

UWB 室内定位系统的射频收发机设计

高睿劼¹, 黄鲁², 朱警怡¹

(1.中国科学技术大学 电子科学与技术系, 安徽 合肥 230027;

2.中国科学技术大学 信息科学实验中心, 安徽 合肥 230027)

摘要: 设计了一种 IR-UWB 室内定位系统原理样机的射频收发机, 发射机将 1 ns 的窄脉冲调制到 4 GHz, 接收机使用隧道二极管检波, 检波包络通过比较器判决后将信号传给基带进行处理。所设计的系统通过测试, 原理验证样机定位精度优于 40 cm, 达到设计要求。

关键词: IR-UWB 室内定位; 射频收发机; 隧道二极管

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)13-0087-03

Design of RF transceiver in UWB positioning system

Gao Ruijie¹, Huang Lu², Zhu Jingyi¹

(1.Department of Electronic Science & Technology, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China;

2.Labrary Center of Science and Technology, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: This paper presents an IR-UWB RF transceiver for an indoor positioning principle verification prototype system. The pulse is modulated to 4 GHz in the transmitter while tunnel diode detector is used in the receiver. The signal is caught by comparator before it goes to baseband. The system works well. The positioning accuracy is better than 40 cm, achieving design requirements.

Key words: IR-UWB; RF transceiver; tunnel diode

无线定位和物体跟踪在现代社会中具有越来越多的应用需求。IR-UWB(脉冲超宽带)技术由于功耗低、抗多径效果好、安全性高、系统复杂度低、能提供精确定位精度等优点,在众多无线定位技术中脱颖而出,成为无线定位技术的热点。

本文设计了一种低复杂度、低功耗的 IR-UWB 室内定位系统的射频收发机,标签采用低功耗的脉冲发生器和通信芯片;接收机采用基于隧道二极管的非相干检波方式^[1],降低了系统的复杂度。本文最后给出了 PCB 测量结果。

1 系统结构以及定位过程描述

根据 UWB 定位系统所要实现的功能,本系统采用多点定位的方式,系统框图如图 1 所示。定位采用 TDOA(到达时间差)方式。该系统由待定位标签(Tag)、传感器和控制台构成。其中传感器位置固定已知,标签在传感器范围内分布,控制台与每个传感器通过网线连接起来,不同传感器之间由时间同步线连接以保证时间

同步,系统框架如图 1 所示。

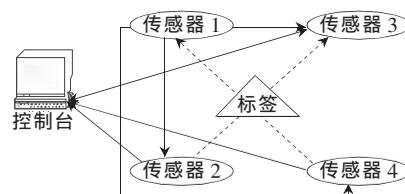


图 1 UWB 定位系统框架

为降低功耗,标签工作采用睡眠唤醒方式。即定位之前所有标签休眠,每 1 s 醒来一次。主传感器呼叫待定位标签并与其完成通信,完成通信后,该标签进行定位过程。这种设计大大减小了标签上的功耗。图 2 展现了系统的内部结构。

控制台发出标签编号通过网线传递给主传感器的基带模块,基带部分的 FPGA 发送定位命令给通信芯片并开始呼叫待定位标签。睡眠标签每秒自动唤醒一次,完成握手通信,若无法完成握手通信,则更换主传感器。通信完成之后开始进行定位过程。

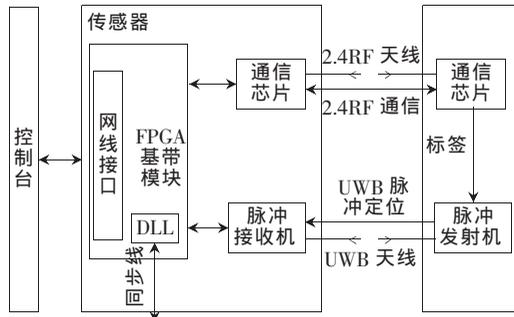


图2 系统内部结构

定位过程中,标签发出 1 ns 载波 4 GHz(频段 3~5 GHz) UWB 定位窄脉冲,传感器接收 UWB 脉冲并通过基带部分的延迟锁相环处理得到到达时间信息,通过网线送给控制台。控制台计算脉冲到达每两个传感器的到达时间差(TDOA)并进行定位计算。整个工作流程如图 3 所示。

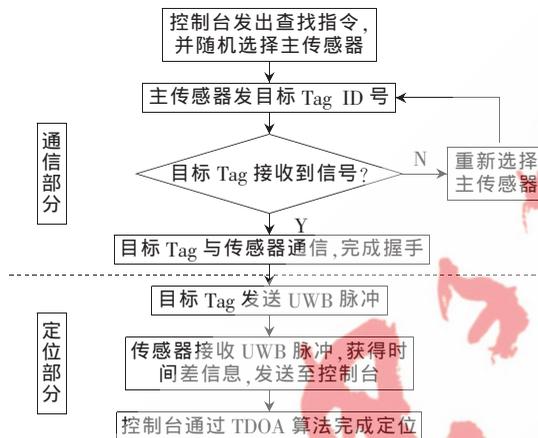


图3 系统工作流程

2 各模块具体实现

2.1 标签部分

针对室内定位系统中的实际需求,标签采用电池供电,这对标签的小型化和低功耗提出了要求。本设计的标签和传感器通信采用低功耗通信芯片 CC2510 实现^[2]。

TI 公司的 CC2510 芯片是一种低成本的无线片上系统,芯片中主要集成了一个标准的 8051MCU 和一个无线收发模块 CC2500 芯片,整个芯片面积只有 6 mm×6 mm,适用于对体积有限制的场合。芯片工作在 2.4 GHz 免费频段上,接收和发射信号时的电流分别为 17.1 mA 和 18.5 mA,休眠时的电流只有 0.5 μA。

标签由 CC2510 芯片、IR-UWB 脉冲发生器、功率放大器(PA)三部分组成。CC2510 和 PA 都处于常态休眠状态以降低功耗。被传感器呼叫唤醒并成功握手通信后,CC2510 发送使能信号控制 PA 进入工作状态并发送周期为 2 μs 的方波给脉冲发生器。

脉冲发生器使用实验室设计的一款芯片^[3],芯片中窄脉冲产生部分结构如图 4 所示。

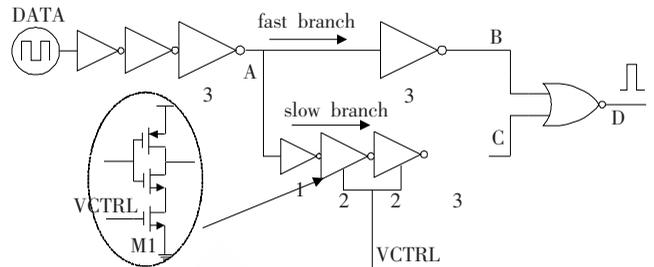


图4 脉冲发生器结构

脉冲发生器在收到的每个方波下降沿产生宽度为 1 ns 的窄脉冲,并通过 VCO 将其调制成频率为 4 GHz 的 UWB 脉冲信号,信号经过 PA 放大后通过天线发射,标签内部框架如图 5 所示。



图5 标签内部结构

2.2 传感器部分

传感器脉冲接收部分如图 6 所示,由滤波器、低噪声放大器(LNA)、隧道二极管检波器、可变增益放大器(VGA)、比较器和基带处理(脉冲到达时间测量)几部分构成。天线接收到的信号经过滤波并由 4 级 LNA 放大 64 dB 后通过隧道二极管检波器进行检波^[3]。检波后的包络通过 VGA 放大后再经过门限比较和脉冲延展电路,最后输出的波形已经远大于接收脉冲的宽度,此时可以通过 FPGA 中的 32 路延迟锁相环对其进行锁定,得到脉冲到达时间信息。

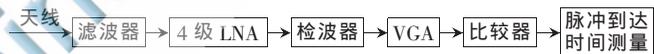


图6 传感器接收机框图

该传感器中隧道二极管工作在零偏压检波状态,检波增益高,电路结构简单。

在对超宽带信号进行检波时,由于检波输入信号和输出包络均为纳秒、亚纳秒量级,因此要求检波器工作在上吉赫兹的带宽上,检波电容在皮法量级,为提高接收机性能,也要求检波器具有较高的检波效率和灵敏度。

隧道二极管检波器(Backward tunnel diode detector)是一种适合于极窄脉冲检波的二极管检波器,它的反向导通能力远大于正向,而且没有阈值,因此无需偏置就可以实现高效率的检波。图 7 是一个隧道二极管检波器的典型电路,电感在输入端作为高频负载,信号经过隧道二极管整流后在输出端进行 RC 滤波,在小信号检波时符合平方率检波。

采用 Analog Devices 公司的 ADL5330 芯片来对检波后的信号进行放大。它是一个工作在 10 MHz~3 GHz 的可变增益放大器(VGA),可以有效地放大检波包络并去除其中的残余 UWB 调制信号分量。ADL5330 的增益为 -34 dB~22 dB,控制电压按 dB/20 mV 精确控制增益。

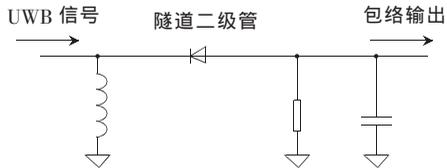


图7 隧道二极管检波电路

3 测试

标签上 2510 芯片完成通信后通过 I/O 端口发出周期为 $2\ \mu\text{s}$ 的方波,脉冲发生器在每个下降沿产生脉冲。示波器结果如图 8 所示。

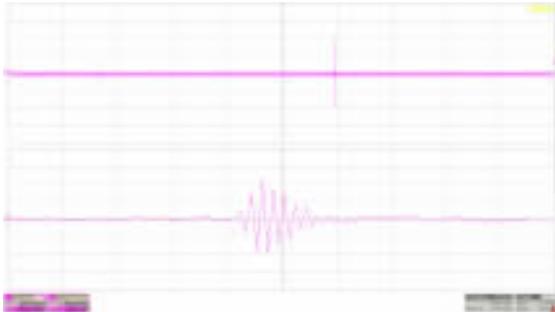


图8 脉冲发生器产生的脉冲

系统搭建完成后,通过调节衰减器来模拟室内环境。从图 9 可以看到,经 VGA 放大后的包络宽度为 $1\ \text{ns}$ 左右,幅度为 $70\ \text{mV}$ 左右。

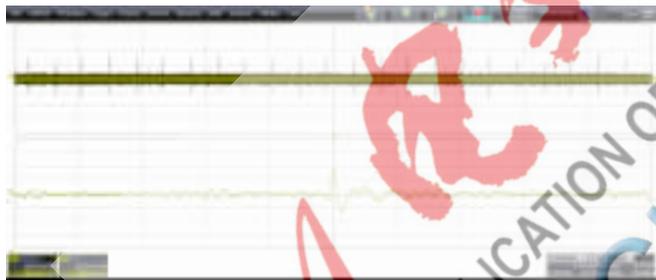


图9 VGA放大后的信号包络

VGA 放大后的信号经过比较器判决和脉冲展宽之后在基带部分的 FPGA 中用延迟锁相环进行锁相。

验证系统定位精度要求优于 $40\ \text{cm}$,即时间分辨率 $1.3\ \text{ns}$,需要 $750\ \text{MHz}$ 的等效时钟。系统采用 $30\ \text{MHz}$ 的时钟作为同步时钟,由于 FPGA 的 DCM 资源限制(一块 FPGA 8 个 DCM),验证系统采用 2 块 FPGA (16 个 DCM)构成 32 相 DLL,等效采样时钟为 $960\ \text{MHz}$ 。图 10 是用逻辑分析仪测量的 FPGA 输出,从图中可以看到,FPGA 每 $2\ \mu\text{s}$ 检测到一次信号,与脉冲发送速度相吻合。

图 11 中显示的是锁相环对信号进行锁相的结果,OE 表示第 14 路锁相环最先锁定脉冲信号,FPGA 输出 5 位数据 01110,并将数据通过网线传递给控制台进行定位计算。

本文设计了一种 IR-UWB 室内定位系统的射频收发机,标签采用睡眠唤醒降低功耗;传感器上采用了隧道二极管检波的非相关检波方式,大大降低了系统实

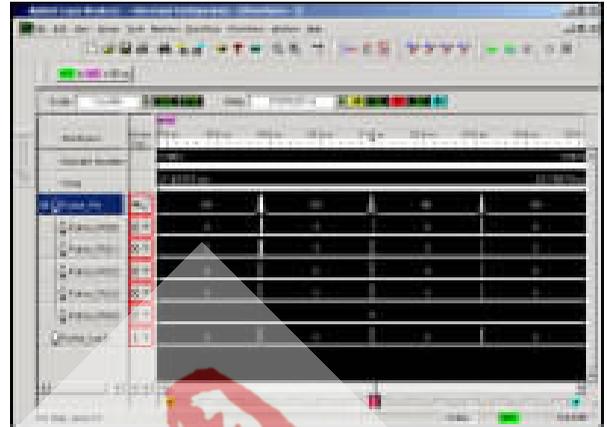


图10 FPGA输出

现的难度。经过测试证明在室内环境下,能够为实现小型化、低功耗定位系统提供原理验证样机。



图11 锁相环结果

参考文献

- [1] 王俊,黄志臻,王卫东,等.基于峰值检测的脉冲超宽带信号接收方法[J].中国科学技术大学学报,2008,38(10).
- [2] CC2510FX/CC2511FX Low-Power SoC(System-on-Chip)with MCU, Memory,2.4 GHz RF Transceiver, and USB Controller. <http://www.ti.com>.
- [3] Fu Delong, Huang Lu, Cai Li, et al. A 3-5 GHz BPSK transmitter for IR-UWB in $0.18\ \mu\text{m}$ CMOS [J]. Journal of Semiconductors,2010,31(9).

(收稿日期:2013-02-01)

作者简介:

高睿劼,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:电子系统设计。

黄鲁,男,1961年生,副教授,主要研究方向:集成电路设计。

朱警怡,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:电子系统设计。