电能实时远程在线监控系统设计与实现

刘建歌,慕德俊,张慧翔,毛保磊
(西北工业大学 自动化学院,陕西 西安 710072)

摘 要:文中将 ZigBee 无线传感器网络、MQTT 消息代理以及 WebSocket 技术相结合,设计实现了一个适用于小到家庭大到工业园区的实时远程监测控系统,以减少不必要的电能浪费,同时有效地节省人力物力。系统后台利用 ZigBee 无线传感器网络采集用电信息;中间层利用 MQTT 消息代理将采集到的用电信息以消息的格式统一管理,并为用户预留创建新消息的接口,便于系统的扩展;前端采用 B/S 模式增强其通用性,采用 WebSocket 技术将 Web 服务器得到的消息实时地推送到客户端浏览器,提高了系统的实时性。结果表明该系统在可扩展性、通用性、实时性等方面都有所改进。

关键词:物联网;实时监控;无线传感器网络;消息代理;WebSocket 技术
中图分类号:TP39 **文献标识码**:A **文章编号**:1673-629X(2013)09-0170-04
doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.09.043

Design and Realization of Electrical Energy Real-time Distant Monitoring and Control System

LIU Jian-ge, MU De-jun, ZHANG Hui-xiang, MAO Bao-lei
(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: It combined ZigBee wireless sensor network, MQTT message broker and WebSocket technology together to realize a real-time distant monitoring and controlling system which is suitable for both family and industrial zones. This system can reduce unnecessary waste of electricity and save manpower effectively. The ZigBee wireless sensor network is used to collect the electricity information in the background. Furthermore, the intermediate layer utilizes MQTT message broker to manage the collected information of electricity and reserves a connector for user to create new information so that the system is easy to expand. In addition, the front end enhances the generality through B/S mode and increases the instantaneity by utilizing WebSocket to push the information received by Web server to the client browser. The result shows that this system has improvement in expandability, generality and real-time performance.

Key words: Internet of Things; real-time monitoring; WSN; message broker; WebSocket technology

0 引 言

我国是世界上第二大电能消耗国,然而对电能的浪费状况也很严重。目前,我国工业用电量和家庭用电量分别占到了社会用电总量的 79% 和 12% 左右,对电能的浪费也主要集中在这两个方面。在家庭和办公室的用电方面,电能主要浪费在电器的待机能耗上,当电器处于待机状态时,看上去是关机的,但其内部的电器元件还在带电工作,这种状态下对电能的消耗也是不容小觑的,例如电视机平均待机能耗为 8.07 瓦/小时,电脑以及路由器的平均待机能耗分别为 8 瓦/小时和 4 瓦/小时,当充电器完成充电后,其耗电量占到了充电时的 10% 左右。在工业用电方面,由于工业园区面积大,用电设备多,实现对用电设备的统一管理比较困难,常会出现用电设备工作完成却没有及时关闭、用电设备出现故障却没有及时发现、用电设备只需在小功率条件下工作却在大功率下工作等等问题,都产生了大量不必要的电能浪费。

近年来,国家对节能减排的关注度持续增加。由于电能不仅是最重要的能源而且是消耗其他能源产生的能源产品,为此,节约电能显得尤为重要。据专家统计,全国居民每人每个月节约一度电,全国就可以节约 156 亿度电,可以减少二氧化碳的排放 1 400 万吨。目

收稿日期:2012-11-21 **修回日期**:2013-02-26 **网络出版时间**:2013-04-22
基金项目:国家自然科学基金资助项目(61203233);西北工业大学研究生创业种子基金(Z2012120);西北工业大学基础研究基金资助项目(JC20110264)
作者简介:刘建歌(1988-),女,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为模式识别与智能系统;慕德俊,教授,研究方向为自动控制和信息安全;张慧翔,副教授,研究方向为模式识别与智能系统。
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130422.1721.027.html

前,在节约电能方面,国家及政府已经采取了一定的措施,包括实行阶梯电价,用电费的增加提高居民的节电意识等。随着物联网技术的出现与发展[1],基于物联网架构的节能方案越来越多[2],如利用物联网中的感知技术,将传感器设备用在智能路灯中,通过感知周围的亮度自动调节路灯的开关及亮度,避免了白天路灯依然亮着的情况;利用无线传感器网络实现城市路灯监控系统[3],实现按需照明、节约电能的目的;利用物联网实现校园用电信息的统一管理[4],通过无线模块将用电信息汇总,以动态曲线图的方式监控校园的用电情况,从而有效防止校园电能的浪费。然而随着应用的越来越广泛,需要监测的设备种类越来越多,以致数据的种类、数据量和命令种类越来越多,在这种情况下,对系统的实时性、可扩展性、通用性等方面的要求越来越高。现今,网络应用更多的趋向于 B/S 模式,如何将 B/S 模式与无线传感器网络相融合,实现数据的实时通信,也需要更好的解决方法。

本系统在物联网架构的基础上[5],将 ZigBee 无线传感器网络、MQTT 消息代理以及 B/S 模式下的 WebSocket 技术相结合,提出了一个具有良好通用性、可扩展性的电能实时远程在线监控的解决方案。本系统不仅适用于在家庭、办公室等较小的区域内使用,也可扩展到设备较多且面积较大的工业园区内使用。在家庭范围内用户通过浏览器监测和管理家中所有的用电器,这样即便家中无人,用户只要能够上网便可随时控制电器的开关。特别是当用户出门在外忘记关闭某些用电器时,比如电灯、空调等,只要在网页上发出指令,便可以及时关闭,减少了不必要的电能浪费。另外,当用户出门在外,但在家中的用电器需要继续工作时,用户可以通过监测电器的用电参数,观察电器是否完成工作,如果完成,即可关闭用电器,减少了电器的待机能耗。本系统还可应用在用电设备较多的大型工业园区中,例如污水处理厂,在这些工业园区中,有些设备需要长期工作,而有些设备需要间歇性地工作,设备管理复杂,靠人力去控制这些设备,由于工业园区面积大设备多,需要很多的人力物力,如果通过网页统一管理用电设备,工作人员就可以足不出户地在浏览器上控制所有设备,这样不仅可以在第一时间打开或者关闭相应的用电设备,根据需要调节其功率的大小,达到节约电能的目的,同时能够有效地节省人力物力。另外,通过实时远程监测可以使用户了解和掌握设备使用过程中的状态变化,用于故障的检测、分析和预报,用户便可在第一时间发现故障设备、到达需要维修的地点,不必让工作人员逐个检查设备,节约了维修成本,应急抢修效率也有所提高。本系统意在通过实时远程监控用电设备,减少电能的浪费,同时有效地节省人力物力以及各种资源。

1　总体方案及关键技术

1.1　系统架构

电能实时远程在线监测系统包括三个部分:后台 ZigBee 无线监测网络;中间层消息代理;前台为标准的三层 B/S 架构,如图 1 所示。

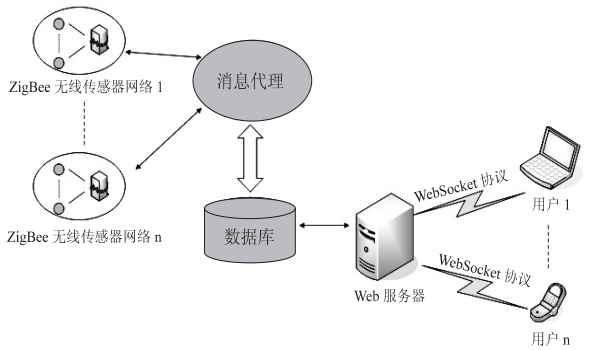

图 1　系统架构图

系统的工作过程分为两个部分,分别为上行数据从传感器节点发送到客户端浏览器以及下行从客户端浏览器发送的命令到达传感器节点。首先为上行部分:利用后台 ZigBee 无线传感器监测网络来采集各用电设备的用电信息,例如电压、电流、功率等,通过网关发送到消息代理。网关有两个作用:一是作为协调器,用于建立和维护 ZigBee 网络;二是作为 ZigBee 监测网络和消息代理之间交互的接口,负责将数据封装成消息的格式转发给消息代理。消息代理作为所有需要传递的消息的管理机构,根据用电设备以及数据类型的不同分为不同的主题。消息代理收到来自网关的消息后,根据主题的不同,将消息原封不动地存入数据库的相应位置,Web 服务器再根据用户的订阅,从数据库中取出数据。在 Web 服务器和客户端部分,Web 服务器从数据库取出需要的消息,采用 HTML5 中的 WebSocket 技术,在 Web 服务器和浏览器之间打开一个全双工的通信通道,将数据实时地推送给客户端浏览器,用户通过网页便可及时监测到需要监测设备的用电信息。其次为下行部分,用户根据自己的需要或者数据,异步地通过 WebSocket 连接向 Web 服务器发送管理和控制命令。Web 服务器将数据封装成消息格式,将命令存入数据库。消息代理轮询数据库的命令语句,查看是否有用户发布的管理和控制用电设备的命令,如果有则将命令取出并转发给相应的网关。网关将发来的消息解析成设备能够识别的命令,转发给用电设备,从而管理和控制用电设备。

1.2　数据采集

本系统中用电信息,包括电流、电压、用电量、功率的采集是利用国家电力行业标准的多功能电表通信规

约 DLT645[6],制定该标准是为统一和规范多功能电能表与数据终端设备进行数据交换时的物理连接和协议。该标准适用于多功能电能表的费率装置与其他数据终端设备进行点对点的或一主多从的数据交换方式。目前,我国电能表、电力系统均采用该标准,因此采用该标准采集用电信息有助于系统的通用性。

1.3 MQTT 消息代理

在系统中添加消息代理中间层,采用发布/订阅消息传递模式,这样系统的基本元素变为客户端、消息和消息代理。其中客户端是消息的发布者和订阅者,在本系统中即用电设备和用户为客户端。消息代理主要是用来统一管理需要传递的所有消息,发布者向消息代理发送特定主题的消息,订阅者向消息代理订阅特定主题的消息。这样在分布式环境下可以达到屏蔽异构平台、网络间通信协议和数据格式等的差异的目的,起到了隔离的作用,降低了异构网络间的耦合度。在系统的可扩展性、安全性以及便于多个 ZigBee 监测网络管理[7]等方面,都是非常必要的。

本系统采用 MQTT(Message Queueing Telemetry Transport——消息队列遥测传输)技术[8-9],它是由 IBM 开发,是一项为物联网而设计的消息传递技术,支持发布/订阅的消息传递模式。它是一种开放、精简、轻量级和容易实现的消息传输协议。

1.4 WebSocket 技术

在当今 Web 技术发展现状下,基于 B/S 的工作模式由于其客户端的简化这一巨大优势,使得越来越多的 Web 应用由原先的 C/S 模式转变为了 B/S 模式。然而在 B/S 模式下,数据的传递是基于 HTTP 协议的,是由客户端提出请求、服务器应答这种被动的、单向的方式实现数据的传递,这样应答中包含的数据很可能是过时的。然而,在该系统中,对于数据的实时性要求较高且数据量较大,这种传统的 Web 通信模式无法满足需求。

解决 Web 实时通信的问题,所要实现的就是服务器端的数据更新能够和客户端浏览器端同步[10],或者说服务器和浏览器之间能够实现全双工的通信。然而,无论是轮询还是 Comet 技术并不能真正意义上地实现实时通信,因为这些技术的实现依然是建立在 HTTP 协议上,每一次数据交互的过程都是一次 HTTP 协议请求和应答的过程,因此需要包含完整的 HTTP 协议的头信息,当数据交互频繁时,这些重复的头信息就会造成数据延时的增加和网络吞吐量的增加。总而言之,HTTP 协议并不适合实时的、全双工的通信。

如今,HTML5 规范中出现的 WebSocket 技术[11]定义了一条在服务器和客户端之间全双工的通信通道,它可以用来建立实时的 Web 应用。WebSocket 提供了一种在服务器与客户端之间基于单个套接字的全双工双向通信通道,和轮询以及 Comet 技术相比无论是在网络吞吐量还是延时方面都有了很大的改观。首先在网络吞吐量方面,HTTP 协议的请求和响应头信息包含 560 个字节,而 WebSocket 协议[10]的每个消息都是一个帧,头信息只有 2 个字节。有实验得出[12],当用户数量增加,WebSocket 产生的网络吞吐量和轮询相比是微乎其微的。其次,在网络延时方面,消息从服务器传递到浏览器平均需要 50 毫秒,当采用轮询技术,响应完成后,需要再一次向服务器发送新的请求,这个新请求也需要 50 毫秒,在此期间服务器不能发送任何消息给浏览器,导致服务器额外的内存消耗,这样长期累积下来,数据的延时就会慢慢增加;当采用 WebSocket 技术时,一旦连接升级到 WebSocket,虽然消息的传输从服务器传输到浏览器仍然需要 50 毫秒,但 WebSocket 连接保持打开,之后就不用再向服务器发送请求了,所以不会有内存的消耗,数据的延时也就不会增加。

在实现上,虽然 WebSocket 对于浏览器的版本有所限制,且在服务器端没有统一的 API,但采用 WebSocket 技术能够使系统在 B/S 模式下的数据实时性、网络吞吐量等方面有很大的改善。

2 系统实现

2.1 ZigBee 无线传感器网络

实验中采用无线龙公司的 ZigBee 开发套件实现无线传感器监测网络。用电信息的采集是在插座中安装费率装置,数据的传输采用 DLT645 规约,通过串口与终端节点连接来接收和发送数据。套件使用 CC2530 无线 SoC 作为核心控制器,完成功能包括通过串口与智能插座交换数据,将串口收到的用电数据传递给无线射频模块,通过 TI 公司的 ZIGBEEPRO 传输协议发送到网关。网关将收到的协议转换成 MQTT 消息格式,通过串口发送到 MQTT 消息代理,如图 2 所示。

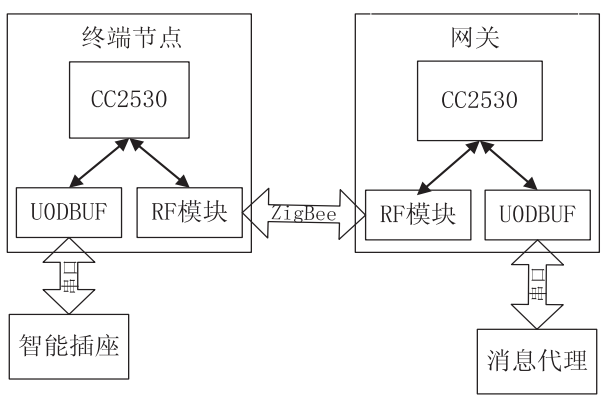

图 2 ZigBee 无线传感器网络

2.2　MQTT 消息代理

在本系统中,消息代理使用 Mosquitto,它是一个实现了 MQTT3.1 协议的代理服务器,由 MQTT 协议创始人之一开发,同时提供了 Windows 系统的版本。由于 Mosquitto 是开源的 MQTT 消息代理,因此能够在它现有的基础上,根据需求设计成适合该系统的消息代理。消息代理的功能及工作过程如图 3 所示。

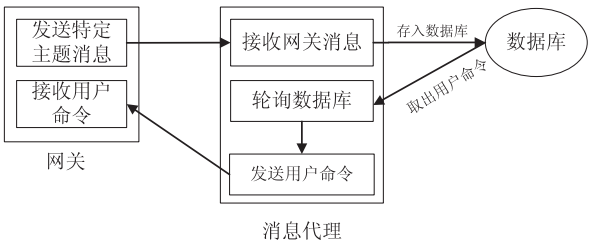

图 3　消息代理功能及工作过程

2.3　Web 服务器

从数据库到客户端,采用标准的三层 B/S 模式。数据库采用 MySQL 数据库,Web 服务器是在 Windows 平台下利用 NodeJS 框架编程实现的。NodeJS 是一个允许开发人员使用 JavaScript 语言编写服务器端代码的框架,使用 NodeJS 服务器的优点在于它使用 V8 引擎、非阻塞 I/O、事件驱动、模块化,并且 NodeJS 服务器支持 WebSocket 协议。

在本系统中服务器需要完成的功能包括:根据用户的请求从数据库中取出以消息格式存放的数据,封装为 WebSocket 协议的帧格式,通过智能分析模块判断数据的优先级,数据类型的判定根据管理员用户事先设定的阈值,如为报警数据则优先通过 WebSocket 连接推送给客户端。此外,服务器接收用户下发的命令,并封装成消息格式存放在数据库中。

在实现 Web 服务器的过程中,利用了 NodeJS 的一些模块,包括 mysql 模块,使得服务器能够与 MySQL 数据库连接;socket.io 模块,使得服务器能够实现与浏览器端基于 WebSocket 的全双工实时通信,从而实现用户的实时在线监控。

2.4　客户端浏览器

客户端浏览器选择使用支持 WebSocket 协议的 google 浏览器,采用网页的形式完成整套网站的编写,包括登录及注册页面、配置页面、监测页面、历史数据查询页面、系统管理页面等。根据用户身份的不同,可以设置不同的访问权限,增强了系统的安全性。其中实时数据的监测使用动态网页的形式,以实时动态曲线的方式显示监测的数据,当用户选择了需要监控的设备后,就和服务器之间打开了一条 WebSocket 连接,便可在图上实时地显示监测的数据,如图 4 所示。

实验同时使用两个终端节点采集数据,通过星形的 ZigBee 网络直接传给网关。实验得出,在实时性方面,从终端节点采集到数据到在浏览器上显示的时间延时不超过 60 毫秒。在采用消息代理后,对系统的管理和扩展范围就缩小到对消息代理的管理和扩展上。通过实验得出该方案在实时性、可扩展性、通用性等方面都有所改进。由于时间的限制,在实现对用电设备的控制方面,例如开关用电器、调节用电器的大小等,只是模拟了一些命令,并没有真正实现对设备的控制,这需要对电器进行进一步的设计来配合系统的实现,将在以后做进一步的研究与设计。

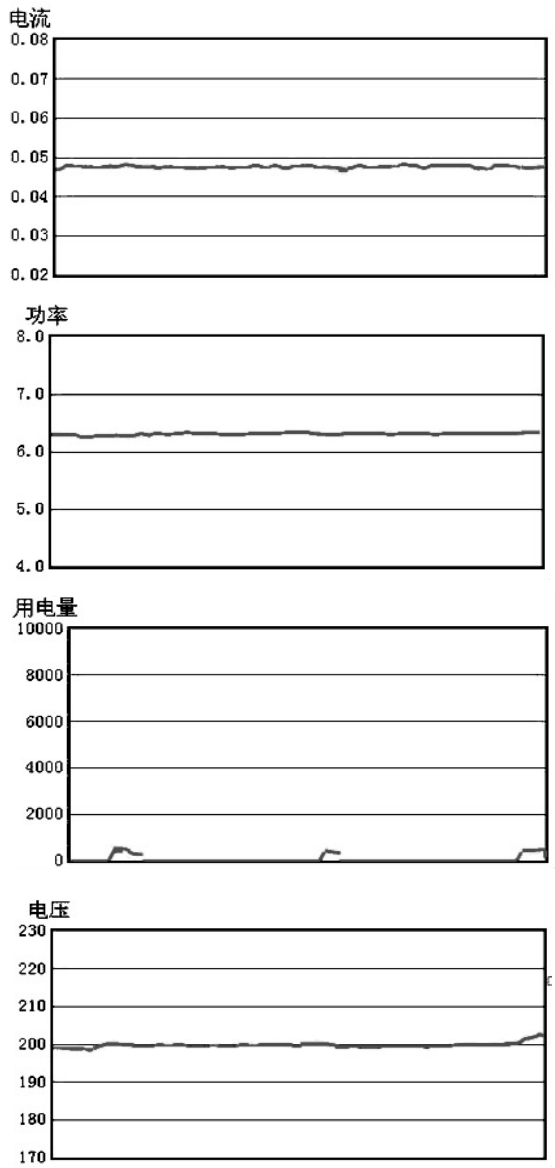

图 4　监测页面

3　结束语

随着物联网[13]技术的发展,将物联网技术用在节能减排等方面的技术将会受到广泛的关注。这一系统的实现能够给人们的生活与工作带来巨大方便的同

(下转第 177 页)

和 SW2 加上该语句。

SW1(config)# ip igmp snooping //全局开启 igmp snooping

SW1(config)# ip igmp snooping vlan vlan-id //在特定的 VLAN 开启 igmp snooping

3　结束语

文中详细介绍了 IP 多播技术在远程监控系统中的应用以及 IP 多播的具体编程实现方法。IP 多播是一种比单播和广播更有效的多点传输方式,它发出的数据报可以被属于同一个多播组的多个主机接收到,减轻了不参与多播通信主机的负担。同时,对同一个多播数据报,只在路由器需要分叉时才会复制,在任意一条链路上只会有一次复制,减少了网络上传输数据包的总量,节省了带宽,并且随着接收者和网络规模的增加这种优势将更加明显。因此,可以说用多播通信可以很好地解决远程监控系统中多监控现场和多监控终端的问题,这也将对未来的“平安城市”、“平安校园”的部署实施具有现实的指导意义。

参考文献:

[1] Deering S. Host Extensions for IP Multicasting[S]. IETF, RFC1112,1989.

[2] Calves M G,Niles K. IP Multicasting Concepts and Applications[M].[s.l.]:MoGraw-Hill Companies,Inc.,1999.

[3] 包怀忠. IP 组播关键技术研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(4):138-142.

[4] 贾　涛,孔德强,彭　欣. IP 组播技术在视频监控中的实现[C]//全国第三届信号和智能信息处理与应用学术交流会专刊. 出版地不详:出版者不详,2009.

[5] Williamson B. IP 多播网络的设计与部署[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.

[6] 张明杰. 基于 IP 组播技术在远程视频监控系统中的研究与实现[J]. 科技信息,2008(18):66-67.

[7] 张　越. Visual C++网络程序设计实例详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.

[8] 易咏成,叶远志,贺贵明. IP 组播及其在 WinSock 上的应用[J]. 计算机应用,2003,23(z1):247-249.

[9] 张会勇. WinSock 网络编程经络[M]. 北京:电子工业出版社,2012.

[10] Li D X,Su G C,Shen Y. Programming Technology of IP Multicast and Broadcast Based on Socket[J]. Journal of Beijing Institute of Technology,2001,10(3):316-321.

[11] Wright G R,Stevens W R. TCP/IP 详解卷 2:实现[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

[12] Doyle J,Carroll J D. TCP/IP 路由技术(第二卷)[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.

(上接第 173 页)

时,响应国家大力倡导的节能减排政策。不仅能够通过合理用电、减少电能的消耗达到节约用电的目的,并且应用在工业园区等大型企事业单位中,通过对用电设备的统一管理,工作人员的需求量大大减少,因此能够有效地减少人力资源的浪费。所以,设计这样一套用途广、通用性强的电能实时远程在线监控系统是非常必要的。

参考文献:

[1] Atzori L,Iera A. The Internet of Things:A Survey[J]. Computer Networks,2010,54(15):2787-2805.

[2] 龚钢军,孙　毅,蔡明明,等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(20):52-58.

[3] 王胜平. 基于 ZigBee 网络的路灯监控系统[D]. 广州:华南理工大学,2010.

[4] 陈志峰,贾海天,应　俊. 基于物联网数据库的校园电能管理系统设计与实现[J]. 中国教育信息化,2012(1):34-36.

[5] Guinard D,Trifa V. Towards the Web of Things:Web Mashups for Embedded Devices[C]//Proceedings of the International World Wide Web Conference. Madrid,Spain:[s.n.],2009.

[6] 孟珺遐,朱宁辉,白晓民,等. 基于 DL/T 645-2007 协议的智能电表嵌入式通信软件研发[J]. 电网技术,2010,34(9):7-12.

[7] 李　强. 多个 Zigbee 监测网络远程监控的实现[J]. 传感器与仪器仪表,2007,23(3-1):141-143.

[8] MQTT V3.1 Protocol Specification[EB/OL]. 2010. http://mqtt.org.

[9] MQTT-S- A Publish/Subscribe Protocol for Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of IAMCOM'08. Bangalore,India:[s.n.],2008.

[10] 孙清国,朱　玮,刘华军,等. Web 应用中的服务器推送技术研究综述[J]. 计算机系统应用,2008(11):117-120.

[11] Fette I,Melnikov A. The WebSocket Protocol[EB/OL]. 2011. http://tools.ietf.org/html/rfc6455.

[12] 李代立,陈　榕. WebSocket 在 Web 实时通信领域的研究[J]. 电脑知识与技术,2010,6(28):7923-7925.

[13] 刘云浩. 物联网导论[M]. 北京:科学技术出版社,2010.

电能实时远程在线监控系统设计与实现

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 刘建歌， 慕德俊， 张慧翔， 毛保磊， LIU Jian-ge， MU De-jun， ZHANG Hui-xiang， MAO Bao-lei

作者单位： 西北工业大学 自动化学院,陕西 西安,710072

刊名： 计算机技术与发展

ISTIC

英文刊名： Computer Technology and Development

年，卷(期)： 2013(9)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201309043.aspx