

基于 WSN 的建筑电气设备能耗远程监控系统

王 飞,张腾飞,李钦晓

(南京邮电大学 自动化学院,江苏 南京 210023)

摘 要:针对目前大多数大型公共建筑电能浪费比较严重而又缺乏有效监控的情况,结合无线传感网技术,文中设计了一种基于无线传感网的建筑电气设备能耗远程监控系统实现方案,构建了集信息采集、远程传输、分析计算、反馈控制于一体的智能化建筑能效管理系统(Building Energy Management System,BEMS)。该系统主要由无线监控节点、内部网关、服务器和远程用户端四个部分组成,由各个无线监控节点实时监测建筑内电气设备的能耗信息及相关环境参数信息,获取的数据经由相近的内部网关通过无线 GPRS 协议或有线以太网 TCP/IP 协议传送到远程服务器;服务器对数据处理后将其存储在数据库中并以不同的方式呈现;远程用户通过移动终端或 Web 登陆服务器获取建筑内用电设备和环境参数的实时信息,并可实现对用电设备的远程控制。

关键词:建筑能耗;无线传感网;GPRS;远程监控;网关

中图分类号:TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)05-0115-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.05.024

Remote Monitoring System for Energy Consumption of Building Electrical Equipment Based on WSN

WANG Fei,ZHANG Teng-fei,LI Qin-xiao

(College of Automation,Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210023,China)

Abstract:Considering that the energy waste for most of the large public buildings is serious instead,there is still lack of any effective monitoring methods to handle with that.To cope with this problem,an effective electrical equipment remote monitoring system based on wireless sensor network for building energy consumption is developed.And this system integrates different kinds of function including information collection,remote transmission,computing analysis,and feedback control.The system is mainly composed of wireless monitoring nodes,internal gateways,servers and remote clients.The buildings energy consumption information and relevant environment parameters are collected in real time by wireless monitoring node,and then transmitted to a remote server via the nearest gateway according to GPRS or TCP/IP protocols.The data is stored in the database and presented in different ways after the data processed by server.User can remotely get the real-time information of building through mobile terminals or Web services,and also realize remote control of electrical equipment.

Key words:building energy consumption;wireless sensor networks;GPRS;remote monitoring;gateway

1 概 述

随着我国城市化进程的加快,建筑物的体量越来越大,预计到 2020 年,我国城乡既有建筑面积将从现在的 420 亿 m^2 增加到 690 亿 m^2 ,建筑面积的增加导致对能源的需求也越来越大。目前,建筑使用的能耗约占全国总能耗的 1/3,与工业和交通并列为三大耗

能大户,是我国能源消耗的重要组成部分^[1-2]。与此同时,已建和在建的大部分建筑却没有有效的能耗监管措施,造成了巨大的能源浪费。因此,降低建筑能耗作为降低整个社会的总能耗的重要途径越来越受到关注。

国外发达国家关于建筑能耗的研究始于 20 世纪

收稿日期:2015-06-08

修回日期:2015-09-14

网络出版时间:2016-05-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61105082);江苏省“青蓝工程”基金(QL2016);江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(SJLX_0380);南京邮电大学“1311 人才计划”基金(NY2013)

作者简介:王 飞(1986-),男,硕士研究生,研究方向为建筑能效管理;张腾飞,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为智能信息处理、智能控制等。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160505.0815.032.html>

70 年代初的第一次国际能源危机^[3]。其主要目的是通过鼓励开发相关的节能产品,强化用户的节能意识,积极研究更适应当今社会发展要求的资源配置方法和管理模式,以减少经济发展对能源需求的依赖程度。目前已形成了一套较为完善的从政策到技术产品的建筑节能体系。我国的建筑节能研究起步相对较晚,开始于 20 世纪 90 年代初,经过三十多年的发展,虽然取得了长足进步,但是由于经济、技术等因素导致在能源利用方面主要还处于高能耗、低效率、非智能化的粗放模式,与发达国家相比还有一定的差距^[4-5]。

近年来,无线传感器网络^[6](Wireless Sensor Network, WSN)和计算机网络技术的迅速发展,使得通过技术手段对建筑能耗实现精细化的监控成为可能。通过在建筑内部布置能耗和环境监测的传感器组成无线传感网,实时监测建筑内部的用电设备的能耗和环境参数信息,并通过信息处理中心对所获取的数据进行

分析,优化用电设备的运行状态,对降低建筑能耗、减少能源浪费具有重要的现实意义。

文中提出一种基于无线传感网的建筑电气设备能耗远程监控系统实现方案。该方案采用基于 ZigBee 技术的 CC2530 无线传输 IC 作为监控节点组成无线传感网,实时监测建筑内主要用电设备的能耗和相关环境参数信息,并通过内部网关传输到远程服务器;服务器根据用户设定程序与算法对主要用电设备能耗信息进行存储和处理;远程用户通过移动终端或 Web 浏览器登陆服务器获取相关实时及历史信息,并可根据实时的需求发送控制命令,调整用电设备的运行状态,实现对建筑内用电设备的有效远程监控。

2 系统总体架构与硬件实现

系统主要由无线监控节点、内部网关、服务器和远程用户端构成,其总体架构如图 1 所示。

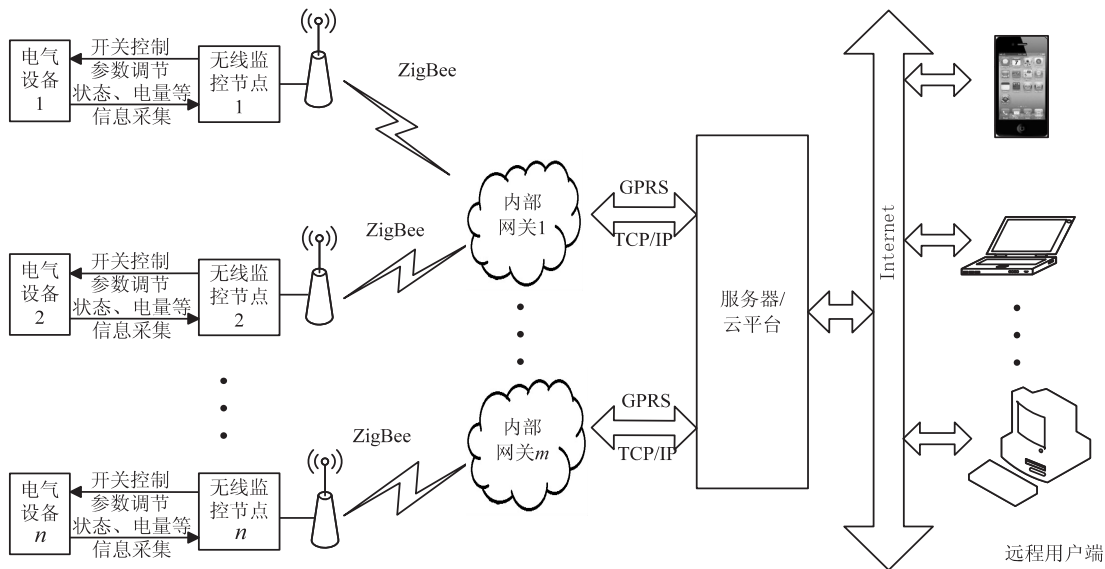


图 1 系统总体架构

建筑内部的监控节点和内部网关之间采用 ZigBee 通信技术组成无线传感网络,内部网关通过无线 GPRS 和有线以太网 TCP/IP 协议两种方式连接到远程服务器。无线传感网各监控节点获取用电设备能耗和室内环境参数信息汇聚到内部网关并通过网关传输到远程服务器,服务器端采用 B/S(Browser/Server, 浏览器/服务器)的架构设计^[7],远程用户端可以通过带有 Web 浏览器的设备登陆服务器获取建筑内用电设备和环境参数信息,并根据实际情况对用电设备进行控制。

移动终端用户还可以通过定制的 APP 软件连接到服务器,服务器可根据用户需要定时将用电设备能耗和室内环境信息推送到用户端,方便远程用户随时随地获取数据和控制用电设备,提高了远程用户和用电设备的互动效果。

2.1 无线监控节点硬件设计

无线监控节点是整个系统的感知和执行机构,主要负责采集用电设备能耗信息和室内环境参数,并通过无线传感网传输到内部网关,同时响应远程用户端下达的指令驱动执行机构控制用电设备。

用电设备能耗信息检测采用高精度三相电能专用计量芯片 ATT7022B,该芯片集成了六路二阶 sigma-delta ADC、参考电压电路以及功率、能量、有效值、功率因数及频率测量的数字信号处理等电路,能够测量交流电的各相有功功率、无功功率、视在功率、有功能量以及无功能量,同时还可以测量各相电流、电压有效值等参数^[8]。交流电通过电流互感器和电压互感器变成小信号后再经电阻网络转换成差分信号输入到 ATT7022B 的 ADC 通道,ATT7022B 内部的 DSP(数字信号处理)单元根据 AD 转换通道的输出值计算出所

测设备的电压、电流、功率和能耗等数据存入相应的寄存器,监控节点的主控制器 STM32 通过 SPI 通信总线

定时读取寄存器获取用电设备的能耗信息。无线监控节点的硬件结构和能耗信息监测电路如图 2 所示。

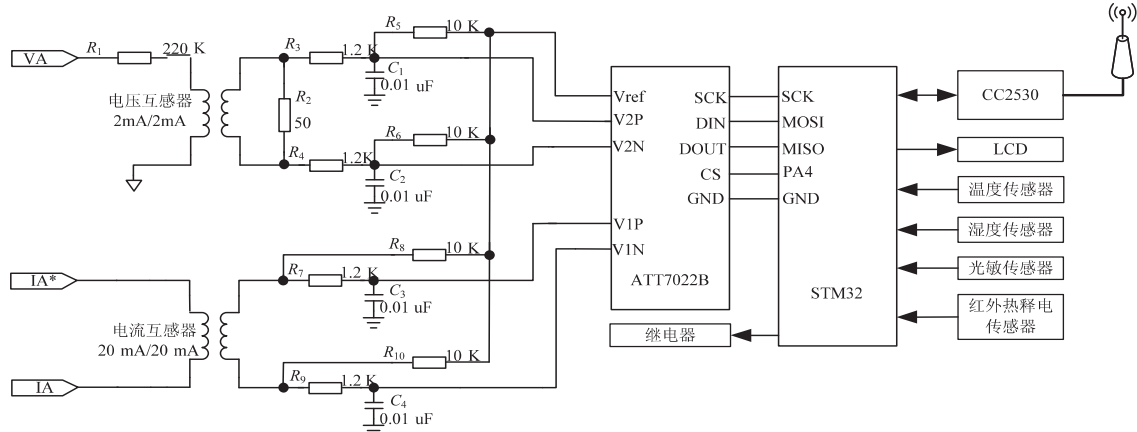


图 2 监测节点结构和能耗信息检测电路

环境参数主要采集温度、湿度、光照和室内是否有人等信息,其中温度传感器采用 MAX31723 数字温度传感器,测量范围 $-55 \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$,精度可以达到 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,通信接口为 3 线的 SPI 总线,使用起来较为方便。湿度传感器采用具有超快响应、抗干扰能力强、性价比高等优点的 DHT11 数字湿度传感器。

无线传感网组网采用 TI 推出的符合 IEEE 802.15.4 协议的 2.4 GHz 低功耗 ZigBee 芯片 CC2530^[9];主芯片选用低成本 Cortex-M3 内核的 STM32 系列微处理器,通过 SPI 总线接口从 ATT7022B 读取能耗信息,通过 UART 总线与 CC2530 连接向内部网关发送数据并接收控制命令,通过控制执行机构,如继电器,来调整用电设备的运行状态。

2.2 内部网关设计

内部网关主要负责无线监控节点和远程服务器之间数据传输的协议转换。一方面使用 CC2530 作为协调器与监控节点组成无线传感网络,另一方面通过无线 GPRS 和有线以太网 TCP/IP 两种协议连接到远程服务器,构成建筑内部监控节点和远程服务器之间信息传输的渠道,硬件结构示意图如图 3 所示。

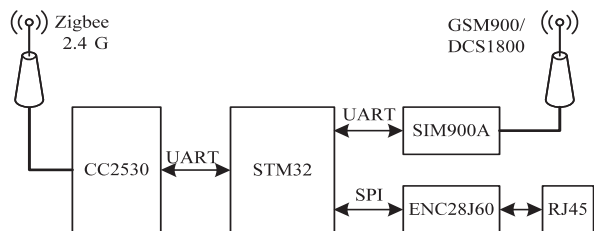


图 3 内部网关硬件结构示意图

GPRS 通信采用 SIMCom 的双频 GSM/GPRS 模块 SIM900A, SIM900A 采用工业标准接口,工作频率为 GSM/GPRS 850/900/1 800/1 900 MHz,最大传输速度可达 85.6 kbps(下行速率);其通过 UART 总线与微控制器通信^[10]。上电后 SIM900A 处于关机状态,需通过

PWRKEY 引脚对其进行开关机控制,关机状态下将 PWRKEY 拉低 1 S,即可开启模块,开机状态下 PWRKEY 拉低 1 S,即可关闭模块。该设计中可通过按键和 STM32 的 GPIO 软件控制两种方式开关 SIM900A 模块,模块启动后 LED1 持续闪烁表示设备已经接入 GPRS 网络。

以太网控制器采用 Microchip 的 ENC28J60,该芯片采用 3.3 V 供电,板上通过 SPI 总线与网关主控芯片 STM32 连接,支持全双工和半双工模式,最高速度可达 10 Mb/s,能够满足大量数据传输的需求。

内部网关采用无线 GPRS 和有线以太网 TCP/IP 协议两种方式连接到远程服务器,当数据量较小或者布线不便时可通过 GPRS 方式连接服务器;相反,当数据量较大或者布线比较容易时可通过 TCP/IP 方式连接服务器。用户在安装内部网关时,可以根据应用场景选择不同的接入方式,具有较强的灵活性,同时也保证了数据传输的可靠性。

3 系统软件功能实现

3.1 无线监控节点的组网

系统的监控节点使用星形拓扑结构进行组网^[11],采用基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网 ZigBee 协议,区域内设置多个监控节点和协调器组成无线传感网络,在 IAR Embedded Workbench 编译器中基于 TI 的 Z-stack 协议栈进行开发^[12]。在星形拓扑结构中, ZigBee 协调器是建立、管理和维护无线传感网络的中心,其他监控节点需要加入协调器建立的网络后才能与其通信^[13-14]。

协议栈中把系统的每一个功能都定义成任务,在 osal_Init_Tasks() 函数完成任务初始化以后,调用系统轮询函数 osal_start_system(),循环扫描是否有任务被触发。当有任务被触发则转到相应的任务处理函数,

若没有事件发生,系统就进入睡眠模式,等待事件发生。具体流程如图 4 所示。

监控节点既负责信息采集又负责控制执行机构,与协调器组成无线传感网后,一方面将采集到的用电设备能耗和室内环境信息通过无线传感网发送给协调器,另一方面接收来自协调器的控制指令,解析后通过执行机构控制用电设备的运行状态,其工作流程与协调器类似。

3.2 内部网关软件设计

内部网关的主要功能是连接无线监控节点和远程服务器,实现二者之间的数据传输协议转换。内部网关可以通过两种方式连接到远程服务器,主控模块会根据系统设定判断使用 GPRS 还是 TCP/IP 方式与远程服务器通信。连接成功后,内部网关将接收到的来自监控节点的数据打包后发送给远程服务器;当远程服务器有控制命令下发时,内部网关接收并解析后,再通过无线传感网的协调器发送给相应的监控节点,其主控程序工作流程如图 5 所示。

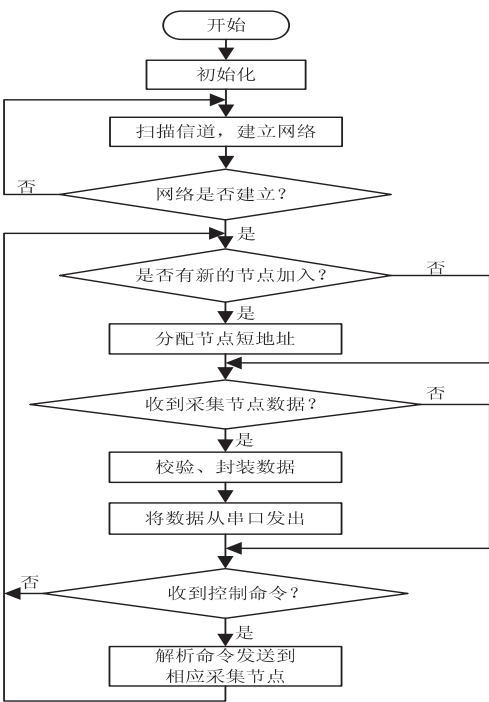


图 4 协调器软件流程图

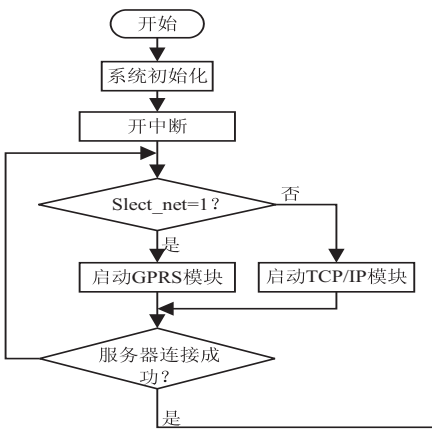


图 5 内部网关流程图

3.3 服务器和远程用户端的设计

服务器端采用分布式的 B/S 结构进行设计。内部网关与服务器建立连接后向服务器发送来自监控节点的实时监测信息,服务器端通过 Netty 框架监听内部网关的连接端口获取数据后存入数据库。数据经过处理后以用户数据报表和历史曲线等形式在浏览器中显示或通过 Jpush 信息推送技术发送给移动终端,以相对友好的形式向用户展现建筑内用电设备和环境参数在当前或某一段时期的状态。此外,远程用户可以根据获取到的数据信息做出合理决策发送控制命令到服务器,服务器接收控制命令处理后通过内部网关连接端口发送给内部网关,最终将控制命令传送到监控节点的执行机构。

关系型数据库管理系统实现,主要通过建表记录注册的设备、控制命令、家电状态、用户权限等信息,其主要采用 SQL 非过程化编程语言,而服务器的开发采用面向对象的 Java 语言开发,二者之间采用 MyBatis 进行转换。

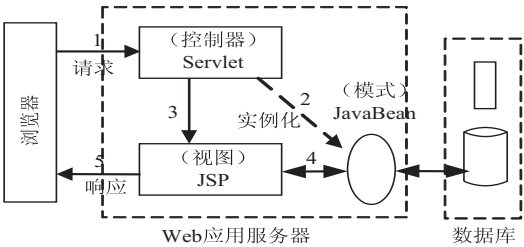


图 6 JSP 模式 2

面向用户 Web 页面则采用与数据库进行交互的动态 Web 编程,文中采用如图 6 所示的 JSP(Java Serv-

er Pages) Model 2^[15]。Model 2 主要使用三种技术: JSP、Servlet 和 JavaBeans。JSP 负责生成动态网页,只用作显示页面;Servlet 负责流程控制,用来处理各种请求的分派;JavaBeans 负责业务逻辑、对数据库的操作。

用户通过浏览器向 Web 应用中的 Servlet 发送请求,Servlet 接收到请求后创建并实例化 Javabeans 对象。其实例化方法是通过 Javabeans 对象返回从数据库中读取的数据,然后 Servlet 选择合适 JSP,并且把从数据库中读取的数据通过这个 JSP 进行显示,最后 JSP 页面把最终的结果返回给浏览器,用户刷新 Web 页面即可获得相关信息。

4 结束语

文中提出了一种新的建筑电气设备能耗远程监控系统实现方案。该方案采用无线传感网技术以及 GPRS、TCP/IP 传输协议实现了从建筑内无线监控节点经过内部网关、远程服务器到远程用户端的数据及控制命令双向交互,为用户实时获取建筑内电气设备的能耗信息并根据用户的决策需求远程实时调整用电设备的运行状态提供了一种便捷的途径。如何对获取的建筑电气设备的能耗信息进行进一步处理以实现建筑的自动能效管理将是下一步的研究工作。

参考文献:

[1] 翁丽芬,张楠,陈俊萍.我国建筑能耗现状下的建筑节能标准解析及节能潜力[J].制冷与空调,2011,25(1):10-14.

[2] 周铭,刘岩.能效管理系统在某办公建筑中的应用[J].智能建筑与城市信息,2013(3):14-16.

(上接第 109 页)

[7] 孟小峰,潘晓.基于位置服务的隐私保护[J].中国计算机学会通讯,2010,6(6):16-23.

[8] 郭艳华.位置服务中轨迹隐私保护方法的研究[D].武汉:华中师范大学,2011.

[9] Kido H,Yanagisawa Y,Satoh T. An anonymous communication technique using dummies for location-based services [C]//Proceedings of international conference on pervasive services. [s. l.]:IEEE Computer Society,2005:88-97.

[10] Niu B,Li Q,Zhu X,et al. A fine-grained spatial cloaking scheme for privacy-aware users in Location-Based Services [C]//Proc of 23rd international conference on computer communication and networks. [s. l.]:IEEE,2014:1-8.

[11] Ghinita G,Kalnis P,Skiadopoulos S. PRIVE:anonymous location-based queries in distributed mobile systems [C]//Proceedings of international conference on world wide web. [s. l.]:[s. n.],2007:371-380.

[12] Mokbel M F,Chow C Y,Aref W G. The new casper:query

[3] Kuchen E,Fisch M N. Spot monitoring:thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter[J]. Building and Environment,2009,44(4):839-847.

[4] 钟伯成.建筑能耗智能监控与管理系统研究[J].上海工程技术大学学报,2012,26(3):200-204.

[5] 闫华光,陈宋宋,钟鸣,等.电力需求侧能效管理与响应系统的研究与设计[J].电网技术,2015,39(1):42-47.

[6] 司亚超,吕国,于江利.基于无线传感网电能质量监控系统的研究设计[J].电源技术,2014,38(2):373-374.

[7] Peng Jia,Wang Meiling. Wire remote monitor and control system based on Zigbee and web [C]//Proc of Chinese control and decision conference. [s. l.]:[s. n.],2013:3361-3366.

[8] 江兵,陈丽娟,封驰,等.企业用户电能信息采集系统的设计与实现[J].南京邮电大学学报:自然科学版,2012,32(1):89-93.

[9] CC2530 a true system-on-chip solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee applications [EB/OL]. 2011. <http://www.ti.com.cn/>.

[10] SIM900A_Specifiction_V1102 [S/OL]. 2013. <http://wm.sim.com/>.

[11] Zhang Hong. The design of wireless sensor network system based on ZigBee technology[J]. Applied Mechanics and Materials,2014,686(7):53-55.

[12] August B,Carles G,Ilker D,et al. A holistic approach to ZigBee performance enhancement for home automation networks [J]. Sensors,2014,14(8):14932-14970.

[13] 刘新宇,李兵,黄珊,等.一种 ZigBee 无线传感器网络拓扑发现算法[J].计算机工程,2012,38(4):97-99.

[14] 庞泳,李光明.基于 ZigBee 的智能家居系统改进研究[J].计算机工程与设计,2014,35(5):1547-1550.

[15] Kurniawan B. Serlet and JSP 学习指南 [M]. 崔毅,俞哲皆,俞黎敏,译.北京:机械工业出版社,2013.

processing for location services without compromising privacy [C]//Proc of the international conference on very large data bases. [s. l.]:[s. n.],2006:763-774.

[13] Chow C Y,Mokbel M F,Liu X. Spatial cloaking for anonymous location-based services in mobile peer-to-peer environments [J]. Geoinformatica,2011,15(2):351-380.

[14] Ardagna C A,Jajodia S,Samarati P,et al. Privacy preservation over untrusted mobile networks [M]//Privacy in location-based applications. Berlin:Springer,2009:84-105.

[15] Sasi S B,Dixon D,Wilson J. A general comparison of symmetric and asymmetric cryptosystems for WSNs and an overview of location based encryption technique for improving security [J]. IOSR Journal of Engineering,2014,4(3):1-4.

[16] Du Min,Wang Xiaoliang. P2P trust model of dynamic optimization for group competition based on entropy method [J]. Computer Engineering & Applications,2012,48(17):123-128.