

低功耗物联网网关设计与实现

朱 广¹ 黎海涛¹ 马银童¹ 蒋 维²

(1. 北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124; 2. 青海民族大学物理与电子信息工程学院 青海 810000)

摘 要:为降低网关的运行功耗,提高网关的通用性,设计了一种基于蓝牙 4.0 与 IEEE 1888 协议的低功耗物联网网关。该网关采用 Arduino 为硬件平台,集成了以 CC2541 芯片为核心的蓝牙 4.0 模块以及基于 W5100 芯片的以太网模块,支持搭载有蓝牙 4.0 芯片设备的传感器数据接入网关,实现了基于 IEEE 1888 协议的网关与服务器和应用单元之间的双向通信。测试结果表明,所设计网关具有功耗低、通用性强、实时性好等优点。

关键词:网关;蓝牙 4.0;IEEE 1888 协议;低功耗

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design and implementation of low-power IoT gateway

Zhu Guang¹ Li Haitao¹ Ma Yintong¹ Jiang Wei²

(1. College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. College of Physics and Electronic Information Engineering, Qinghai University for Nationalities, Qinghai 810000, China)

Abstract: In this paper, a low-power IoT gateway is designed to reduce the operating power consumption and improve the versatility, which is based on Bluetooth 4.0 and IEEE 1888 protocol. The gateway is developed on the Arduino hardware platform which is integrated with Bluetooth 4.0 module and Ethernet module, and enables the sensors data from Bluetooth 4.0 device accessed. Also, it implemented bidirectional communication between the server and the gateway based on IEEE 1888 protocol. The test results show that the developed gateway has the advantages of low-power, universality and real-time operation.

Keywords: gateway; Bluetooth 4.0; IEEE 1888 protocol; low-power

1 引 言

在嵌入式系统、传感器和无线通信等技术的支撑下,物联网(IoT)已经广泛地应用于能源管理、智能家居、环境监测、智能交通、现代农业和公共安全等领域^[1]。在物联网网络中,与传感器结合的无线通信技术是底层设备接入核心,目前用于 IoT 的主要无线技术有工作在 2.4 GHz 频段的蓝牙、ZigBee 和 WiFi 等^[2]。

ZigBee 组网迅速、功耗低,但传输速率不高,且各 ZigBee 厂商通信协议自己定制,不同商家的产品很难交互使用,无法满足用户的多种需要。WiFi 提供 Internet 接入技术,数据传输速率高且传输距离远,但功耗较高,不适合低功耗应用场景^[3]。

蓝牙 4.0 集高速率传输和低功耗为一体,其拥有超低的运行功耗和待机功耗,传输速率介于 ZigBee 和

WiFi 之间,传输距离较远。同时,蓝牙 4.0 采用自适应跳频技术,能最大程度减少与其他 2.4 GHz 频段的干扰,并且使用 AES-128 CCM 算法对数据包加密和认证,能够保证数据在传输过程中的准确性^[4]。与 ZigBee 和 WiFi 技术相比较,蓝牙 4.0 在物联网领域具有明显的优势^[5]。

另一方面,当前有关物联网技术的实践层出不穷,但缺乏统一的标准,各技术方案之间互不兼容,难以实现互联互通。IEEE 1888 协议作为物联网领域的国际标准,定义了一套开放的标准化体系,能够实现各种封闭系统中私有协议的互通互联,并利用互联网技术实现传感数据和控制数据之间的自由传输与交互^[6]。

基于 IEEE 1888 协议,本文设计了低功耗的通用物联网网关,该网关采用 Arduino 硬件平台,集成了蓝牙 4.0 和以太网通信模块。并利用蓝牙 4.0 模块实现底层设备

与网关之间的通信,以太网模块实现网关与 IEEE 1888 系统中存储器和应用单元之间的数据交互。

2 系统结构

为了设计出能够实现互联互通的通用物联网网关,本文采用 IEEE 1888 协议,该协议是针对传感器和控制器等

设计的新型网络协议,也是物联网领域中由中国企业发起和成立的国际标准。它采用成熟的 IT 技术和数据通信技术,通过信息交互、协同服务、集中监测和统一管理,实现对设备的监测、控制和资源的管理。IEEE 1888 是面向应用的控制协议,它采用分层的通信系统架构,不同层次可支持不同的通信协议,其体系结构如图 1 所示。

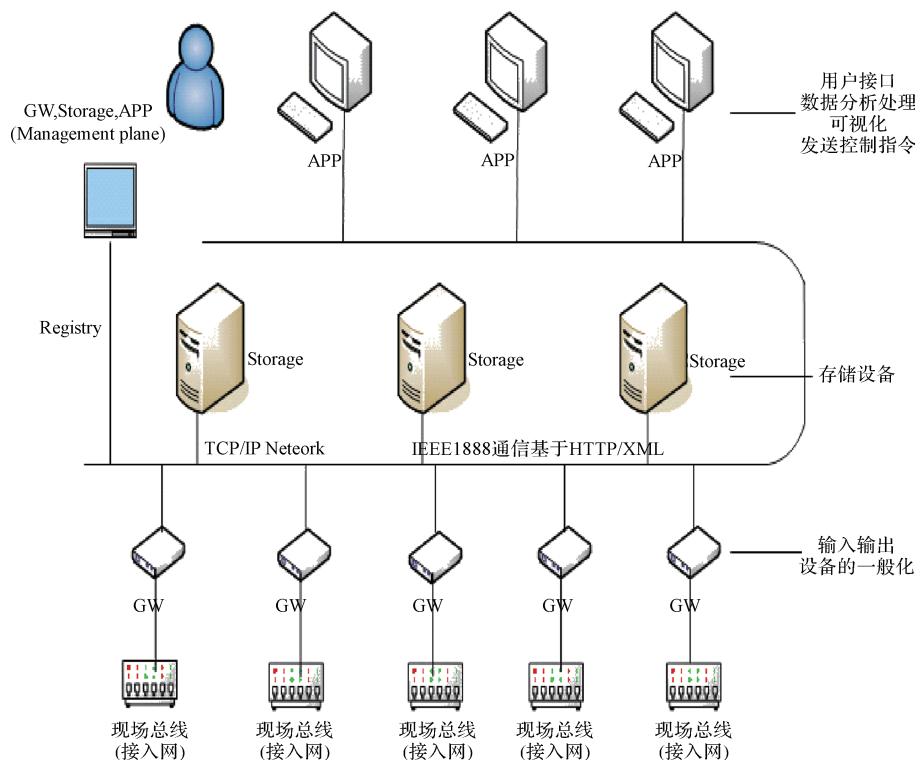


图 1 IoT 系统架构

可以看到,基于 IEEE 1888 协议的 IoT 系统由网关、存储器、应用单元(APP)组成的 IEEE 1888 组件和负责 IEEE 1888 组件之间交互的 IEEE 1888 注册器(Register)构成。其中,网关用于连接底层现场总线(包括传感器和控制器),屏蔽不同访问网络的规格差异,使设备接入 IoT 网络,起到在线化的作用。存储器在 IEEE 1888 系统中把在线化的传感器数据或状态信息长期保存,可在任意时间读取。同时,存储器也可以作为组件间数据共享的服务器。应用单元则根据不同的应用方式,开发实现不同的功能,如可视化和统计处理应用等。

IEEE 1888 协议规定了组件之间的通信方法,包括 Write,Fetch 和 Trap 3 类子协议。Write 协议用于组件对另一组件主动推送数据,Fetch 协议用于组件读取另一组件中的数据,Trap 协议提前设置触发的时间条件,只要满足该触发条件,数据提供方主动回送数据。

3 网关硬件平台设计

低功耗物联网系统主要由网关、蓝牙节点和传感器 3 部分组成。其中,所设计的网关采用具有硬件开源并可扩

展的特性 Arduino 硬件平台,其处理器核心采用 8 位 AVR 系列的 ATmega328,提供低成本、低功耗、高性能的微控制器解决方案。由于其价格低廉、片上资源丰富,能够在减少系统成本的同时降低硬件设计难度。蓝牙节点采用 TI 公司的 CC2541 芯片。传感器采用常用的温度传感器 LM35。以太网模块基于 W5100 芯片的以太网接入芯片。整个网关的架构如图 2 所示,下文详细介绍各个部分。

1) 网关处理器与存储器

网关处理器以高性能、低功耗的 AVR8 位微控制器 ATmega328 为核心,片上资源丰富,包括 32 KB 的闪存(Flash Memory)、2 KB 的静态随机存取存储器(SRAM)和 1 KB 的带电可擦可编程只读存储器(EEPROM),其中闪存中有 0.5 KB 用于引导程序(Bootloader)。同时片上集成串行外设接口(SPI),一个硬件串口,支持软件串口,能够满足物联网网关的设计要求。

2) 蓝牙 4.0 模块

蓝牙 4.0 模块基于 CC2541 芯片,该芯片是 TI 公司提供的一款针对低能耗蓝牙 4.0 的片载系统(SoC)解决方案^[7],芯片内置标准的增强型 8051CPU,系统内可编程闪

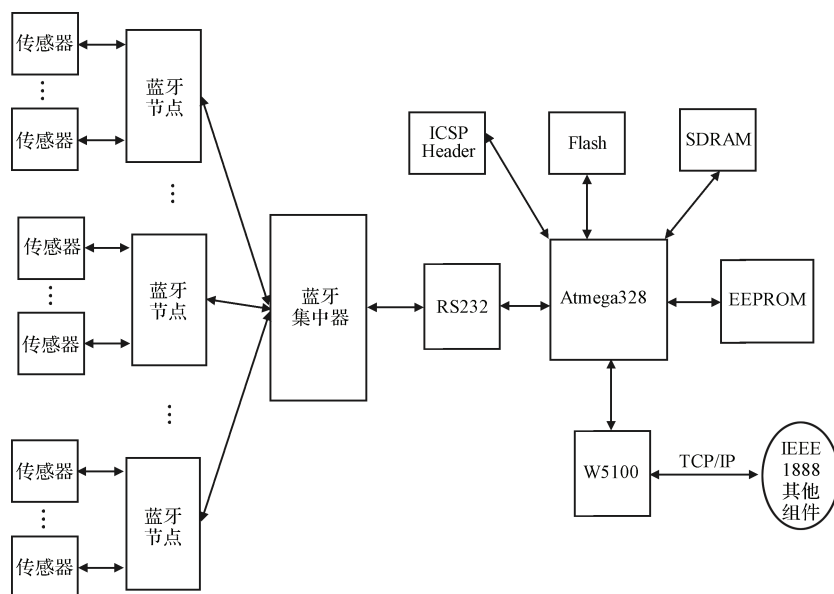


图2 网关架构

存存储器,适用于超低功耗要求的系统。

在本系统中 CC2541 分别被编程为蓝牙 4.0 集中器和节点,蓝牙 4.0 集中器通过串口与 Arduino 相连,接口如图 3 所示。串口通信信号波特率为 115 200 bps,8 位数据位,无奇偶校验位,1 位停止位。集中器独立于网关的其他部分,仅考虑与蓝牙 4.0 子节点的通信,蓝牙节点采集传感器数据并传送给集中器。

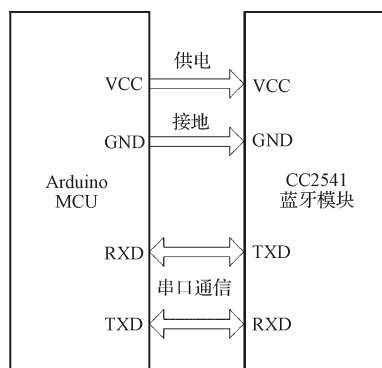


图3 Arduino与CC2541蓝牙模块接口

3) 以太网模块

以太网模块基于 W5100 以太网接入芯片,该芯片集成了全硬件的 TCP/IP 协议栈、以太网物理层和 MAC 层,支持 TCP、UDP、IPv4、ICMP、ARP、IGMP 和 PPPoE 协议,提供直接总线、间接总线和 SPI 串行总线 3 种接口方式。系统中网关与 W5100 以太网模块的连接采用 SPI 串行总线的方式,如图 4 所示。并且 W5100 芯片内置 8 kByte 发送和 8 kByte 接收数据缓冲区,可快速进行数据交换。

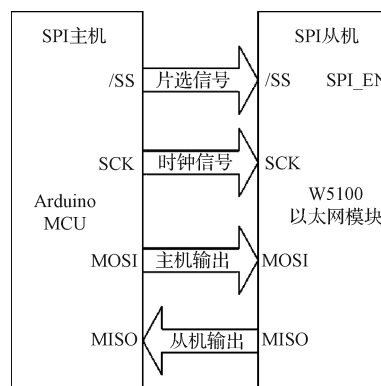


图4 Arduino与W5100以太网模块接口

4 软件设计

根据网关的架构,软件设计需实现数据的无线采集、传输,数据处理与 IEEE 1888 组件通信等功能,下文对此作详细分析。

1) 数据采集与传输

数据的无线采集传输通过蓝牙 4.0 集中器和节点设备来完成,一个蓝牙 4.0 集中器设备可同时与多个蓝牙节点设备保持连接,当某一节点设备数据发送完毕,断开连接,新的节点设备即可连接至集中器设备,间接的增加了接入的蓝牙设备,即传感器的数量。

蓝牙设备未建立连接时,可以通过 AT 指令对模块进行配置,修改模块的参数,波特率、名字、配对码等。建立连接后,可实现节点设备和集中器设备之间传感器数据的发送和接收。蓝牙集中器设备作为主机,发送建立连接请求,蓝牙节点设备作为从机,以广播的形式发送 IEEE 地

址,等待连接。集中器设备扫描发现节点设备并与之建立连接的流程如图5所示。

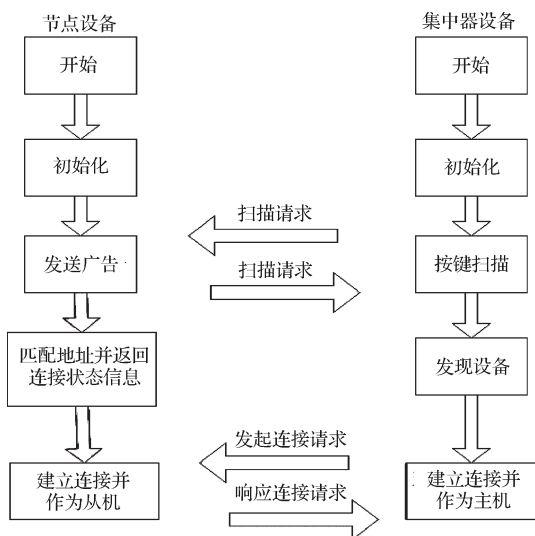


图5 蓝牙设备之间建立连接的流程

为降低功耗,蓝牙传感器数据的采集采用中断接收的方式,当蓝牙节点向 IEEE 1888 网关发送数据时,CC2541 进入中断,把接收的数据通过串口传递给 Arduino;如果没有数据接收,CC2541 进入低频工作模式,外设时钟关闭,从而降低功耗。蓝牙 4.0 集中器和子节点的程序流程如图6和图7所示。

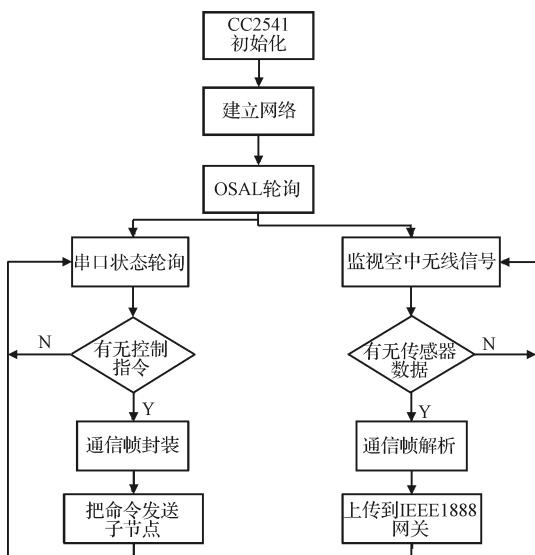


图6 蓝牙4.0集中器工作流程

2) 数据处理

本设计中数据处理模块主要实现蓝牙4.0协议与IEEE 1888协议之间的转换,即协议适配机制^[8]。该机制完成以下功能:定义标准的无线传感网的数据接入接口,保证蓝牙4.0接入协议能够变成格式统一的IEEE 1888数据和指令能供IEEE 1888其他组件解析和应用。

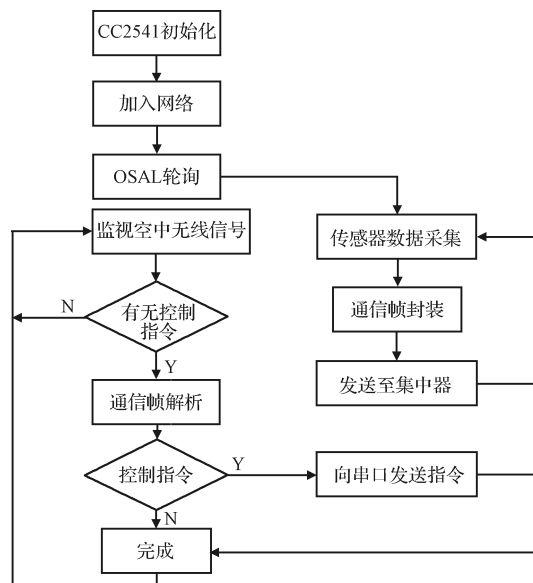


图7 蓝牙4.0子节点工作流程

软件设计时需要完成的功能包括:1)把从蓝牙4.0传感器网络接收到的数据转换成统一的数据格式以向上层的IEEE 1888组件传送;2)将从除网关外的其他IEEE 1888组件传送给底层节点设备的信息由固定的数据格式转换为支持蓝牙4.0协议的传感器节点能够识别的数据格式,起到数据过滤和整合的作用。

3) IEEE 1888 组件通信

IEEE 1888 组件间通信以远程过程调用协议(RPC)为基础,通信发起方为客户端,通信响应方为服务器,客户端和服务端通过 TCP/IP 进行消息的交互^[9]。通信过程分为3步:首先客户端发出请求消息,然后在服务器端处理,最后将处理结果作为响应消息回传给客户端。以IEEE 1888的Write协议为例,其请求消息和响应消息(统称 transport 类)由报头(header)和消息体(body)组成,如图8所示。报头承载控制信息,包含Data表达式或成功/失败消息。消息体承载数据本体,如传感器数据或执行器控制命令等。

在IEEE 1888协议的请求消息和响应消息中,消息体采用XML格式^[10]。为了生成符合IEEE 1888协议的消息体,设计了XML生成和解析模块,把IEEE 1888对象XML串行化和反串行化。XML串行化实现协议转换后传感器数据的封装,反串行化实现对IEEE 1888指令的解析并提取出蓝牙节点设备能识别的指令信息。

每个蓝牙节点设备传感器都对应着唯一的ID,用来标识其身份,传感器数据或控制指令都封装在消息体的value类中,value类包含3个成员变量。其中传感器的ID对应Point ID成员,Time成员记录传感器读取值的时间,Content成员则表示采集或记录的数据。

IEEE 1888 组件间通信软件设计除了完成通信数据

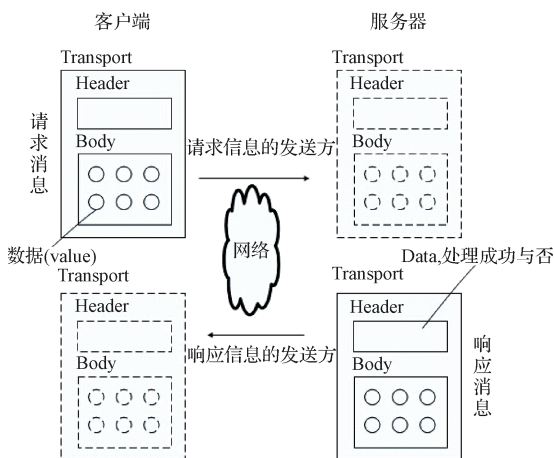


图8 消息格式的基本结构

的生成和解析外,还需要设计 W5100 以太网模块与 IEEE 1888 组件间的通信方式。建立基于 W5100 以太网模块的 TCP 连接的方式有两种:第 1 种是将其配置为 TCP 服务器模式, W5100 一直处于监听状态,等待远程客户端发起连接请求;第 2 种是将其配置为 TCP 客户端模式,向远程服务器发送建立连接的请求。由于网关需上报传感器数据也需接收控制指令,设计中采用两者并存的方式。配置过程如下:首先对 W5100 寄存器初始化,用来设置网关、子网掩码、物理地址、本机 IP 地址、设置发送缓冲区和接收缓冲区大小、启动中断等;然后配置 W5100 为 TCP 模式并向控制寄存器中写入打开端口和监听端口命令。

5 系统测试

为了验证所设计网关的功能,建立了由 LM35 温度传感器、继电器模块、蓝牙 4.0 节点、蓝牙集中器和网关组成的物联网系统,并以蓝牙 4.0 节点采集温度信息,控制继电器为例进行数据双向通信功能测试。

采用把温度传感器数据上报至 IEEE 1888 存储器和 APP 来验证数据的上行通信功能。把 LM35 温度传感器的输出与蓝牙 4.0 节点的 P0.7 相连,使用 CC2541 内部 AD 转换器采集 LM35 输出电压,并通过 LM35 电压/温度转换函数,计算出温度值。实验每隔 1 min 采集一次数据,利用蓝牙 4.0 节点把温度值传送到连接在网关上的蓝牙集中器,通过协议转换,把封装的 IEEE1888 数据传送到 IEEE 1888 存储器和 APP,持续运行一段时间后,在 PC 端的 APP 处查看显示的温度数据如图 9 所示。

进一步,采用实时控制蓝牙 4.0 节点上的继电器来验证下发控制命令功能,点击 APP 主界面的“控制”按钮,进入控制界面,如图 10 所示,点击“选择被控点状态”的下拉键,选择完毕后点击“发送”按钮即可对蓝牙 4.0 节点所连接的继电器进行实时操作和控制,可在继电器端查看到当前处于开启状态。经过实验证明,在通信过程中无漏包和发送失败的情况,有效地验证了网关双向通信功能的稳定性和可靠性。

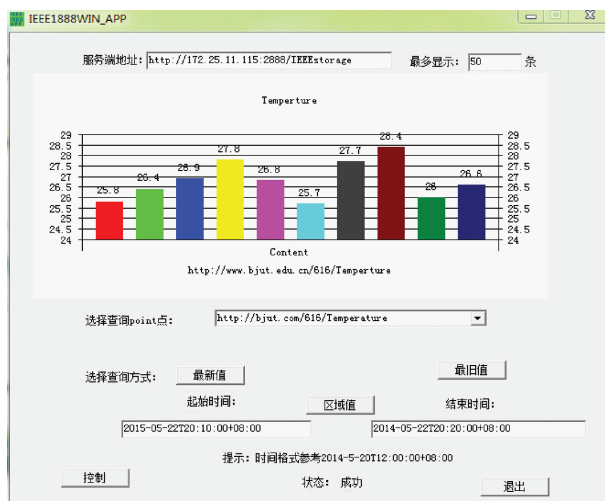


图9 APP端温度值

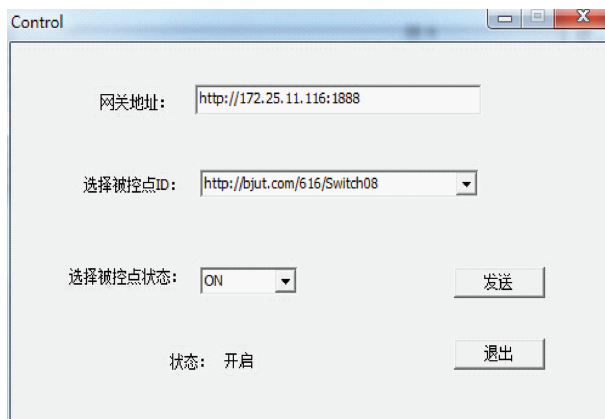


图10 APP控制继电器

6 结论

本文设计了基于蓝牙 4.0 和 IEEE 1888 协议的低功耗物联网网关,该网关以 Arduino 为主控制器,集成蓝牙 4.0 模块以及以太网模块。通过网关实现了蓝牙 4.0 和 IEEE 1888 标准之间协议转换,并基于以太网模块可实现网关与存储器和应用单元的通信。系统测试结果表明,该系统运行稳定,节省能耗且通用性强,可广泛应用于环境监测、智能家居、工业控制等物联网应用领域。

参考文献

- [1] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The internet of things: A survey[J]. Computer Network, 2010, 54(15): 2787-2805.
- [2] ZHU Q, WANG R C, CHEN Q, et al. IOT Gateway: bridging wireless sensor networks into Internet of Things[C]. IEEE/IFIP 8th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, 2010: 347-352.

- [3] 窦慧晶,侯荣全,陈凤菊. 基于 BOA 和 nRF24L01 的智能家居系统[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(2): 67-72.
- [4] Bluetooth Special Interest Group. Core Version 4.0. Bluetooth SIG Version 4.0[S]. 2010.
- [5] CHANG K H, CHANG C. Bluetooth: A viable solution for IoT [J]. IEEE Wireless Communications, 2014, 21(6): 6-7.
- [6] IEEE-SA Board of Governors. IEEE1888-2011. IEEE Standard for ubiquitous green community control network protocol[S]. New York, NY, USA, 2011.
- [7] Texas Instruments Company. 2.4-GHz Bluetooth™ low energy and proprietary system-on-chip[EB/OL]. <http://www.ti.com/lit/ds/swrs110d/swrs110d.pdf>. 2016-03-22.
- [8] 田瑞琴,吴尽昭,唐鼎. 物联网网关中轻量化规则引擎的设计与实现[J]. 计算机应用, 2015, 35(4): 1035-1039.
- [9] CHUZO N, HIROKI Y, SEIJI K, et al. Data transmission of IEEE1888 communication for wide-area real-time smart grid applications[C]. International Renewable & Sustainable Energy Conference, 2013: 978-984.
- [10] LE D H, PORA W. Implementation of smart meter working as IEEE1888-6LoWPAN gateway for building energy management systems[C]. Electrical Engineering/Electronics, Computer Conference, 2014: 1-5.

作者简介

朱广, 1990 年出生, 男, 湖南, 硕士, 主要研究方向为物联网技术与应用。

E-mail: zhuguang103@163.com。

黎海涛, 1972 年出生, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为无线通信、移动互联网、物联网等。

E-mail: lihaitao@bjut.edu.cn。

是德科技推出新款 10 位 PCIe® 高速数字化仪, 支持 10 GS/s 采样率和直流耦合特性 独特设计的数字化仪将高性能和小尺寸完美融合

2016 年 5 月 30 日, 是德科技公司 (NYSE: KEYS) 日前推出 U5310A 10 位 PCIe® 高速数字化仪, 其采样率高达 10 GS/s。凭借极高的动态范围、宽广的 2.5 GHz 带宽以及在整个带宽上的 10 位分辨率, 它能够以高保真度捕获快速瞬变信号。

这个独特的 ADC 板卡专为嵌入式 OEM 系统应用而设计, 例如医学研究、飞行时间分析 (MS-TOF)、环境监测 (LiDAR)、超声波无损测试 (NDT)、半导体测试和分布式应变温度传感器 (DSTS) 测试。此外, U5310A 还非常适合高等物理实验通过使用单次激发或基于事件的应用。

全新 U5310A 高速数字化仪具有两个 10 位分辨率的通道, 同时使用采样率可达到每通道 5 GS/s, 在交织采样模式下, 更是可高达 10 GS/s。凭借直流至 2.5 GHz 的带宽, 这款数字化仪能够以全采样速率和 4 GB 大容量存储器提供板上实时平均运算。

是德科技为 U5310A 开发了新型专有 IC。尤其是可用于驱动 ADC 的低失真、低噪声 LDNA 前端放大器 IC。这一关键元器件提供精准的单端至差分输出, 其失真度比 ADC 低 10~15 dB——因此整体性能不受影响。

是德科技还设计出低噪声专用 QMCK 时钟 IC, 其抖动极低, 仅为 25 fs。这个专用 IC 可驱动两个 ADC, 最大程度

减少抖动。此外, TRAC 触发 IC 具备 15 ps RMS 的时间精度。

是德科技通信解决方案事业部高速数字化仪经理 Didier Lavanchy 表示: “凭借创新的设计和杰出性能, 例如出色的信噪比、最小的过冲和平坦的频率响应, U5310A 可为时域和频域应用提供极其优异的测量功能。同时, 我们还开发了多种技术为它保驾护航, 例如专有 IC, 因此 U5310A 能够达到更高的分辨率, 确保更佳的测量保真度——为客户开启全新的测量视野。”

平均器 (AVG) 固化软件可确保对大量触发事件进行累积计算, 在两个通道上实现 5 GS/s 同步实时采样, 在交织采样模式下达到 10 GS/s 采样率。诸多创新特性, 例如可编程自触发输出, 优化信噪比, 以及提高其精确测量极小峰值信号的能力。

新款 PCIe 高速数字化仪注重与其他 U53xxA 数字化仪的互操作性、可复用性以及可升级性。U5310A 的软件驱动程序支持多种可编程接口, 确保这款 ADC 卡能够方便地集成到现有环境中。

有关产品配置和定价的更多信息, 请参见 www.keysight.com/find/U5310A。高分辨率图片, 请参见 www.keysight.com/find/U5310A_PCIe_Digitizer_images。