



基于 RESTful Web Services 的智能家居 管理系统设计与实现 *

李志华, 谷全琦, 唐建飞, 薛 亮, 赵继军

(河北工程大学信息与电气工程学院 邯郸 056038)

摘 要: 基于物联网技术开发的智能家居系统解决了异构网络内家电的互联问题, 而其管理系统仍面临着管理平台单一、可扩展性差以及较低的用户体验等问题。在利用 ZigBee 协议构建家庭无线传感器网络的基础上, 提出一种基于 RESTful Web Services 的智能家居管理系统设计方案, 增强了系统的可扩展性和跨平台能力, 所开发的基于 Android 的智能家居客户端有效提升了用户体验。

关键词: 智能家居; RESTful Web Services; ZigBee; Android

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.11.017

Design and Implementation of Smart Home Management System Based on RESTful Web Services

Li Zhihua, Gu Quanqi, Tang Jianfei, Xue Liang, Zhao Jijun

(School of Information and Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: Current smart home system based on internet of things only provides a solution to interconnect different appliances in heterogeneous networks. It still faces a lot of challenges, such as single management platform, poor scalability, and low user experience. A novel smart home management system was demonstrated, which based on a home wireless network using ZigBee technology. More importantly, the RESTful Web Services was also imported to enhance the scalability and cross-platform capability of the system. In addition, an app based on Android platform was developed for users to enhance the user experience of managing smart home.

Key words: smart home, RESTful Web Services, ZigBee, Android

1 引言

随着无线通信技术的发展, 智能家居系统已逐渐由传统有线连接方式转向采用诸如 Wi-Fi、ZigBee 等无线通信技术构建家庭无线网络, 实现了家电互联和环境感知^[1,2]。与此同时, 物联网(internet of things)技术的兴起^[3], 使得大

量具有计算能力、网络通信能力的新型物理设备涌现, 如智能电视、智能手机、智能灯泡等, 参考文献[4,5]将这些物理设备称之为智能物体。由于智能物体所采用的网络协议可能会有所不同, 基于物联网的智能家居能够解决家庭异构网络间的互联问题^[6,7]。

目前的智能家居系统, 在用户管理层面一般通过动态

* 国家自然科学基金资助项目(No.61304131), 河北省自然科学基金资助项目(No.F2014402075, No.F2013402039, No.F2012203109), 河北省高等学校科学技术研究重点项目(No.ZH2012020), 河北省教育厅科学研究计划基金资助项目(No.Q2012045, No.Q2012019), 河北省高等学校科学技术研究项目(No.QN20131064), 邯郸市科学技术研究与发展计划基金资助项目(No.1121103137)



或静态的 Web 网页为用户提供远程家电管理和家庭环境信息访问^[9]。然而,随着移动智能终端的普及以及大量基于 Web 的移动客户端的出现,在移动智能终端上使用 Web 网页管理家庭系统已无法满足移动用户的需求。鉴于移动客户端不具备 Web 网页的跨平台能力,因此能够保证不同平台应用服务的互操作性的 Web Services 技术在移动客户端应用领域得到了广泛关注。该技术是一种支持网络间 M2M(machine to machine)互操作的软件平台,将家庭内智能物体抽象为一种可重用的 Web Services 服务将有利于家庭管理客户端的跨平台操作。当前的 Web Services 主要有两种范式,即 RESTful Web Services(RESTful WS)和传统 Web Services。其中 RESTful WS 为符合表述性状态转移(Representational state transfer, REST) 软件设计风格制约的 Web Services,相对于传统 Web Services,RESTful WS 更注重使用统一的无状态操作管理 Web 资源,且具有更低的复杂度、更松散的架构及更高的灵活性^[9]。

ZigBee 是一种低速率、短距离传输的无线通信协议,以其低功耗、低成本、低速率、高可靠性和自组网等特点,在消费电子控制、森林环境监测以及智能电网等领域获得广泛研究与应用^[10-12]。因此,本文采用 ZigBee 协议构建了具有家电互联和家庭环境监控功能的家庭无线传感器网络(wireless sensor home area network, WSHAN),并在家庭管理层面提出一种基于 RESTful WS 的智能家居管理系统架构,该系统能够降低系统复杂度,增强系统的可扩展性和跨平台能力,实现用户使用移动智能终端获取家庭内智能物体运行的状态信息,如温度、湿度、家电的运行状态等,同时能够对这些智能物体进行实时控制。此外,鉴于 RESTful WS 的灵活性与跨平台等特点,设计了基于 Android

的智能家居客户端,提升了家庭管理的用户体验。最后对系统的分组丢失率和请求响应时延进行了测试。

2 系统设计

本文所设计的智能家居管理系统由 WSHAN、服务器和客户端 3 部分组成,如图 1 所示。

2.1 WSHAN 的设计

WSHAN 由 Sink 节点、感知节点和执行节点组成,用于实现家庭内智能物体的网络连接、环境监控与家电控制等功能,并能够通过 Sink 节点完成与服务器的数据交换。鉴于当前家居中的家电设备很少具备联网能力,本文通过将基于 ZigBee 协议的无线传感器网络节点嵌入到普通家电中使普通家电具有通信、计算与传感和执行等能力^[9]。

WSHAN 中的 Sink 节点用于建立和维护网络,并完成 WSHAN 与服务器之间的信息交互;执行节点通过在 ZigBee 节点上外接专用的家电控制电路实现对家电的智能控制;感知节点通过环境传感器实现对家庭光照强度、烟雾浓度以及温度、湿度等信息的无线采集。每个节点在加入 WSHAN 后将通过 Sink 节点向服务器注册智能物体的属性与控制方法以实现服务器识别和管理 WSHAN 内各个智能物体。系统工作时,感知节点将采集的数据上传至 Sink 节点,由 Sink 节点将数据通过串口转发至服务器。当 Sink 节点自串口接收到服务器的家电控制请求时,则将该请求转发至执行节点完成对家电的控制。

2.2 服务器端软件设计

服务器处于整个系统的中间部位,用于实现远程客户端和 WSHAN 之间的信息交互与数据存储服务,并为访问服务器的设备提供 RESTful WS 接口。RESTful WS 是面向

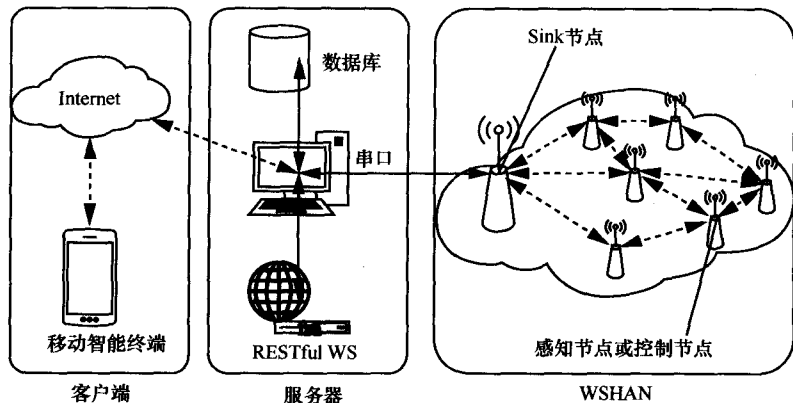


图 1 系统架构

资源架构的 Web Services, 它为每个 Web 资源分配统一资源标识符(universal resource identifier, URI), 并使用统一的无状态操作来管理 URI 所指向的 Web 资源, 如使用 HTTP 的 PUT、DELETE、POST 和 GET 等操作实现对 Web 资源的增、删、改和查等功能。此外, RESTful WS 中的每个 Web 资源都具有多重表述格式, 如 XML (extensible markup language) 和 JSON (JavaScript object notation) 等, 能够方便各种设备解析 Web 资源。该架构允许在家庭中新增智能物体时, 系统只需在保留原有服务的基础上对新增的智能物体编写相应的服务接口即可重新部署, 进而降低系统开发与维护的难度。

2.3 客户端软件设计

智能家居管理客户端作为用户与智能家居系统交互的最直接工具, 是提升用户体验的关键环节。所设计的客户端能够通过 Internet 访问服务器端的 RESTful WS, 并根据用户请求实时显示家庭当前的环境信息、家电运行状态以及调节家电工作模式, 以便客户端对智能物体进行访问与控制。通常情况下, 传统的智能家居在系统升级时(如对服务器端 RESTful WS 接口升级) 客户端需要用户手动更新, 进而导致很多不确定性。当前移动智能终端普遍内置的应用商店, 显著加快了应用软件的更新速度, 并进一步降低系统升级与维护的难度, 使得终端用户可以最快的速度获得开发人员对系统的改进。

3 系统实现

设计与实现的系统原型如图 2 所示。该系统由 1 台 PC 服务器、1 部智能手机、1 个 Sink 节点、1 个感知节点、1 个执行节点以及 1 个 Wi-Fi 路由器组成, 如图 2(a) 所示。其中感知节点、执行节点和 Sink 节点完成了家庭无线传感

器网络 WSHAN 的构建, 实现了家庭环境信息监测以及家电访问与控制; PC 服务器上的 RESTful WS 接口用于实现客户端访问与控制家庭智能物体, 完成服务器与家庭智能物体之间的信息交换; 基于 Android 智能手机上的应用能够通过调用 RESTful WS 接口对智能物体进行访问与控制, 进而实现在 Android 手机上查看家庭的环境信息或控制家电的功能。Wi-Fi 路由器负责建立无线局域网以便 Android 手机能够通过 Wi-Fi 网络访问 PC 服务器。

3.1 WSHAN 的构建

基于节点发射功耗低、室内障碍物多及网络顽健性等因素的考虑, 在 Sink 节点建立 WSHAN 时选择了网状拓扑结构。此外, 考虑到在家庭网络中较为普及的 Wi-Fi 与 ZigBee 均采用 2.4 GHz 频段, 为避免家庭内网络间的干扰, 在系统实现时依据参考文献[13]对这两种网络协议所占信道的分析结果, 指定 ZigBee 选择信道 15、16、21、22 中之一可有效避开 Wi-Fi 所占的信道。

采用 IAR 嵌入式集成开发环境设计与实现了基于 CC2530 的 Sink 节点, 如图 2(b) 所示。该节点初始化后选择上述 4 个信道之一建立网络并进入监听状态。若该节点接收到其他节点入网请求, 则允许其加入网络并分配网络地址信息, 同时将节点的注册信息通过串口转发至服务器。来自感知节点的环境信息和执行节点的家电状态消息同样会被 Sink 节点转发至服务器。

感知节点如图 2(c) 所示, 其中传感器模块集成了 SHT11 温湿度传感器芯片和 ISL29028A 感光芯片, 实现了家庭的温湿度和光照强度采集。感知节点初始化后将扫描周边已存在的网络, 当其检测到由 Sink 节点建立的网络时将申请加入并注册节点自身属性信息, 随后即开始周期性地采集环境信息并发送至 Sink 节点。由于感知节点采用电池



图 2 系统原型



供电,因此节点在两个采集周期之间将进入休眠状态以降低能源消耗。

执行节点与感知节点类似,其不同之处在于执行节点加入网络后即进入到监测状态并开始等待服务器的控制指令。通过将 CC2530 微控制器嵌入到普通照明灯具实现了该灯具向智能物体的转换,如图 2(d)所示,并在此基础上验证了执行节点的执行功能。在该原型系统中,与灯具相连的执行节点在启动后首先向服务器发送注册信息,并且以操作数 1 或 0 表示灯具的打开或关闭操作,从而简化开发人员编写服务器端的访问与控制接口。

3.2 RESTful WS 实现

服务器上所部署的 RESTful WS 选用了免费、开源且增强了对 RESTful WS 支持的 Spring 4.0 框架,并在构建 RESTful WS 时遵循了模块化设计思想,将服务器划分为 3 个模块:串口通信模块、数据库模块和 RESTful WS 模块,如图 3 所示。其中数据库作为串口与 RESTful WS 之间的通信桥梁,除完成 Sink 节点上传信息的存储与读取外,还用于家电控制信息的存储与检索。此外,通过采用数据库缓存和交换控制家电请求的方式实现了串口通信进程和 RESTful WS 进程的异步通信,进而避免了 RESTful WS 直接调用串口向 Sink 节点转发家电控制请求信息,导致系统模块间耦合度的提高的问题。

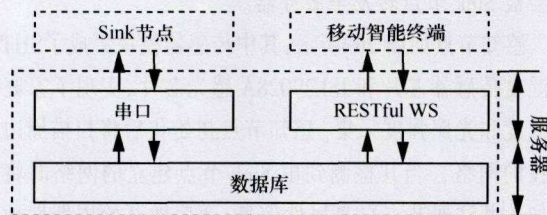


图 3 服务器软件架构

在实现 RESTful WS 时,依据其设计规则将系统中现存的家电节点和环境节点分别抽象为整体与个体的关系,并依据节点类型分别为其设置 URI,如对所有家电节点分配 URI 为“/appliances”,对于单个家电节点分配“/appliances/{id}”,且每个 URI 资源采用标准的 HTTP 方法进行资源状态的更改,见表 1。

3.3 Android 客户端软件实现

本文以开源且免费的 Android 2.3.3 操作系统为平台设计了智能家居管理系统客户端,且在开发过程中引入了 Fragment 机制和 Spring for Android 框架。其中 Fragment 机制使得应用程序能够根据手机和平板的屏幕分辨率自动

表 1 REST 标准方法

URI	方法	说明
/appliances	get	列出所有家电节点及其状态信息
	put	未使用
	post	新增一个家电节点
	delete	删除一个家电节点
/appliances/{id}	get	返回节点 ID 为{id}的家电的状态信息
	put	更新该家电的状态
	post	未使用
	delete	未使用

适配,避免了 Android 较严重的碎片化现象所导致的需要为不同屏幕分辨率的智能终端做适配的情况发生。Spring for Android 专为 Android 系统设计了相应的 REST 客户端框架,这两种引用在为用户带来统一的用户体验的同时大大简化了 Android 的 Web 应用开发。此外,在具体实现时,作者将网络请求放入了子线程中,并使用 Android 提供的 Handler 线程间通信机制进行页面更新,以此避免由于网络时延、不可靠等特点所导致的应用程序通过网络进行页面更新时所出现的页面卡顿或请求失败等现象。

所实现的智能家居管理系统客户端如图 4 和图 5 所示。其中图 4 为环境信息列表,用于显示家庭内各个环境采集节点所采集的最新环境数据;图 5 为家电管理界面,负责显示和控制家电状态。

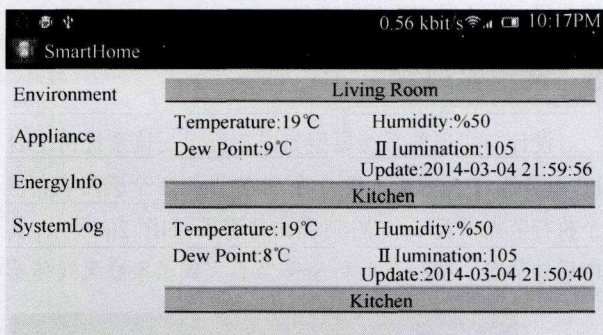


图 4 家庭环境信息界面

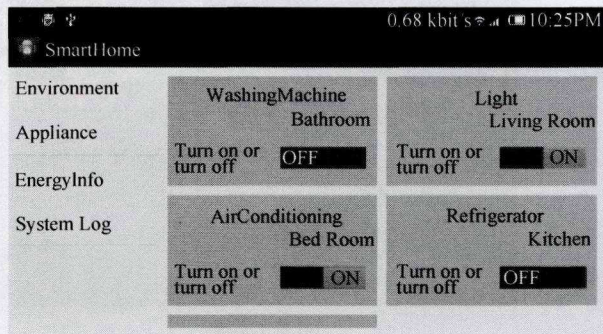


图 5 家电管理界面

4 系统测试

为了验证所开发原型系统的性能,本文在实验室环境下对其节点分组丢失率及请求响应时延进行了测试。

4.1 分组丢失率测试

家庭无线传感器网络中节点传输数据的稳定性对于智能家居系统的可靠性和用户体验起着关键作用。如果感知节点和执行节点的分组丢失率过高,将会导致所采集环境数据不够实时,家电无法及时响应用户控制请求等问题,这些因素最终将影响整个智能家居系统的用户体验。

针对 WSHAN 内的节点的分组丢失率以及系统层面的分组丢失率进行了测试。在测试过程中通过不断增加感知节点每分钟发送数据分组的次数,逐渐增大 Sink 节点的接收负担。根据 Sink 节点收到的数据分组总数计算得出如图 6 所示的节点分组丢失率。由图 6 可知,当请求次数小于 300 次/min 时, Sink 节点具有较低的分组丢失率。但随着每分钟请求次数的不断增加,节点的分组丢失率逐渐上升。当请求次数从 300 次/min 上升至 360 次/min 时,分组丢失率上升至 3%。该测试结果表明,在 300 次/min 的合理请求范围内,本系统能够满足可靠性需求。因此,较为合理的请求次数为每分钟 300 次以内。

得益于前文提到的使用数据库缓存家电控制请求指令机制,即连接请求缓冲池技术,使得系统能够在不影响系统实时性的条件下,避免系统层面的分组丢失情况发生。并通过 Android 设备以同样的测试方法对系统层面的分组丢失率进行了测试。测试结果表明,在请求次数为 360 次/min 范围内,请求经过服务器上的数据库缓存后,总能通过 Sink 节点到达执行节点,系统分组丢失率始终为 0,表明系统具有良好的稳定性。

4.2 请求响应时延测试

本节通过测试系统请求响应时延和服务器处理时延评估了系统的实时性。系统响应时延由 Android 客户端发出控制灯具请求的时间戳与服务器收到执行节点响应的的时间戳之差计算得出。通过不断增加请求次数测试系统在高并发请求下的实时性,测试结果如图 7 所示。由图 7 可知,系统请求响应时延基本在 130 ms 上下浮动,服务器处理时延基本在 64~76 ms 范围浮动,而不随每分钟请求次数的增加而大幅度抖动,该时延稳定性主要得益于服务器端连接请求缓冲池的使用。

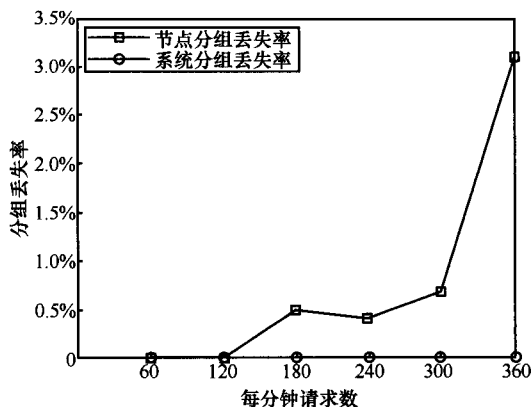


图6 分组丢失率测试

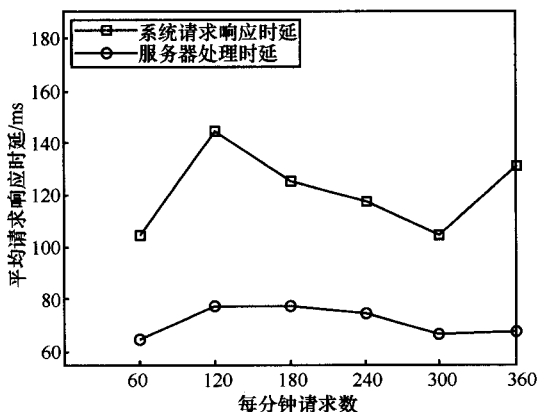


图7 请求响应时延

5 结束语

本文所开发的基于 RESTful WS 的智能家居系统实现了利用 Android 手机访问与控制家庭智能物体的功能,该系统增强了智能家居管理体系的可扩展能力、跨平台能力和用户体验。此外,性能测试表明本系统具有良好的稳定性和实时性。鉴于 RESTful WS 技术固有的跨平台特点,本系统中的客户端除在 Android 系统中应用外,还可灵活地移植到 iOS 和 Windows Phone 系统。此外考虑到气候变暖、能源危机等全球化问题的加剧,若在该系统上引入智能家居能源调度算法对家电状态加以合理的调度,将能进一步提高家庭用电效率,减少家庭用电费用,降低社会能源消耗。

参考文献

- 1 Erol-Kantarci M, Mouftah H T. Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid. IEEE Transactions on Smart Grid, 2011, 2(2): 314~325



- 2 Han D M, Lim J H. Design and Implementation of smart home energy management systems based on ZigBee. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(3): 1417~1425
- 3 黄玉兰. 物联网标准体系构建与技术实现策略的探究. 电信科学, 2012, 28(4): 129~134
- 4 Schnelle-Walka D, Huber J, Radomski S, *et al.* Smart objects: third workshop on interacting with smart objects. Proceedings of the Companion Publication of the 19th International Conference on Intelligent User Interfaces, New York, USA, 2014: 45~46
- 5 孔俊俊, 郭耀, 陈向群等. 一种基于智能物体的物联网系统及应用开发方法. 计算机研究与发展, 2013, 50 (6): 1198~1209
- 6 Hu S, Tang C, Yu R, *et al.* Connected intelligent home based on the internet of things. IET International Conference on Information and Communications Technologies, Beijing, China, 2013: 41~45
- 7 Viani F, Robol F, Polo A, *et al.* Wireless Architectures for Heterogeneous Sensing in Smart Home Applications: Concepts and Real Implementation. Proceedings of the IEEE, 2013, 101(11): 2381~2396
- 8 Zhou S, Wu Z, Li J, *et al.* Realtime energy control approach for smart home energy management system. Electric Power Components and Systems, 2014, 42(3-4): 315~326
- 9 Zeng D, Guo S, Cheng Z. The Web of things: asurvey. Journal of Communications, 2011, 6(6): 424~438
- 10 陈志奎, 李良. 基于 ZigBee 的智能家庭医保系统. 计算机研究与发展, 2010(S2): 355~360
- 11 Niyato D, Xiao L, Wang P. Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. IEEE Communications Magazine, 2011, 49(9): 318~326
- 12 Liu Y H, He Y, Li M, *et al.* Does wireless sensor network

scale? a measurement study on greenOrbs. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2011, 24(10): 1983~1993

- 13 Thonet G, Allard-Jacquín P, Colle P. ZigBee-Wi-Fi Coexistence. Schneider Electric White Paper and Test Report, 2008

[作者简介]



李志华, 女, 博士, 河北工程大学副教授, 信息与电气工程学院通信工程系主任, 主要研究方向为物联网与无线传感网、煤矿综合信息化。



谷全琦, 男, 河北工程大学硕士生, 主要研究方向为智能家居、无线传感网。

唐建飞, 女, 河北工程大学硕士生, 主要研究方向为智能家居、物联网。

薛亮, 男, 博士, 河北工程大学讲师, 信息与电气工程学院物联网工程系主任, 主要研究方向为无线传感网、认知无线网络技术。

赵继军, 男, 博士后, 河北工程大学教授, 信息与电气工程学院院长, 主要研究方向为下一代光网络、无线传感网与物联网、煤矿信息化。

(收稿日期: 2014-08-26)

(上接第 86 页)

- 10 Wan P J, Huang S C H, Wang L, *et al.* Minimum-latency aggregation scheduling in multihop wireless networks. Proceedings of the Tenth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Philadelphia, PA, USA, 2009: 185~194
- 11 Fu L, Liew S C, Huang J. Effective carrier sensing in CSMA networks under cumulative interference. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2013, 12(4): 748~760
- 12 Huang X, Lu D, Li P, *et al.* Coolest path: spectrum mobility aware routing metrics in cognitive Ad Hoc networks. Distributed Computing Systems (ICDCS 2011), Minneapolis, Minnesota, USA, 2011: 18~191

[作者简介]



王小明, 男, 莱芜职业技术学院信息工程系讲师, 主要研究方向为认知无线网络、数据挖掘。

张剑康, 男, 郑州大学信息工程学院博士生导师、教授, 主要研究方向为认知无线网络、大数据处理技术。

(收稿日期: 2014-05-26)