

基于 ZigBee 技术的室内定位系统的研究

刘 艳, 吴 蒙

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:随着通信技术的发展,无线传感器网络室内定位成为了定位领域的研究热点。在一些实用场合,比如消防员或者老人位置跟踪都要用到定位,因此,如何进行室内定位是文中研究的重点。文中以 CC2431 无线定位引擎为核心,阐述了定位原理,搭建了基于 ZigBee 技术的室内定位系统,并对该定位系统进行测试分析。该定位系统满足低成本、低功耗的要求,定位精度在 5 m 以内。最后,针对定位引擎在使用中存在的不足,提出了一种新的辅助定位手段即行人航位推算,将两种定位方法相结合,可以实现更精确的室内定位服务。

关键词:ZigBee;无线传感器网络;定位;CC2431;CC2430;RSSI

中图分类号:TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)04-0181-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.04.046

Research on Indoor Location System Based on ZigBee Technology

LIU Yan, WU Meng

(College of Telecommunication & Information Engineering, Nanjing University of
Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: With the development of communication technology, wireless sensor networks become a hot research topic in the field of indoor location area. In some practical situations, such as location tracking of firefighters or the old, they all need location, therefore, how to conduct indoor location is the key point. Consider CC2431 wireless location engine as the core, elaborating location principle, setting up the indoor location system based on ZigBee, and testing the location system. As a result, the location system meets the low-cost and low-power requirements, the location accuracy is in five meters. Finally, considering the location engine deficiencies in use, a new auxiliary location means is put forward whose name is Pedestrian Dead Reckoning. Two different location methods can be combined to realize more accurate indoor location service.

Key words: ZigBee; wireless sensor networks; location; CC2431; CC2430; RSSI

0 引 言

无线传感器网络是分布式的网络,网络中的每个节点具有传感、计算、通信和存储的能力。无线传感器网络具有自组织、自路由、自修复的功能,自组织需要传感器节点可以“感受”它们在空间的位置,确定出节点在网络中的物理位置。

众所周知,GPS 是比较成熟的定位技术,带有 GPS 接收器的装置可以准确地定位出自身的位置。然而基于 GPS 的定位方案不能被应用在无线传感器网络中,因为无线传感器网中的节点必须具有低功耗、低复杂度的特点。另外,在室内环境下,GPS 信号被阻隔,基

于 GPS 的方案无法提供可靠的室内定位估计。ZigBee 技术是一种低功耗、低成本、低数据传输率、短距离的无线通信技术。可以将 ZigBee 技术应用到无线传感器网络中,实现室内定位。

1 CC2430 和 CC2431 芯片简介

CC2431^[1]是 TI 公司推出的带硬件定位引擎的片上系统解决方案,能满足低功耗 ZigBee/IEEE 802.15.4 无线传感器网络的应用需求,它是由 CC2430 加上 Motorola 公司的 IEEE 802.15.4 标准的无线定位引擎组成,它适合于构建各种与 ZigBee 相关的无线传感器

收稿日期:2013-07-01

修回日期:2013-10-12

网络出版时间:2014-01-28

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2011CB302900);江苏省高校自然科学研究重点项目(10KJA510035);南京市科技发展计划重大项目(201103003)

作者简介:刘 艳(1988-),女,山东泰安人,硕士研究生,研究方向为无线通信与信号处理技术;吴 蒙,教授,研究方向为无线通信与信号处理技术、无线网络安全与通信系统的信息安全。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140128.1133.009.html>

网络节点。CC2431 的定位引擎基于 RSSI 测距技术,根据接收信号的强度和已知参考节点的位置计算出盲节点的位置,可以实现 3 ~ 5 m 的定位精度和 0.25 m 的分辨率。

CC2430 与 CC2431 这两款芯片外观上完全一样^[2],区别在于 CC2430 没有内置的定位算法,正是由于这一特点,在 ZigBee 无线传感器网络定位系统中,CC2430 只能作为网关节点和参考节点,不能作为盲节点。

CC2431 的设计结合了 8 kB 的 RAM,可编程闪存,射频前端和 DMA 控制器,还包含模数转换器和定时器等功能模块,以及 21 个可编程的 I/O 引脚^[3]。

硬件支持 CSMA/CA 功能,低功耗,高性能控制器内核,业界领先的 CC2420 射频核心,满足一定的定位精度要求,这些特点使 CC2431 非常适合无线传感器网络的应用。

2 ZigBee 定位系统设计

2.1 定位系统总体设计

ZigBee 室内定位系统是一个可视化的无线传感器网络定位系统,它由定位监控中心和 ZigBee 无线传感器网络两部分组成。终端设备 PC 机是定位监控中心的核心部分,它需要安装实时定位监控软件,该 PC 机通过 USB 转串口线连接到 ZigBee 无线传感器网络的网关上,用户查看、管理、配置 ZigBee 网络以及获取网络节点数据都是通过这个软件来实现的。定位监控软件通过图形化的界面把网络节点的实时位置坐标呈现给用户,极大地方便了用户,满足了用户的需求。ZigBee 无线传感器网络由三种类型的节点组成,它们分别是 ZigBee 网关,参考节点和盲节点。参考节点是静态节点,它的位置是已知的,硬件上选用 CC2430。盲节点即待定位节点,是可以移动的节点,硬件上选用 CC2431,盲节点与参考节点进行通讯,接收来自参考节点的数据包,获得参考节点的坐标值和 RSSI 值,盲节点的位置坐标由定位引擎计算得出,数据信息通过网关传递到上位机的定位监控软件进而显示给用户,这样就完成了整个定位系统的设计。系统结构图如图 1 所示。

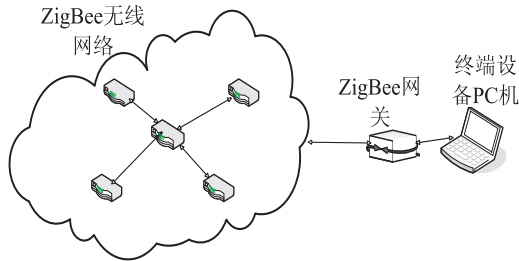


图 1 定位系统结构图

2.2 系统定位原理和开发平台

RSSI 是指节点接收到的无线信号强度的大小,已知发射节点的发射信号强度,接收节点根据接收的信号强度计算出信号的传播损耗,利用理论和经验模型将传播损耗转化为距离,再利用已有的定位算法计算出节点的位置^[4]。

接收信号强度^[5]是传输功率和传输距离的函数,接收信号强度会随距离的增加而递减,RSSI 与距离的关系见公式(1):

$$RSSI = - (10n \lg d + A) \quad (1)$$

其中, n 为信号传播常数,指出了信号能量随着收发节点距离的增加而衰减的速率,衰减与 d^{-n} 成比例, d 在这里指的是发射节点与接收节点之间的距离,实际写入定位引擎的参数 n 是一个整数索引值,它通过查表得出; A 为距离发射节点 1 m 时接收到信号能量的绝对值,单位是 dBm, A 的取值范围为 30 ~ 50,它的一个典型值为 40。

CC2431 硬件定位引擎的原理是基于 RSSI 的测距技术^[6],使用定位引擎时,至少已知三个参考节点,若参考节点数量太少,节点间的影响就会变大,造成位置坐标计算不准确。

ZigBee 开发平台包括软件平台和硬件平台两部分,硬件平台主要有高频无线模块,该模块兼容 ZigBee/802.15.4。软件平台主要包括 IAR Embedded Workbench^[7]开发工具和 ZigBee 协议栈(Z-Stack)。Z-Stack 是 ZigBee 协议的具体实现,它装载在基于 IAR 开发环境的工程里。IAR^[8]是全球领先的嵌入式系统开发工具,它是一种完整的集成开发工具集合,包括从代码编辑器、工程建立到 C/C++ 编译器、连接器和调试器的各类开发工具。IAR 编译器生成的可执行代码具有高效性和可靠性的特点,并且应用程序的规模越大,其效果特点越明显。相比于其他开发工具,系统可以同时使用针对全局和具体芯片的优化技术。

2.3 定位引擎操作流程

CC2431 的定位引擎在软件层提供了一个接口,向此软件输入 A 值, N 值等测量参数,以及各个参考节点的位置坐标。定位之前,只有把寄存器 LOCENG 的第 4 位 LOCENG.EN 置 1,才能使能定位引擎,然后再写入参考坐标和测量参数,其中,参考坐标需要 3 ~ 8 个,测量参数包括 2 个射频参数和 8 个 RSSI 值。当这些数据写完之后,为了启动定位估计计算^[9],需要把寄存器 LOCENG 第 0 位 LOCENG.RUN 置 1。一般情况下,LOCENG.RUN 被置 1 后的 1 200 个系统周期后,LOCENG.DONE 被置 1,此时,可以从 LOCX 和 LOCY 两个寄存器读出估计坐标,如果要停止定位引擎运行,应向 LOCENG.EN 写入 0,关断引擎的时钟信号,以减

少 CC2431 的功耗。定位引擎流程如图 2 所示。

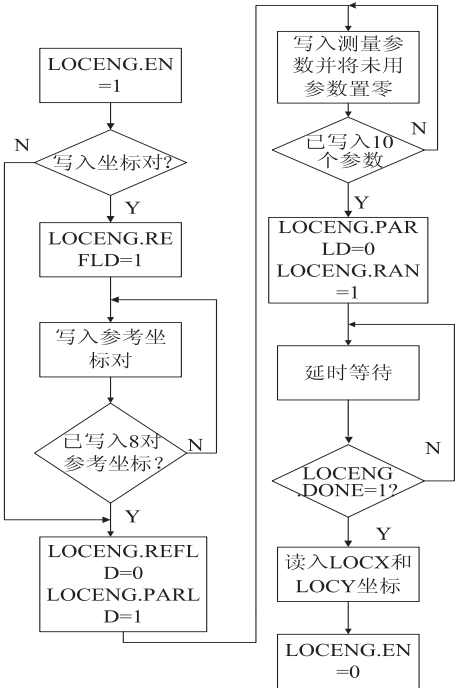


图 2 定位引擎流程

3 ZigBee 定位系统实现

3.1 定位系统搭建

文中 ZigBee 定位系统^[10]的网络节点由一个网

关、一个盲节点和四个参考节点组成。具体构成为:采用一个 CC2430 模块作为网关;一个 CC2431 模块作为盲节点;四个 CC2430 模块作为参考节点。网关采用 5 V 的 USB 供电,它通过一根 USB 转串口线与 PC 机相连,参考节点和盲节点都采用两节 1.5 V 干电池供电。所有节点硬件电路均相同,只有射频芯片的型号(CC1430/CC2431)不同。

3.2 定位系统测试

文中选择长 10 m、宽 10 m 的室内空间作为定位实验场景。

3.2.1 设置参考节点

在节点加入无线传感器网络之前,为了使节点在网络中能够被一一识别,需要利用 SmartRF Flash Programmer 软件初始设置每个节点的物理地址(默认为 FFFF FFFF FFFF FFFF),为每个节点分配各不相同的地址。另外,在 IAR Embedded Workbench 编译环境下,需要对各个节点的程序进行 Compiled、Link、Debug 等操作,完成程序的下载工作,此时前期准备工作完成。

接着,打开网关,建立 ZigBee 网络,在待定位区域部署参考节点,配置参考节点坐标,设置起始节点坐标为(20.00,10.00),其他的三个节点以 5.5 m 作为步长依次摆放,节点坐标依次为(20.0,15.50),(25.50,

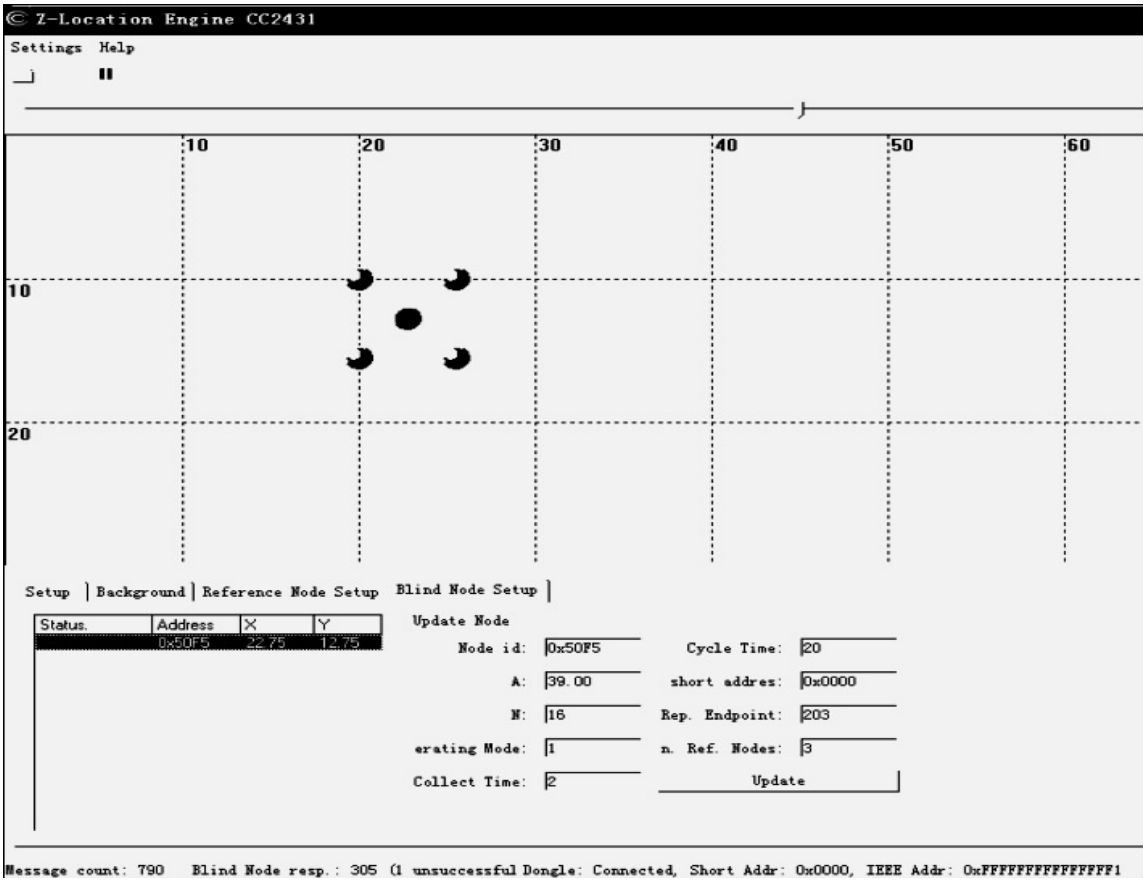


图 3 参考节点和盲节点布置图

15.50),(25.50,10.00)。如图 3 所示,四个参考节点均加入到 ZigBee 网络,并且节点以小球的形式显示在软件界面上。

最后,用 Z-Location Engine 软件实时监控搭建好的无线传感器网络。

0xFFFFFFFFFFFFFFF1 是该系统的物理地址,0x0001、0x143E、0x287B、0x3C88 分别是四个参考节点的地址,由地址信息可以初步判断,定位系统搭建成功。

3.2.2 盲节点加入 ZigBee 网络

在 ZigBee 无线传感器网络中加入盲节点,如图 3 所示。在软件界面上,周围的四个小球代表参考节点,中间的小球代表盲节点,搜索到盲节点,表明组网成功。盲节点在参考节点所限定的范围内移动,将其移动到一个位置,用卷尺测量出盲节点相对参考节点的距离,得出盲节点的实际坐标(21.23,12.74),运行定位监控软件,通过定位引擎测出的定位坐标是(22.75,12.75)。由此得出,横坐标误差为 1.52 m,纵坐标误差为 0.01 m。

3.3 定位系统结果分析

盲节点在无线传感器网络中移动,共进行四组定位测量,实验结果如表 1 所示。该实验是基于 CC2431 和 CC2430 的定位系统,由四组实验可知,在 10 m×10 m 的覆盖范围内,ZigBee 定位系统的定位精度大约在 2 m 以内,而且,盲节点与参考节点的距离越近,定位误差越小,这是因为该定位系统是基于 RSSI 测距技术,接收节点和发射节点之间的距离越小,节点接收到的信号的强度会越大。该实验选用四个参考节点,可以通过增加参考节点的个数扩大定位范围,在更大的范围内(前提小于 64 m×64 m)进行定位时,定位精度也可以保证 3 m~5 m。该无线定位系统满足低功耗、低成本的要求。

表 1 定位实验测量结果图

实验	实际测量坐标	定位引擎测量坐标	横坐标误差	纵坐标误差
实验一	(21.23,12.74)	(22.75,12.75)	1.52	0.01
实验二	(21.22,10.53)	(20.75,12.00)	0.47	1.47
实验三	(20.80,10.00)	(20.00,11.25)	0.80	1.25
实验四	(20.00,10.00)	(21.00,10.75)	1.00	0.75

4 定位系统的不足和改进

4.1 ZigBee 定位系统的缺陷

基于 ZigBee 的室内定位系统有一定的缺陷和不足^[11]。一方面,文中采用的定位方法基于 RSSI 测距技术,尽管 RSSI 技术有着成本低、操作简单和易于实

现等优点,但是这种技术也存在很大不足。当信号传播时,障碍物等环境因素会严重影响信号的强度,从而使盲节点从参考节点接收到的信号强度值出现较大的误差,由盲节点通过定位引擎获得的定位坐标测量值不准确,因此,利用 RSSI 测距技术进行定位时得到的是相对较低的定位精度。另一方面,CC2431 定位引擎得到的只是二维的坐标,无法区分不同的水平层面。

在一些实用的场合,比如老人定位、消防员跟踪定位等场景下,都要求定位系统克服障碍物和二维层面的影响。因此,单一地利用 ZigBee 技术进行室内定位满足不了人们的实际需求,需要采用其他方法辅助 ZigBee 定位,例如行人航位推算。

4.2 行人航位推算

行人航位推算^[12]是一种完全自助式的定位方法,已知移动节点的起始位置,根据连续测得的航向角和加速度推算出移动节点的下一个位置。行人航位推算需要利用陀螺仪和加速度传感器,陀螺仪用来测量移动节点的航向角,加速度传感器测量移动节点的加速度,加速度对时间积分得到速度,速度再对时间积分得到距离。原理如图 4 所示。

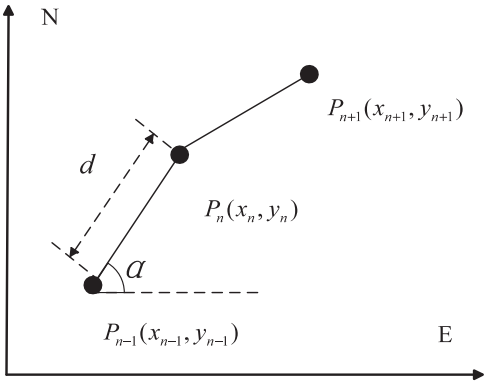


图 4 行人航位推算原理图

设某时刻行人处于 P_{n-1} 处,行走方向与 E 轴夹角为 α ,经过时间 t ,行走距离 d 后到达 P_n ,此时可以得到行人当前的位置坐标 (x_n, y_n) ,如公式(2)所示:

$$\begin{cases} x_n = x_{n-1} + d \times \cos\alpha \\ y_n = y_{n-1} + d \times \sin\alpha \end{cases} \quad (n > 1) \tag{2}$$

4.3 定位方法分析

基于 ZigBee 的定位系统由参考节点、盲节点、网关和 PC 组成,ZigBee 定位系统的不足之处在于它基于 RSSI 测距技术,定位精度容易受到复杂环境的影响且不适于三维定位;优点是可以定期更新待测节点的位置。

行人航位推算系统由移动节点(待定位节点)、网关和 PC 组成。由公式(2)可以知道,该系统需要知道移动节点的起始位置,并且移动节点的当前位置依赖于上一时刻的位置,因此随着时间的累积,定位误差会

逐渐变大,这就导致了航位推算的定位误差随时间累积的缺点。但是,这种定位手段不受复杂环境的影响,另外,如果采用集成有三轴陀螺仪和三轴加速度传感器的节点,使其能够提供三个方向(X 轴, Y 轴, Z 轴) 的航向角和加速度,就能把坐标计算由二维扩展到三维,突破 ZigBee 技术二维定位的限制。

综上所述,两种定位方法各有优缺点,如果将两种方法相结合,利用 ZigBee 技术进行初始定位,行人航位推算进行辅助定位,就可以使两种定位手段实现优势互补,得到更精确的定位服务。

5 结束语

CC2431 是一款集成有定位引擎的无线传感器节点,它可以结合其他的 ZigBee 节点构成无线传感器网络。以 CC2431 和 CC2430 为核心,文中设计和搭建了 ZigBee 无线传感器网络室内定位系统,首先部署参考节点,对参考节点进行测试分析,初步验证系统的正确性,然后在待定位区域中搜索到盲节点,表明组网成功,该系统满足低功耗、低成本的要求。通过定位实验,测量出带有定位引擎的 CC2431 可以实现 5 m 以内的定位精度。随着通信技术的发展,目前的定位服务已经满足不了人们的需求,鉴于 ZigBee 定位存在的缺陷和不足,可以用其他的方法辅助 ZigBee 定位,例如行人航位推算的方法,以实现更为精确和完美的定位服务。

参考文献:

[1] Instruments T. CC2431 system-on-chip for 2.4 GHz ZigBee/IEEE 802. 15. 4 with location engine [EB/OL]. 2007. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2431.html>.

[2] 任小洪,乐英高. ZigBee 技术在物联网系统中的应用研究 [J]. 单片机与嵌入式系统应用,2011,11(4):10-12.

[3] Eunchan K, Kim K. Distance estimation with weighted least squares for mobile beacon-based localization in wireless sensor networks [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(6):559-562.

[4] Gustafsson F, Gunnarsson F. Mobile positioning using wireless networks: Possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(4):41-53.

[5] Goldoni E, Savioli A, Risi M, et al. Experimental analysis of RSSI-based indoor localization with IEEE 802. 15. 4 [C] // Proc of 2010 European wireless conference. [s. l.]: [s. n.], 2010:71-77.

[6] 王 静,张会清. 基于 ZigBee 的无线网络定位技术的研究与实现 [J]. 传感器与微系统,2010,29(2):13-15.

[7] Andreas L, Christian W. A comprehensive approach for optimizing ToA-localization in harsh industrial environments [C] // Proc of position location and navigation symposium (PLANS). [s. l.]: [s. n.], 2010:516-525.

[8] 宋保业,田国会,周风余. 基于 CC2431 的智能空间定位系统 [J]. 山东大学学报:工学版,2011,41(1):40-44.

[9] Ssu K F, Ou C H, Jiau H C. Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(3):1187-1197.

[10] 朱巧妃. 用于仓储定位的 Zigbee 技术与设计 [D]. 南京:南京理工大学,2012.

[11] Wang C, Xiao L. Sensor localization under limited measurement capabilities [J]. IEEE Networks, 2007, 21(3):16-23.

[12] 许 睿. 行人导航系统算法研究与应用实现 [D]. 南京:南京航空大学,2008.

+++++

(上接第 180 页)

[2] IEEE standard for a high performance serial bus-Amendment 1 [S]. [s. l.]: IEEE, 2000.

[3] IEEE standard for a high-performance serial bus-Amendment 2 [S]. [s. l.]: IEEE, 2002.

[4] Wolfram K. A new radiation-hardened satellite onboard LAN based on IEEE Std 1394 [C] // Proc of space 2004 conference and exhibit. [s. l.]: AIAA, 2004.

[5] 李世平,戴 凡,汪旭东. IEEE-1394 (Fire Wire) 系统原理与应用技术 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.

[6] 万月亮,段大高,史洁琴,等. 航天电子系统 IEEE1394 总线可靠性模型研究 [J]. 计算机工程与设计,2012,33(8):2943-2946.

[7] 周庆瑞,孙辉先. IEEE1394 网络拓扑结构的可靠性研究

[J]. 宇航学报,2008,29(4):1408-1413.

[8] 陈 奇,张大海,陈卫明,等. 并行中继器在海底锥探数据传输 CAN 总线中的应用 [J]. 机床与液压,2006(4):151-153.

[9] 陈可群. 基于单片机控制的 RS-485 中继器 [J]. 可编程控制器与工厂自动化 (PLC-FA), 2005(8):67-68.

[10] 王 伟,吴海涛. 基于 FPGA 的高速数据中继器设计 [J]. 微计算机信息,2008(5):187-189.

[11] 刘义先,宋申民,陈兴林,等. 基于 IEEE1394 总线的图像采集处理系统实现 [J]. 控制工程,2006,13(S1):110-113.

[12] 聂 浩,许敬旺,康晓军,等. IEEE1394 总线接口设计 [J]. 航天返回与遥感,2011,32(4):59-67.

[13] 刘铭星,宫 亮,杨煜普. 基于 DSP 的 1394 总线在伺服控制系统中的应用 [J]. 计算机工程,2009,35(10):226-228.

基于ZigBee技术的室内定位系统的研究

作者：[刘艳](#)，[吴蒙](#)，[LIU Yan](#)，[WU Meng](#)
作者单位：[南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(4)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201404046.aspx