨的智慧住宅偏向于自动化的理想节能设备^[5-6],业界主要从智慧住宅为用户生活提供的便利性出发^[3],但二者均强调信息通讯技术基础设施(Information

*基金项目:日本科学研究费基盘C项目“城市设计导则与绿色建筑的节能效果可视化分析”(编号15K06354)资助。

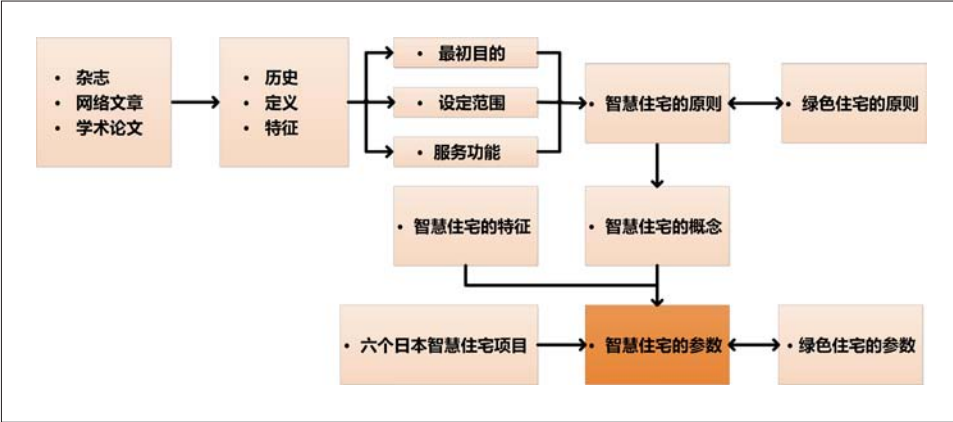


图1 智慧住宅概念辨析分析框架
资料来源:作者自绘。

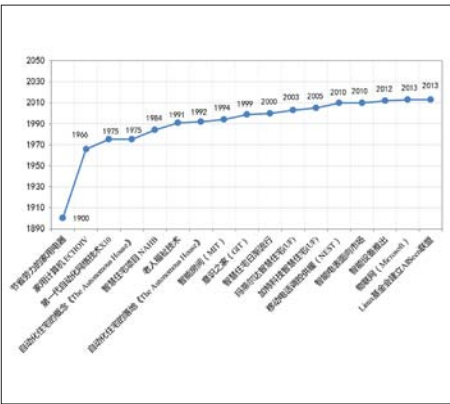


图2 智慧住宅发展历史时间轴
资料来源:作者自绘。

and Communication Technology, ICT)、清洁能源的利用和高效节能设备在建设运营中的重要性。此外,“智慧住宅”和“绿色住宅”概念边界模糊:部分文献提出“智慧住宅”关注能源的高效利用,包含了“绿色住宅”的概念^[9-12]。然而实际生活中,生活便利性与住宅节能性往往难以兼得,如用户追求便利的生活,往往倾向于使用更多的家用电器,从而引起更多的能耗^[3]。再者“智慧住宅”在国际化语境下的评估需要公认的参照基准,目前学界对于可比较的评估体系研究较为缺失。因此本文旨在追溯“智慧住宅”概念的源起与变化,辨析“智慧住宅”和“绿色住宅”的关系,同时通过对位于世界领先水平的日本智慧住宅的案例比较分析,构建衡量“智慧住宅”智能化程度的参数评价系统,评估智慧住宅概念落位的实施状况。

1 研究方法

1.1 文献研究方法

本文借鉴国际文本分析法^[3-4,13]来追溯“智慧住宅”的概念变迁,分析使用“Sciencedirect”、“Scopus”和“Google”三大网络数据库,以关键词“家居自动化”(Home Automation)、“智慧住宅”(Smart House)、“智能家居”(Smart Home)和“居家能源控制系统”(Home Energy Management System)进行检索,所收集的相关文献包含了涉及智慧住宅实践和研究的期刊、网络文章以及科技论文。同时本文部分参考了如“自动化住宅”(Autonomous House)、“智能住宅”(Intelligent House)以及“家庭自动化”(Domotics)等关键词检索的内容。最终精选78篇科技论文、15篇杂志及网络文章和3本著作,用于定性归纳分析。

1.2 智慧住宅概念辨析分析框架

本文定性归纳分析步骤如图1所示。“智慧住宅”的概念辨析通过对其历史、发展状况、定义及服务功能进行综合归纳得出。本文按照时间顺序整理分析“智慧住宅”概念起源的关键线索,来直观体现“智慧住宅”的概念变迁。从历史与发展情况推导出智慧住宅概念的源起环境,从定义明确智慧住宅的适用范围,从服务功能追溯智慧住宅的各项服务状况,最终推演智慧住宅的适用原则。将智慧住宅的适用原则以及其一般特性进行综合分析,从而构

建出智慧住宅的参数。将智慧住宅的参数与绿色住宅参数(基于CASEBEED的绿色建筑参数)相比较,辨析二者概念上的异同。

2 智慧住宅研究现状

2.1 历史

“智慧住宅”概念的形成经过了100多年的发展。19世纪末,信息与通信技术兴起之前,“智慧住宅”这一概念就曾独立出现过^[14]。20世纪初期,随着电力和燃气家用电器的普及,人们为了节省劳动力发明了家庭自动化设备,从而提出了“智慧住宅”的概念^[15-18]。1966年,第一台通过计算机控制任务单的家庭自动化设备诞生,用以调控温度和各类家用电器^[15-16]。1975年,自动化网络技术X10问世。X10是一种用于电子设备的通信协议,通过电力传输线路进行控制和通信^[16, 18]。同年, Brenda和Robert Vale出版了《自动化住宅》(The Autonomous House)一书,对低污染理想住宅提出设想,最终于20世纪90年代初实现。

1984年,人们对家庭自动化和控制系统日益关注,美国国家住宅建筑协会(National Association of Home Builders)启动了智慧住宅项目^[16-19]，“智慧住宅”作为专业术语首次出现,意义非凡。随后,1991年又出现了旨在帮助老年人日常生活的老人福祉科技公司^[20-21]。1994年,美国麻省理工学院媒体实验室设计了一种新的智能房间布局,用相机、麦克风、传感器等设备来模拟隐形管家,记录分析居者的行为,预测并满足他们可能的生活需求。

1998年至21世纪初,智慧住宅日趋流行^[20-21]。1999年,美国意识之家(The Aware Home)作为智慧住宅先驱之一,在佐治亚州建造了以老年人为目标客户的智慧住宅。随后,佛罗里达大学分别于2003年和2005年推出了为老年人和残疾人设计的玛蒂尔达智慧住宅(Mathilda Smart House)和加特科技智慧住宅(Gator Tech Smart House)。2006年,杜克大学在美国北卡罗来纳州达勒姆建造了高效能源利用的智慧住宅。

表1 智慧住宅的定义

序号	作者	定义	适用范围
1	(Allen 1996)	任何供人们进行必要活动的生活或工作环境	辅助生活
2	(Van Berlo 1999)	一个包含用科技来实现设备及系统被自动化管控的居家或者工作环境	技术
3	(Pragnell et al. 2000)	使用电子网络技术将各种设备和家用电器集成在一起, 这样整个住宅就可作为一个整体远程控制	技术
4	(Aldrich 2003)	一个拥有计算和信息技术的住宅, 可以预见和回应居住者的需求, 通过在家中的技术管理和与外界的联系来提高他们的舒适度、便利性、安全性和娱乐体验	技术 舒适度 便利性 安全性 娱乐
5	(Spigel 2005)	一个联网的住宅, 各种家用电器相互协同以满足居民的生活需求, 允许使用者通过互联网与外界交流, 在工作或旅行时可以管控住宅内部情况	技术 辅助生活
6	(Chan et al. 2009)	一种配备先进技术的住宅, 可以监测其居民和/或鼓励使用者保持良好的健康状况	健康 技术 辅助生活
7	(Ding et al. 2011)	一个带有传感器的住宅, 可以监测环境和设备以提供主动服务, 目的在于提高居住者的便利性, 提高安全性, 并且节约能源	便利性 安全性 能源效率
8	(De Silva et al. 2012)	智慧住宅是一种有像家一样的环境, 有环境智能和自动控制能力, 可以对居民的行为做出反应, 并为他们提供各种设施服务的住宅	便利性 技术
9	(Cook 2012)	电脑软件充当智能代理去感知物理环境的状态和居住者使用的传感器, 再做出合理的措施实现既定目标, 如最大化居民舒适度, 减少资源消耗, 维护居住者及住宅的健康和安全	技术 舒适度 能源效率 资源效率 健康 安全性
10	(Ozkan 2015)	装备有含可再生能源的智能电器、传感器和分布式电源的住宅	技术 能源效率
11	(Luor et al. 2015)	一种配备先进技术的住宅, 可以监测其居民和/或鼓励使用者保持独立和维持良好的健康状况	技术 辅助生活 健康
12	(Fabi et al. 2017)	通过通信网络连接传感器和设备, 进行远程监控、访问或调控居住环境, 以满足用户需求	技术 辅助生活

资料来源: 作者自制。

2010年, Nest公司推出了通过移动电话控制供暖设备业务。与此同时, 智能电表开始积极投向市场^[16-17]。同年, 日本启动智慧城市项目。2012年, 用于室内联网的应用程序“智慧小物”(SmartThing)上市。2013年, 微软推出了物联网概念(Internet of Things), 尝试通过虚拟仪表盘监控不同家用电器, 并设定相关标准。同年, Linux基金会成立“AllSeen联盟”, 旨在破除供应商的合约限制, 创造开源环境, 协同运作智慧住宅内的各种设备^[16](图2)。

2.2 定义

智慧住宅又被称作智能家居、自动化住宅、智能住宅。最初, 智慧住宅一词是由美国国家住宅建筑协会(National Association of Home Builders)于1984年正式提出。随后, 智慧住宅

一词的概念被泛化, 用于许多人们进行活动的生活环境或工作环境^[22]。再后来, 这一概念逐渐转向整体性的视角: 通过中央控制系统对住宅进行整体控制, 高效满足用户需求。中央控制系统中最为普遍运用的是家庭能源管理系统HEMS^[7], 是一个计划、监管和控制能源使用的室内智能系统^[23]。HEMS主要性能是在不影响用户生活舒适度的情况下减少电力消耗, 从而降低电费支出^[24]。HEMS能够管理能源需求、联系各类设施设备、计算本地电力使用^[25]、远程管理家用电器^[26]。

表1列举了主要学者关于智慧住宅的定义。可以看出, 智慧住宅的适用范围与技术运用紧密相连。技术运用包括辅助生活、提高舒适度和便利性、保障健康安全以及能源高效利用等功能。值得注意的是, 直到2011年相关定义才出现

了“能源高效利用”这一关键词。

2.3 智慧住宅研究的发展

“智慧住宅”概念的发展也受到许多相关学科的影响, 包括信息和通信技术、建筑学、建筑技术、室内设计、健康卫生、能源利用和社会行为学等。因此, 涉及“智慧住宅”概念的其他学科研究出版物也应被纳入“智慧住宅”的时间序列分析中。该部分研究基于78篇相关参考文献, 表2从功能服务(包括能源效率、健康、舒适度、辅助生活、安全性以及便利性)的角度对上述的研究出版物进行了分析。

将78篇相关出版物按照3个时间段进行划分, 分别代表了“智慧住宅”概念发展的3个阶段(图3)。1991至2000年是初步发展阶段。研究主要关注老年人和残疾人的安全保障、健康

表2 1991—2017年有关“智慧住宅”的出版物清单

序号	出版物	智慧住宅服务功能					
		能源效率	健康	舒适度	辅助生活	安全性	便利性
1	(Stauffer 1991)	✓		✓		✓	
2	(Lutolf 1992)	✓					
3	(Chan et al. 1995)		✓			✓	
4	(Allen 1996)		✓		✓	✓	
5	(Mozer 1998)	✓		✓			
6	(Warren & Craft 1999)		✓				
7	(Tang & Venables 2000)		✓		✓		
8	(Al-Muhtadi et al. 2000)					✓	
9	(Edge et al. 2000)		✓		✓	✓	
10	(Covington et al. 2000)				✓	✓	✓
11	(Kuusik 2001)		✓			✓	
12	(Demongeot et al. 2002)		✓			✓	
13	(Friedewald et al. 2005)				✓	✓	✓
14	(Wood & Newborough 2007)	✓					
15	(Arcelus et al. 2007)		✓			✓	
16	(Coughlin et al. 2007)		✓				
17	(Chan et al. 2008)		✓	✓			✓
18	(Park et al. 2008)			✓	✓		✓
19	(Pensas et al. 2009)	✓					
20	(Chan et al. 2009)		✓		✓		
21	(Hong et al. 2009)				✓		
22	(Skubic et al. 2009)		✓			✓	
23	(Helal et al. 2009)		✓		✓		
24	(Jahn et al. 2010)	✓					
25	(Farella et al. 2010)		✓		✓	✓	
26	(Tomita et al. 2010)		✓			✓	
27	(Cocco 2011)		✓				
28	(Han et al. 2011)	✓					
29	(Ding et al. 2011)	✓				✓	✓
30	(Ziefle et al. 2011)		✓				
31	(Kofler et al. 2012)	✓					
32	(Kim et al. 2012)	✓					
33	(De Silva et al. 2012)	✓			✓		✓
34	(Rokach 2012)	✓					
35	(Baraka et al. 2013)	✓		✓		✓	
36	(Behan & Krejcar 2013)			✓	✓		✓
37	(GhaffarianHoseini et al. 2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
38	(Balta-Ozkan et al. 2013b)	✓		✓	✓	✓	
39	(Yoza et al. 2013)	✓					
40	(Firth et al. 2013)	✓					
41	(Fensel et al. 2013)	✓					
42	(Kim et al. 2013)		✓		✓		
43	(Badica et al. 2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
44	(Morris et al. 2013)		✓		✓	✓	
45	(Han et al. 2014)	✓					
46	(Rollins et al. 2014)	✓					
47	(Roda et al. 2014)	✓					
48	(Yoza et al. 2014)	✓					
49	(Missaoui et al. 2014)	✓		✓			
50	(Zhang et al. 2015)	✓					

状况维持,以及实现他们独立生活的辅助设备。该期间出现了上文所述的辅助老年人独立生活的老人福祉科技公司和为老年用户量身设计的智慧住宅意识之家(The Aware House)。2001至2010年是过渡发展阶段,重点突出了居者健康监测的目标,同时强调辅助生活的功能。虽然当时大多数智慧住宅的设计针对老年人和残疾人,但辅助生活和监测健康的功能开始面向普通大众。该阶段后期,智慧住宅的概念开始向高效能源利用转变,逐渐符合绿色住宅概念,且面向各年龄层用户的新型智慧住宅不断出现。2011至2017年是智慧住宅的蓬勃发展阶段,智能技术涌现出了虚拟现实和混合现实,并与物联网结合。该期间由于市场上智能电表和家庭能源管理系统的普及,智慧住宅的研发转向能源效率的提升。至此,智慧住宅的概念不仅是辅助生活和监测健康,而且也强调能源效率,保证生活环境的可持续性。

总的来说,智慧住宅的初期概念是为老年人和残疾人提供日常生活所需的辅助服务及安全健康保障。此后概念发生转变,服务对象从特殊用户群扩大到一般用户群。随着智慧住宅对能源高效利用的重视,智慧住宅与绿色住宅的概念不断渗透。智慧住宅的概念随着时间的推移、技术的发展、客户群体的扩增而不断演变,除了功能上的变化,其构成也由最初的“技术主导”转变为“用户主导”^[4]及“环境主导”^[27]。技术革新日新月异,智慧住宅的概念在未来仍会不断演变,但最终目的仍是为居者带来更大的生活便利。

2.4 智慧住宅的功能与特性

一般而言,智慧住宅的特性主要基于功能,但特性与功能并非简单的一一对应关系。智慧住宅的辅助生活功能对应日常需求特性,尤其对残疾人和认知障碍用户至关重要^[14]。通常智慧住宅会安装监测活动的摄像头和探测异常活动的传感器,提示潜在事故危险,搜索丢失物品,并在事故发生时进行报警;部分住宅也会配备智能机器人,形成更人性化的交互界面。对于

健康医疗功能的实现,智慧住宅会配有度量生命体征的传感器和活动探测器,常见的包括用于提醒服药时间的闹钟^[27]、监视摄像头、警报、远程监控仪、防入侵的应急反应器,以及针对潜在事故/疾病/灾难的传感器^[14]。对于能源的高效利用,智慧住宅需要具有家庭能源管理系统的综合特性:集中远程控制仪器、监测和管理能源的面板、数据记录仪、低能耗的智能联网设备、智能电表、再生能源装置、储能设备等^[28]。此外,智慧住宅可通过传感器设备根据环境气候条件和用户舒适度,对住宅内光照、空气温度、湿度、供水进行调节,并通过移动设备远程控制家用电器和监控家庭环境。

3 智慧住宅的概念辨析

随着“智慧住宅”的概念逐渐包括可持续发展和“智慧生活”(Smart Living),概念的边界划定越来越重要。本文基于“智慧住宅”和“绿色住宅”的比较,尝试提出一个概念边界:智慧住宅应优化用户能源效率以提高用户的便利性。期望在未来智慧住宅的开发建设中起到指引作用。

智慧住宅的服务功能可总结为如图4所示的4个维度:提高能源效率、舒适度与便利性、辅助生活与维系健康、保障安全。智慧住宅有3大原则^[29]:原则一,“尊重用户”(Respect for User)涵盖了辅助生活、保证舒适度和便利性、保障

序号	出版物	智慧住宅服务功能					
		能源效率	健康	舒适度	辅助生活	安全性	便利性
51	(Ozkan 2015)	✓					
52	(Honold et al. 2015)	✓					
53	(Sundstrom & Krysanter 2015)	✓					
54	(Louis et al. 2015)	✓					
55	(Wang et al. 2015)	✓					
56	(El-Baz & Tzscheutschler 2015)	✓					
57	(Abushnaf et al. 2015)	✓					
58	(Iwafune et al. 2015)	✓					
59	(Beaudin & Zareipour 2015)	✓					
60	(Vega et al. 2015)	✓					
61	(Luor et al. 2015)				✓	✓	✓
62	(Gillani Fahad et al. 2015)		✓				
63	(Alaiad & Al-ayyad 2015)		✓				
64	(Lobaccaro et al. 2016)	✓					
65	(Zhou et al. 2016)	✓					
66	(Premarathne et al. 2016)	✓					
67	(Lee et al. 2016)						✓
68	(Mano et al. 2016)		✓				
69	(Gayathri & Easwarakumar 2016)		✓		✓	✓	
70	(Risteska Stojkoska & Trivodaliev 2017)	✓					✓
71	(Jurenoks & Joki 2017)	✓					
72	(Keskin Arabul et al. 2017)	✓					
73	(Fabi et al. 2017)	✓	✓	✓	✓	✓	
74	(Bhati et al. 2017)	✓					
75	(Fotouhi Ghazvini et al. 2017)	✓					
76	(Strengers & Nicholls 2017)			✓			✓
77	(Sintov & Schultz 2017)	✓					
78	(Shakeri et al. 2017)	✓					

资料来源:作者自制。

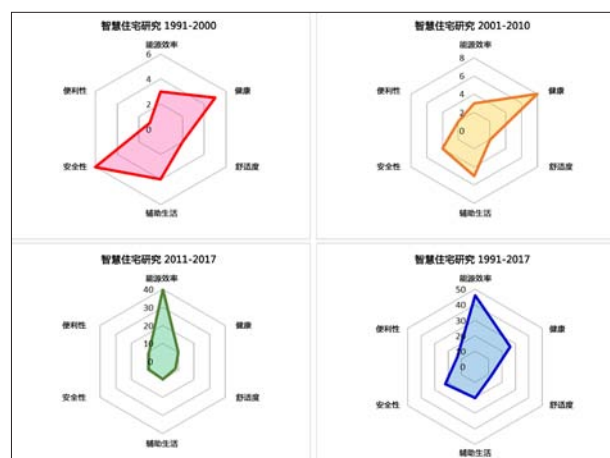


图3 智慧住宅概念的演变分析图
资料来源:作者自绘。

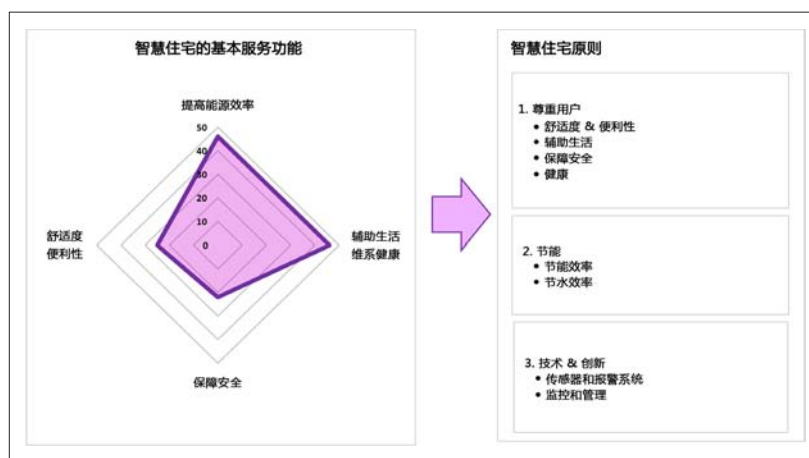


图4 基于功能推导的智慧住宅设计原则
资料来源:作者自绘。

表3 “智慧住宅”与“绿色住宅”的原则对比

Brenda & Robert Vale	绿色建筑原则		智慧住宅原则
	LEED	CASBEE	
1.节能	1.可持续场地	1.舒适、健康、安全的室内环境	1.尊重用户
2.适应气候	2.节水	2.保证长期服务	2.节能节水
3.因地制宜	3.能源与气候	3.创建美好的城市景观及生态系统	3.高效智能
4.尊重用户	4.材料与资源	4.节能节水	
5.新能源限制	5.室内环境质量	5.节约能源, 减少浪费	
	6.技术革新	6.考虑全球、当地以及周边环境	

资料来源:作者自制。

安全等功能;原则二,“节能节水”(Conserving Energy and Water) 主要为提高能源效率;原则三,“高效智能”(Efficient and Smart Technology) 即运用掌控整个智慧住宅运营的中控系统和通信技术。

3.1 智慧住宅的设计原则

本文选取了3种“绿色住宅”的原则,分别是Brenda与Robert Vale的绿色建筑原则^[29], LEED所给出的独立式住宅原则,以及CASBEE提出的独立式住宅原则。智慧住宅的原则根据其定义,包括尊重用户、节能节水、高效智能3项。表3对比了“智慧住宅”和“绿色住宅”的原则。

3.2 “智慧住宅”与“绿色住宅”的概念异同

“智慧住宅”的原则首先强调用户至上,其次才是环境保护,这与Brenda和Robert Vale的绿色建筑原则以及LEED提出的原则不同,然而CASBEE的原则也是将用户放在了首位(图5)。图6对“智慧住宅”与“绿色住宅”的概念与原则的异同进行了对比:虽然二者都遵循尊重用户和节能节水的原则,但“绿色住宅”强调顺应气候和地质条件、利用新能源等原则,而“智慧住宅”则注重运用通讯互联网技术的原则。从原则的范畴大小可以明显看出,“绿色住宅”的概念远大于“智慧住宅”:“绿色住宅”并不涉及科学技术,即使没有信息技术支撑,若具有节能措施,仍可被视为“绿色”;科学技术作为“智慧住宅”的核心,体现在整个住宅空

间、各项设备以及控制系统的方方面面^[4]。不过二者在尊重用户和节能节水原则上的一致性,将会为未来“智慧住宅”从“用户—技术主导型”向“环境主导型”转变提供契机,并运用到可持续的人居环境建设中。

4 智慧住宅的运用与实施

4.1 日本的智慧住宅案例

日本的智慧住宅是在政府支持下由私营部门开发建造。为提高住宅的能源效率,经济产业省(METI)基于“可持续开放创新倡议”(SII)的实施纲要提出了专项补贴计划,用于支持家庭能源管理系统的运用。日本的智慧住宅侧重于节能原则,住宅常见的特性包括清洁能源、储蓄电池、智能电表、家庭能源管理系统和电动汽车。

4.1.1 丰田智慧住宅 (Toyota Smart House)

丰田智慧住宅由丰田公司为一个有两名子女的普通家庭建造,并作为智慧社区中的住宅样本进行展示。住宅配备了节省、产能、储能装置,插电式混合动力汽车(PHV)和电动汽车(EV),用于控制设备的家庭能源管理系统和光电系统。HEMS将光电系统产生的多余电力储存在电池中,供紧急之需;用户还可以利用安装在混合动力汽车上的储蓄电池,作为电力设备的应急电源。此外人们可从丰田智慧住宅获得数据,掌握室内外的能源使用情况,并优化日常生活行为。

4.1.2 东京目黑区的逗点住宅 (Comma House)

逗点住宅 (Comma House) 由东京大学于2011年8月设计建造,是展示日本独立智慧住宅概念和技术的成功样板(图7)。住宅实体为93.31 m²的实验性居住空间,墙体运用了具有较高气密性能和隔热性能的材料,Q值可调范围为1.6—2.4 W/(m·k)。该项目涵盖了建筑设计、设施设备、家用电器、多供应商整合系统和数据管理系统,旨在提高用户舒适度和能源利用效率。

4.1.3 大和智慧住宅 (Daiwa Smart Houses)

大和智慧住宅 (Daiwa Smart Houses) 是一座倡导智能生态与友好生活的独栋住宅,强调用户的便利性和舒适度^[31](图8)。住宅建造过程采用了Q值为1.9 W/(m·k)的高性能隔热材料,使用了功率4.5 kW的太阳能光电系统,用于住宅内电力设施。住宅安装了家庭能源管理系统HEMS,通过可视化交互界面为用户提供各项生活服务。HEMS通过与住宅内空调、电池、门禁以及其他系统的连接,可以监管整个住宅的能耗。HEMS和太阳能发电系统能够通过6.2 kWh的锂离子家用储蓄电池实现联合,在紧急时期为整栋住宅供电。

4.1.4 松下家园智慧住宅 (PanaHome Smart House)

松下家园智慧住宅 (PanaHome Smart House) 建于2010年,整栋住宅运用能源技术,结合日照、自然通风特点,创造了零碳排放的舒适生活空间^[32](图9)。住宅通过一系列措施大幅度提高了能源利用效率,如天花板和外墙

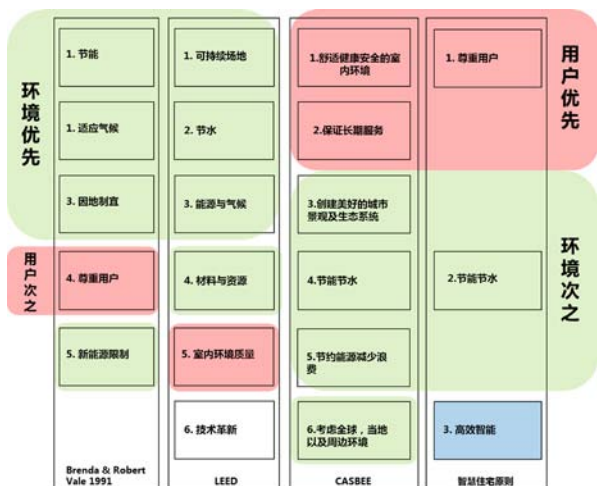


图5 “智慧住宅”与“绿色住宅”各项原则等级的比较分析
资料来源:作者自绘。

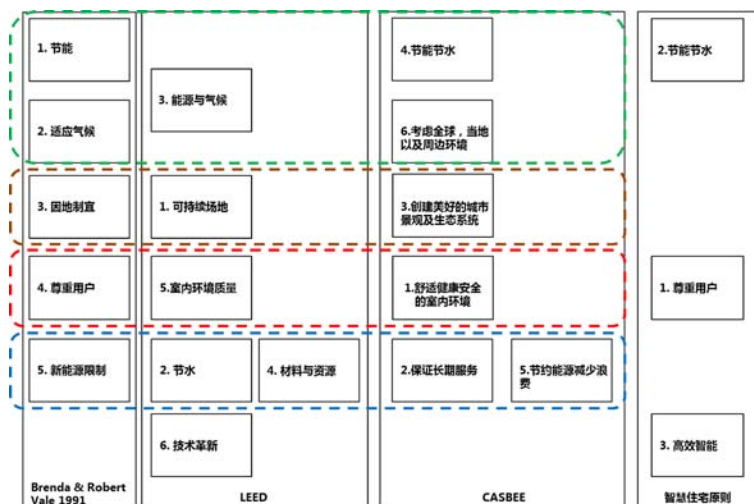


图6 “智慧住宅”与“绿色住宅”原则的异同比较
资料来源:作者自绘。

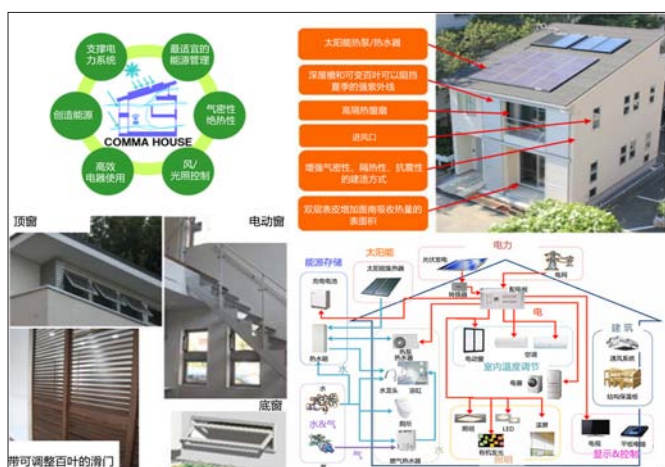


图7 亮点智慧住宅
资料来源:作者根据参考文献[30]整理自绘。



图8 大和智慧住宅
资料来源:作者根据参考文献[31]整理自绘。

的隔热构造、低辐射双层玻璃、综合地热系统、一体化混合通风系统等。住宅更采用了能源生产—储存关联系统,综合了发电、蓄电和智能应用功能,并与中央控制器HEMS协同,进行家庭能源管理。住宅的发电系统结合了光能发电和燃料电池,即使在停电期间,也可以保持长时间稳定的电力供应。

4.1.5 美丽住宅 (NICE House)

美丽住宅的设计理念是将居家环境与当地的自然文化环境相融合^[33],实现生态与智能的融合(图10)。住宅考虑了居住者生命周期的变化因素,并将其与住宅的使用周期融合,不仅为居住者提供能源管理的智能技术,更向用户传达3R(降低能耗、重复使用、循环利用)的生



图9 松下家园智慧住宅设计细节
资料来源:作者根据参考文献[32]整理自绘。

表4 智慧住宅案例详述^①

智慧住宅案例	技术	服务	特性	建筑规范
丰田智慧住宅 (Toyota Smart House) 	<ul style="list-style-type: none"> 7in控制部件 触控板面监视器 实时耗电监测 历史能源数据备份 断路器控制器 (预防短路及负载) 智能电网, 电子文档管理系统连接系统 电池充电5 min可供电动车行驶20 km 移动能源, 安保控制与监控 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 安全性 	<ul style="list-style-type: none"> HEMS监控及控制部件 光能发电系统 8.4 kWh容量蓄电池 智能电表 插电式混合动力车或电动车 智能安全传感器 	<ul style="list-style-type: none"> 绝缘建筑外墙围护结构 防震3级日光照明 自然通风 雨水收集系统 具有安保功能的百叶窗
逗点住宅 (Comma House) 	<ul style="list-style-type: none"> 服务器有接收端来获取电力需求预测、天气状况/天气预报、太阳能/热预报、内部温度/湿度和水的使用情况用于整个系统的调控 壁挂式温度传感器 云处理的能源管理系统 燃气、热泵, 以及用于热水的太阳能联合供能 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 	<ul style="list-style-type: none"> HEMS监控及控制部件 光能发电系统 太阳能收集器 蓄电池 配电板 电动窗户 电动车或插电式混合动力车充电 	<ul style="list-style-type: none"> 气密性及隔热外壳 防震构造 自然通风 深屋檐 可调节的百叶窗 双层南立面
大和智慧住宅 (Daiwa Smart House) 	<ul style="list-style-type: none"> 住宅中央控制系统 移动能源监控控制系统 PV电动车授权产能发售 节能交流电加热器及电灯 地面数字广播录音 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 便利性 安全性 	<ul style="list-style-type: none"> HEMS监测及控制部件 6.2 kWh锂离子蓄电池 4.5 kW光能发电系统 安保支持 壁挂式天气预报展示 	<ul style="list-style-type: none"> 高温隔热外壳 高效自然通风系统 3层真空层低辐射玻璃 日光照明
松下家园智慧住宅 (PanaHome Smart House) 	<ul style="list-style-type: none"> 温度传感器控制的自动通风模式 0.3—1kW燃料电池 移动能源监控 (电视、手机等无线连接) 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 	<ul style="list-style-type: none"> 光能发电 蓄电池 家庭能源管理系统 低耗应用 家用燃料电池 电力购买、产能、販售、使用, 以及燃气、用水等 	<ul style="list-style-type: none"> 日光照明 自然通风 全隔热设计 (天花板、外墙面、地基) 低辐射双层玻璃 地热供暖 混合通风系统
美丽住宅 (NICE house) 	<ul style="list-style-type: none"> 10 kW PV发电 5 kWh 蓄电池 断电期间最高可以用电 265W · 15 h 安保摄像头 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 	<ul style="list-style-type: none"> 光能发电 蓄电池 家庭能源管理系统 安保摄像头 垃圾处理 	<ul style="list-style-type: none"> 日光照明 自然通风 防震 双层西墙外立面可调节遮光 隔热外壳 使用木质纤维材料调节遮光 80%的原材料来自报纸回收 80%家用木材是二手来源
U ² -之家 (U ² -Home) 	<ul style="list-style-type: none"> 室内外总共200个传感器 记录设备运行数据 (电力、燃气、用水、用电) 移动控制监控云处理 	<ul style="list-style-type: none"> 能源高效 舒适度 便利性 辅助性 安全性 健康维系 	<ul style="list-style-type: none"> 光能发电 家庭能源管理系统 蓄电池 数据通信 (面板展示和交互式机器人) 机器人发出的声音和警告声音, 闪烁和显示颜色, 视频则以不同的方式传送 紧急呼叫按钮 监控摄像头用于控制预防犯罪和监控儿童和宠物 	<ul style="list-style-type: none"> 自然通风, 根据室外天气数据自动开启模式 网络自动控制电动百叶窗和遮阳屏

资料来源: 作者自制。

注释 ① “ENE-FARM” 是世界上第一个家用燃料电池, 诞生于日本。该燃料电池提出了新的能源利用方式: 从LP气体中提取氢, 并与周围的氧气结合, 产生电能, 同时捕获用于加热水的余热。与传统的电力供应网格系统相比, 它高效且显著减少CO气体的排放 (Japan LP Gas Association 2015)。

表5 智慧住宅参数表

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	强制性
I 尊重用户需求	1. 辅助生活	1.1 自动化设备	①家政服务	可选
			②老人及残疾人监控服务	根据需求决定
		1.2 人工智能 (机器人管家)	①老人及残疾人护理服务	根据需求决定
			②辅助行动	根据需求决定
			③家装维护	根据需求决定
			2.1 无化学污染	必选
	2. 医疗保健	2.2 新鲜空气流通	必选	
		2.3 生命体征监测与睡眠模式	根据需求决定	
		2.4 可穿戴式保健护理设备	根据需求决定	
		3.1 预防犯罪	必选	
	3. 安全性能	3.2 预防意外	可选	
		3.3 抵抗火灾及自然灾害	必选	
4.1 舒适的温度		必选		
4. 舒适与便利性	4.2 标准光照	必选		
	4.3 娱乐与教育辅助服务	可选		
	1. 温控性能	1.1 隔热性与气密性	必选	
1.2 建筑热荷载控制		必选		
1.3 建筑形式响应气候变化		必选		
1.4 太阳能能源贮存与保温系统		必选		
II 响应气候变化	2. 通风性能	2.1 通风口大小	必选	
		2.2 空气流通率	必选	
		2.3 混合通风系统	必选	
1. 产能系统	1.1 就地可再生能源发电系统	必选		
	1.2 智能电网交易平台	可选		
	1.3 蓄电池	必选		
	1.4 自动不间断电源开关	可选		
III 节能节水管理	2. 节能设备	2.1 空调系统	①高效供暖 ②高效制冷	必选 必选
		2.2 热水设备	①热水供应设备 ②隔热浴缸 ③供热天然能源	根据需求决定 根据需求决定 可选
	3. 节能管理	2.3 节能照明灯具		必选
		2.4 采光集成系统		可选
		2.5 节能电力应用		必选
		3.1 家庭能源管理控制系统		必选
		3.2 家电天然气智慧测度量表		必选
	4. 节水管理	4.1 节水系统		必选
		4.2 雨水收集系统		可选
		4.3 自动可调节的高效管道装置		可选
	1. 管理技术	1.1 用户监控调节系统		必选
		1.2 系统自动化调节系统		可选
1.3 物联网虚拟混合现实管理系统			可选	
1.4 应用程序云处理管理系统			必选	
1.5 预测管理系统			可选	
IV 高效智能技术	2. 监测及预防技术	2.1 环境参数传感器 (温度、湿度、辐射、风力)		必选
		2.2 照明传感器		必选
		2.3 运动传感器		必选
		2.4 声音和人脸识别		可选
		2.5 高温、火焰、烟雾传感器		必选
		2.6 生命体征传感器		根据需求决定
	3. 警报通知系统	3.1 防爆警报		根据需求决定
		3.2 防盗警报		必选
		3.3 火灾燃气警报		必选
		3.4 活动日程通知		根据需求决定
		3.5 呼叫对讲系统		根据需求决定
		3.6 紧急按钮		必选

资料来源:作者自制。

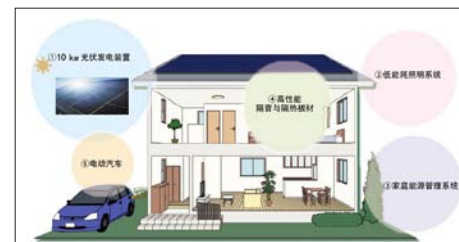


图10 美丽住宅技术框架
资料来源:作者根据参考文献[33]整理自绘。

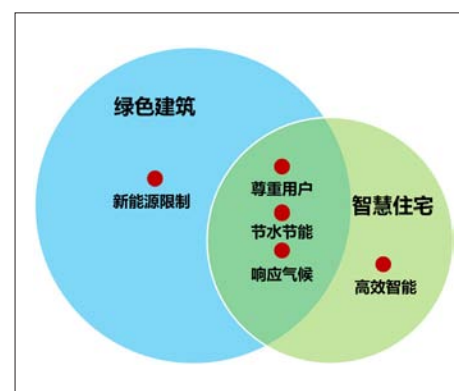


图11 智慧住宅与绿色建筑概念的异同点
资料来源:作者自绘。

活理念。美丽住宅的建造过程十分环保,美丽住宅使用的木材80%产自日本丰田市内,从而降低原材料的运输能耗;建材80%的原材料来自再生报纸,并使用了具有高隔热性和隔音性的再生纤维素纤维。此外,美丽住宅运用了高效节能设备,如10 kW的太阳能板发电装置、5 kWh的蓄电池、监控系统和家庭能源管理系统;在断电时可提供15 h 265 W的电力供给。

4.1.6 千叶县野田市的U²之家 (U²-Home)

U²之家是骊住集团 (LIXIL) 开发的两层实验性智慧住宅,始建于1996年,于2015年再次整修,总建筑面积200.47 m²[33]。U²之家展示了物联网时代未来住宅的理念。U²之家在室内的门、窗户、天花板、墙壁、厨房、水龙头、浴缸、马桶等地方共安装了200多个传感器,用以收集日常生活相关数据。此外住宅在室外安装的传感器可以提供天气、风速、风向、PM2.5、紫外线强度等信息。住宅网络化管理每个房间的温度、湿度、门禁的开启。U²之家的住宅数据可以实现3个方面的运用:一是为用户提供反馈信息;二是调控生活环境,如安全保障、健康维持和能源高效利用;三是将大

表6 CASBEE独立式住宅参数

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	五级指标
Q.建筑环境 质量	Q1.舒适、健康、安全的室内环境	1.供暖与制冷	1.1基本性能	①隔热性与气密性 ②光照调节
			1.2夏季防暑	①室内通风和热气排出 ②制冷 ③供暖
			1.3冬季防寒	
		2.健康与安全	2.1对抗化学污染	
	2.2通风			
	3.光照	2.3预防犯罪		
		3.1自然光照明		
	4.宁静			
	Q2.延长服务期限	1.基本性能	1.1建筑框架	
1.2外立面材料				
1.3屋顶材料				
1.4自然灾害预防				
2.家居养护	1.5防火	①建筑防火构造 ②火警探测		
	2.1易于维护			
	2.2维修系统			
3.建筑功能	3.1房间布局与尺寸			
	3.2无障碍设计			
Q3.营造城市良好景观生态系统	1.城镇景观			
	2.生态环境	2.1绿化 2.2动植物栖息地		
	3.区域安全			
	4.区域资源利用与文化遗产			
LR.减少建筑环境影响	LR1.节能节水	1.建筑节能	1.1控制建筑热负荷	
			1.2自然能源利用	
		2.节能设备	2.1空调系统	①供暖 ②制冷 ③热水供应设备 ④隔热浴缸 ⑤热水管道
			2.2热水设备	
	2.3照明灯具、家用电器、厨房设备			
	2.4通风系统	2.5高效节能设备	①家庭发电系统 ②太阳能发电系统	
		3.1节水系统		
	3.2雨水利用	3.1节水系统		
		3.2雨水利用		
	4.家居运维	4.1良好生活方式指南		
4.2能源管理与控制				
LR2.节约资源和减少浪费	1.建筑材料资源节约	1.1建筑框架材料	①木结构房屋 ②钢筋结构房屋 ③混凝土结构房屋	
		1.2地基材料		
		1.3外立面材料		
		1.4室内装修材料		
		1.5户外区域材料		
	2.建造过程资源节约	2.1建筑框架材料制造过程节约		
2.2非建筑框架材料制造过程节约				
3.建材回收	2.3施工阶段			
	3.1可回收利用建材资讯			
LR3.考虑全球、当地及周边环境影响	1.考虑全球气候变暖影响			
	2.考虑当地环境	2.1减少对当地基础设施的负担		
		2.2保护现有自然环境		
3.考虑周边环境	3.1减少噪音、震动、废弃物和热排放			
	3.2改善周边热环境			

资料来源:作者自制。

数据、人工智能等先进技术应用到家庭医疗护理、社区安全防范、家庭节能节水和生活服务的各个方面。

4.1.7 对比分析

表4对以上6处日本智慧住宅案例进行了对比,从智慧住宅的详细规范可以看出,相关文献研究忽略了“响应气候变化”(Climatically Responsive)原则,事实上这一点非常重要,因智慧住宅应共包含4条原则:尊重用户(Respect for User)、响应气候变化(Responsive to Climate)、节能节水(Energy and Water Conservation)和高效智能(Efficient & Smart Technology)。

4.2 智慧住宅的参数

本文在对日本6处智慧住宅试点项目进行对比评估的基础上,根据智慧住宅试点项目的功能、特性、装配和建筑施工等维度的分析,将CASBEE评估独立式住宅参数表作为参照组,进一步建立了智慧住宅参数,如表5和表6所示。

5 结语

本文旨在辨析“智慧住宅”与“绿色住宅”概念上的异同(图11),并基于文献研究和实际案例的对比分析,构建了“智慧住宅”的原则与参数。研究发现“智慧住宅”的概念随着时间的推移、技术的革新、用户群体的扩增而逐渐变化:随着对能源高效利用原则的重视,“智慧住宅”正演变为更加绿色的理念;此外“响应气候变化”也应纳入“智慧住宅”的基本原则中。“智慧住宅”与“绿色住宅”概念存在渗透,尤其体现在尊重用户、响应气候变化、节能节水原则的参数设计中。

参考文献 References

- [1] LEE W, CHO S, CHU P, et al. Automatic agent generation for IoT-based smart house simulator[J]. *Neurocomputing*, 2016(209): 14-24.
- [2] CHAN M, CAMPO E, ESTEVE D, et al. Smart homes: current features and future perspectives[J]. *Maturitas*, 2009, 64(2): 90-97.
- [3] STRENGERS Y, NICHOLLS L. Convenience and energy consumption in the smart home of the future: industry visions from Australia and beyond[J]. *Energy Research & Social Science*, 2017: 8.
- [4] WILSON C, HARGREAVES T, HAUXWELL B R. Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges[J]. *Personal and Ubiquitous Computing*, 2015, 19(2): 463-476.
- [5] BHATI A, HANSEN M, CHAN C M. Energy conservation through smart homes in a smart city: a lesson for Singapore households[J]. *Energy Policy*, 2017(104): 230-239.
- [6] GHAZVINI MAF, SOARES J, ABRISHAMBAF O, et al. Demand response implementation in smart households[J]. *Energy and Buildings*, 2017(143): 129-148.
- [7] FABI V, SPIGLIANTINI G, CORGNATI S P. Insights on smart home concept and occupants' interaction with building controls[J]. *Energy Procedia*, 2017(111): 759-769.
- [8] SINTOV N, SCHULTZ P. Adjustable green defaults can help make smart homes more sustainable[J]. *Sustainability*, 2017, 9(4): 622.
- [9] KOFLER M J, REINISCH C, KASTNER W. A semantic representation of energy-related information in future smart homes[J]. *Energy and Buildings*, 2012(47): 169-179.
- [10] FENSEL A, TOMIC S, KUMAR V. Sesame-s: semantic smart home system for energy efficiency[J]. *Informatik-Spektrum*, 2013, 36(1): 46-57.
- [11] SOLAIMANI S, KEIJZER B W, BOUWMAN H. What we do—and don't know about the Smart Home: an analysis of the smart home literature[J]. *Indoor and Built Environment*, 2015, 24(3): 370-383.
- [12] GHAFFARIANHOSEINI AH, DAHLAN ND, BERARDI U, et al. The essence of future smart houses: from embedding ICT to adapting to sustainability principles[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013(24): 593-607.
- [13] SOLAINANI S, KEIJZER B W, BOUWMAN H. What we do—and don't know about the Smart Home: an analysis of the Smart Home literature[J]. *Indoor and Built Environment*, 2015, 24(3): 370-383.
- [14] BADICA C, BREZOVAN M, BADICA A. An overview of smart home environments: architectures, technologies and applications[C]//CEUR workshop proceedings, 2013(1036(i)): 78-85.
- [15] Association Franco-Chinoise du Developpement Urbain Durable. The history of Smart Homes[EB/OL]. (2017-05-31) [2017-12-04]. <http://www.afcdud.com/fr/smart-city/422-how-the-history-of-smart-homes.html>.
- [16] ROTHFELD L. The smart home[EB/OL]. <https://mashable.com/2015/01/08/smart-home-tech-cases/#RTwDk7Z1EkqS>
- [17] KING L. The evolution of the smart home[EB/OL]. (2017-05-09) [2017-12-04]. <https://www.raconteur.net/technology/the-evolution-of-the-smart-home>.
- [18] BOUNEGRU L. Smart houses: from managing the house at a distance to the management of life itself[D]. 2017. [2017-12-04]. http://lilianabounegru.org/wp-content/uploads/2009/11/thesis_smart_houses_liliana_bounegru.pdf.
- [19] EL-SEBAII AA, AL-GHAZMDI FS, AI-GHAMDI AA, et al. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia[J]. *Applied Energy*, 2010, 87(2): 568-576.
- [20] HENDRICKS D. The history of smart homes[EB/OL]. (2017-05-09) [2017-12-04]. <http://www.iotevolutionworld.com/m2m/articles/376816-history-smart-homes.htm>.
- [21] CASSIE. The history of home automation[EB/OL]. (2017-05-28) [2017-12-04]. <https://myalarmcenter.com/blog/the-history-of-home-automation/>.
- [22] ALLEN B. An integrated approach to Smart House technology for people with disabilities[J]. *Medical Engineering and Physics*, 1996, 18(3): 203-206.
- [23] KHAN AA, RAZZAQ S, KHAN A, et al. HEMSs and enabled demand response in electricity market: an overview[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(42): 773-785.
- [24] SHAKERI M, SHAYESTEGAN M, ABUNIMA H, et al. An intelligent system architecture in home energy management systems (HEMS) for efficient demand response in smart grid[J]. *Energy and Buildings*, 2017(138): 154-164.
- [25] RODA C, CHITNIS K, PETERSON J, et al. Home energy management system[J]. *Schneider Electric Industries SAS*, 2014(5).
- [26] VEGA A M, SANTAMARIA F, RIVAS E. Modeling for home electric energy management: a review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015(52): 948-959.
- [27] GHAFFARIANHOSEINI AH, DAHLAN ND, BERARDI U, et al. The essence of future smart houses: from embedding ICT to adapting to sustainability principles[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013(24): 593-607.
- [28] BALTA-OZKAN N, DAVIDSON R, BICKET M, et al. The development of smart homes market in the UK[J]. *Energy*, 2013b(60): 361-372.
- [29] VALE B, VALE R. *Green Architecture: design for a sustainable future*[M]. London: Thames and Hudson, 1996.
- [30] Institute of Industrial Science Tokyo University. COMMA house[EB/OL]. (2017-05-29) [2017-12-04]. http://www.commahouse.iis.u-tokyo.ac.jp/sozai/publication/release_20140204.pdf.
- [31] Daiwa House Group. Daiwa smart houses "MAXECO." [EB/OL]. (2017-05-28) [2017-12-04]. <http://www.daiwahouse.com/English/sustainable/eco-products/smarthouse.html>.
- [32] PANASONIC C. How can we build next generation houses in which comfortable living leads to eco friendliness: Pana home smart houses[EB/OL]. (2017-05-29) [2017-12-04]. https://panasonic.net/es/solution-works/smart_house/.
- [33] Nice Home Co, 2017a. Making houses for nice homes. , pp.1-9. [EB/OL]. (2017-09-30) [2018-02-23]. <http://www.nice-home.jp/style/>
- [34] LIXIL. L I X I L の研究施設「U 2 -H o m e ユースクウェアホーム」にて I o T を活用した『住生活の未来』に関する実証実験を実施～ 2 0 1 5 年度には、ビッグデータを活用した高度利用の研究に着手～. LIXIL News - Link to Good Living[EB/OL]. (2017-05-30) [2017-12-04]. Available at: http://newsrelease.lixil.co.jp/news/2015/070_company_0331_02.html.