

# 基于 CSS 技术的室内定位通信系统的研究与实现\*

张骁耀, 王 玫

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 利用 Chirp 扩频信号(CSS)抗干扰能力强、时间分辨率高的特点,研究并实现了一个高精度的室内定位通信系统。使用 nanoPAN 5375 模块、ARM 和 AVR 单片机设计硬件平台,利用 SDS-TWR 算法实现测距,并根据多标签点的情况设计了一套系统管理算法,实现了对移动终端的精确定位和移动终端间较高速率的数据通信。

**关键词:** Chirp 扩频;室内定位;数据通信

中图分类号: TN914

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)13-0049-04

## Research and implementation of a CSS-based indoor positioning communication system

Zhang Xiaoyao, Wang Mei

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** Utilizing strong anti-interference ability and high time resolution of Chirp spread spectrum signal (CSS), a high-precision indoor position communication system is designed in this paper. Based on hardware platforms of nanoPAN 5375 module, ARM and AVR microcontroller, the distance measurement can be achieved with SDS-TWR algorithm. Furthermore, a system management algorithm is proposed based on multi-label, which realizes precise positioning of mobile terminal and high-speed data communication among mobile terminals. Finally the test results reached the requirements.

**Key words:** Chirp spread spectrum; indoor positioning; data communication

无线定位技术近年来在工业和研究领域受到了极大的关注,高精度的定位服务在移动通信、智能交通和医疗等领域都具有广泛的应用前景。目前使用最广的是 GPS 定位系统,其在室外环境下具有很突出的性能,能为飞机、船舶和车辆等目标提供精确的定位信息和导航服务。但是 GPS 系统的定位信号无法穿透建筑物,不能完成对室内目标的定位<sup>[1]</sup>。针对无线定位领域,IEEE802.15.4a 定义了两种可实现高精度定位的物理层——脉冲超宽带和 Chirp 扩频 (CSS)<sup>[2-3]</sup>。Chirp 信号又称线性调频信号,最先应用在雷达领域,随着声表面波 (SAW) 器件发展,其扫频带宽不断增大,已经具有了一般超宽带信号的特点。Chirp 扩频信号具有时间分辨率高、抗多径能力强、传输速率高、功耗低和系统复杂度低等特点,非常适合用于室内目标定位<sup>[4-6]</sup>。

本文设计了基于 Chirp 扩频信号的室内定位通信系统,在利用 Chirp 扩频信号实现数据通信的基础上,使用双边双向测距算法 SDS-TWR (Symmetric Double Sided Two-Way Ranging) 测量端点间的距离<sup>[7]</sup>,计算出标签点位置信息,并针对多标签点同时定位情况下产生的冲突问题,设计了一套多标签点情况下的系统管理算法,对系统进行有效管理。

### 1 系统模型

本文是基于多移动标签点情况下的定位方案,其系统的结构如图 1 所示。系统的组成包括 4 个固定锚节点 (Anchor1、Anchor2、Anchor3 和 Anchor4)、多个移动标签点 (Tag1、Tag2 及 Tag3 等) 和定位服务器。4 个锚节点固定在定位服务区域的 4 个固定坐标点上,定位区域内的移动标签点处于对等关系,可以进行定位及相互间的数据通信。该系统使用一种改进的 TOA 测距算法——对称双边双向测距算法 (SDS-TWR),利用该算法不需要

\* 基金项目:国家自然科学基金项目(61172054);教育部留学基金项目“室内定位传感器网络研究”

# 网络与通信

Network and Communication

标签点和锚节点的时钟同步的优点,降低系统的实现难度<sup>[8]</sup>。系统工作时,当有移动标签点需要定位时,系统标签点依次向各个固定锚节点发出测距信号,固定锚节点收到测距信号后,根据 SDS-TWR 算法产生相应的应答信号,与移动标签点完成测距。移动标签点分别与 4 个固定锚节点完成测距后,将距离信息通过 USB 接口送入与其连接的定位服务器。由于各固定锚节点的坐标已知,定位服务器可以通过 LLOP 算法计算出移动标签的坐标,并进行显示。

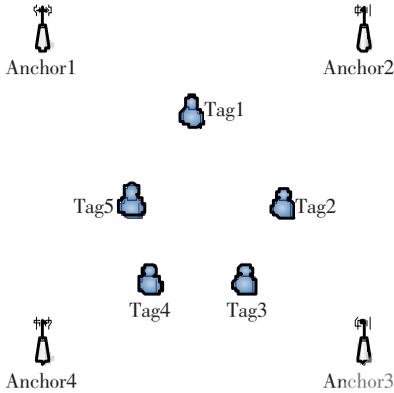


图1 定位系统结构框图

## 2 硬件设计

目前,Chirp 信号的调制与解调主要使用声表面波器件(SAW)完成,单独设计并完成一套 Chirp 信号发射机和接收机较为复杂,成本较高,并且不利于硬件的集成化。本系统选用 nanoPAN 5375 射频收发模块来完成基本的 Chirp 通信功能。nanoPAN 5375 射频收发模块由德国 nanotron 公司生产,采用 Chirp 扩频技术,扩频带宽达到 80 MHz,工作在 2.4 GHz ISM 频段,最高数据传输速率高达 2 Mb/s。此外,其内部包含高精度的实时时钟和定时器,利于 SDS-TWR 测距算法的实现。nanoPAN 5375 射频收发模内部完成了对射频信号的产生与处理,只需要通过 SPI 接口对其内部寄存器进行操作。系统的硬件结构可以分为移动标签点和锚节点两部分。

### 2.1 锚节点硬件设计

锚节点的硬件主要基于 Atmega128 8 bit 单片机和 nanoPAN 5375 射频收发模块。Atmega128 属于 AVR 系列,具有低功耗、操作简单等特点,并且自带完整的 SPI 接口控制器,可以作为主机和从设备使用,能够胜任锚节点中对 nanoPAN 5375 射频模块的控制及数据收发工作。nanoPAN 5375 射频模块的 ANT 脚通过一条阻抗为 50  $\Omega$  的微带线与 2.4 GHz 天线连接,微带线的阻抗误差会对发射信号的功率产生影响。锚节点硬件结构框图如图 2 所示。



图2 锚节点硬件结构框图

模拟信号的调制、解调和放大等处理都由 nanoPAN 5375 模块完成,并通过 2.4 GHz 天线进行收发。JTAG 接口和 RS232 接口则用于系统的调试。Atmega128 单片机通过 SPI 总线和几个控制端口对模块进行控制。Atmega128 单片机与 nanoPAN 5375 射频模块的连接如图 3 所示。SPICLK、SPIRXD、SPITXD、SPISSN 分别为 SPI 总线的时钟、数据接收、数据发送和片选端口。通过 PONRESET 引脚对模块进行复位,模块初始化前应通过该引脚对模块进行复位操作。UCIRQ 和 UCRESET 分别为单片机中断和复位引脚。

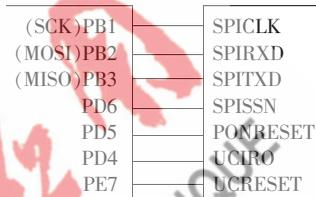


图3 单片机与 nanoPAN 5375 硬件连接

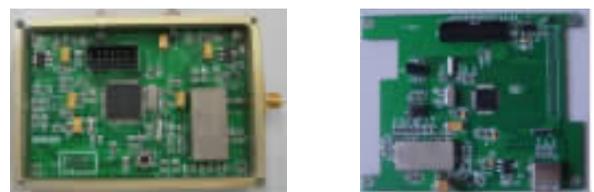
### 2.2 标签点硬件设计

锚节点的硬件也可用作标签点进行定位操作,进行单标签点定位时,只需要通过 SPI 口对 nanoPAN 5375 模块进行配置及定位算法的操作。处理器工作量小,所需要的数据传输速率较低,但在多标签点的定位及标签点间进行数据通信时,锚节点的硬件结构就有很大的局限性。Atmega128 的处理速度较慢,在运行大型程序时延时较大,RS232 接口的传输速率有限,无法满足 nanoPAN 5375 模块最高数据传输速率为 2 Mb/s 的要求。因此在标签点的设计上选用了高性能的 STM32F103 32 bit 处理器,其主频最高可达 72 MHz,自带完整的 SPI 接口控制器,并且自带 USB 接口,完全符合本系统对接口控制与数据传输速率的要求,其结构框图如图 4 所示。



图4 标签节点硬件结构框图

与锚节点相比,标签节点具有更高的性能,在 RS232 接口的基础上增加了 USB 接口,使系统具有更强的通用性,为后续开发留下了空间。对标签点和锚节点的硬件进行单独的设计可以降低在大规模部署情况下的成本。锚节点和标签点的硬件实物如图 5 所示。



(a) 锚节点硬件

(b) 标签点硬件

图5 锚节点和标签点硬件实物图

## 网络与通信 Network and Communication

### 3 系统软件设计

系统软件分为标签点/锚节点软件和定位服务器软件两部分。标签/锚节点软件完成 SPI 接口驱动、测距算法、测距结果返回和系统管理算法;定位服务器软件完成与标签点的接口驱动、数据处理计算和用户界面。

nanoPAN 5375 模块的 SPI 接口的最高数据传输速率为 16 Mb/s, 接口的时序及数据模式可以通过寄存器进行设置。Atmega128 和 STM32F103 处理器带有标准的 SPI 接口控制器,将它配置成主机模式,数据格式设置为 8 bit、大端模式,数据速率小于 16 Mb/s。向 nanoPAN 5375 模块的 0x00 地址写入 0x42,将模块的 SPI 接口设置成相同的模式。

对 nanoPAN 5375 模块的控制程序主要包括 ntrxinit.c、ntrxiqpar.c、ntrxdil.c 和 ntrxutil.c,它们的关系如图 6 所示。ntrxinit.c 和 ntrxiqpar.c 完成对模块硬件的初始化,包括寄存器、硬件接口、扩频带宽和传输速率的设定,本系统将带宽设置为 80 MHz,数据传输速率设置为最高的 2 Mb/s。ntrxdil.c 完成数据的接收与发送、定位算法和中断响应等功能的具体实现函数。ntrxutil.c 则封装了大量与模块操作相关的共用函数,方便各模块的调用。

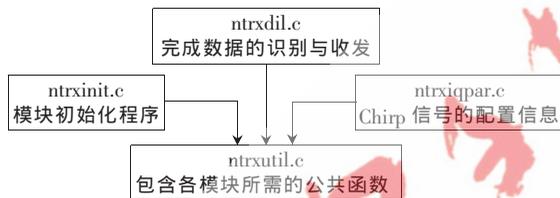


图 6 nanoPAN 5375 模块驱动模型

锚节点软件只需要完成 SPI 接口的驱动和测距算法。标签点软件在其基础上还增加了 USB 接口驱动和系统管理算法。STM32F103 自带 USB 从控制器,只能作为从设备使用。同时,ST 公司还推出了完整的、经过认证的 USB 固件库,用户可以应用固件库开发典型的 USB 固件。STM32F103 USB 的固件层次关系如图 7 所示,依次为应用层、用户接口层和 USB 库内核层。用户接口层为内核与最终应用程序提供完整的接口;USB 库内核层使用 USB 硬件和 USB 标准协议直接传输。USB 库内核层遵从 USB2.0 标准并和标准的 STM32F103 固件库分离,可以直接使用固件库中的内核层程序,只需要通过用户接口层配置所需的设备类型和相关参数,并按照需求编写应用层程序就可以实现 USB 接口通信。

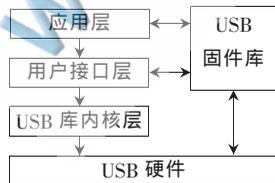


图 7 USB 的固件层次关系图

本系统使用的是对称双边双向测距算法,它相当于在被定义的时间内进行了两次 TOA 测量。TOA 测距通过测量信号在两端点间的传输时间来测量距离,因此对时间精度有着严格的要求,这意味着在两次 TOA 测量的过程中不允许发生因数据碰撞而引起的重传。这在单标签点的情况下是很容易实现的,但是在多标签点的环境

下就完全不同了。标签点必须进行统一的管理来避免碰撞的发生,且该管理算法必须保证整个系统的平等性与高效性。为了达到这一目标,设计了图 8 所示的定位管理算法。



图 8 定位管理算法

在系统内的众多标签节点中选择一个作为网络主协调控制器来控制标签节点和锚节点的时序。作为主协调控制器的标签节点周期性地发送广播包来发起空闲时隙的竞争。每一个标签在收到广播信号后发送应答数据包竞争空闲时隙。作为主协调器的标签节点接收到应答信号后,根据选举算法选出一个标签点,同时广播包含选取结果的广播数据包。各标签点收到选举结果后返回确认信号,没有被选中的标签点进入等待状态,被选中的标签点和系统内的 4 个的锚节点分别进行测距。在被选中的标签点完成测量之前,其余的标签点进入等待状态等待下一次的时隙。被选中的标签点完成测量后向作为主协调器的标签节点发送定位完成信号并进入等待模式,主协调器标签点收到定位完成信号后,重新发起竞争。为了避免某个标签点被重复选取而造成的不平等,需要对标签点进行优先级管理。在编程中运用队列原理,一个标签点完成定位后将其放入队尾,使其竞争优先级排到最低,从而避免重复分配造成的不平等。重复这些步骤直到所有的标签点完成测量。

定位服务器在系统中主要完成与标签点的接口驱动、数据处理计算和用户界面,通过 USB 接口接收标签点的距离数据,使用 LLOP 算法计算出移动标签的坐标,并通过显示界面显示出标签点的相对位置信息。由于标签节点使用 USB 接口,具有很强的通用性,因此定

位服务器可以为 PC 或其他的嵌入式系统。

#### 4 定位结果分析

该系统的最大定位距离可以达到 800 m, 为了检验该系统的定位性能, 分别将该系统在室内和室外两种环境下进行定位实验, 定位结果如下。

##### 4.1 室外环境定位

室外实验选用一个宽阔的球场, 定位区域内无障碍物, 4 个锚节点放置在一个 60 m×60 m 的正方形区域的 4 个端点。将标签点放置在正方形区域内的多个已知坐标点上, 部分定位结果如图 9 所示。

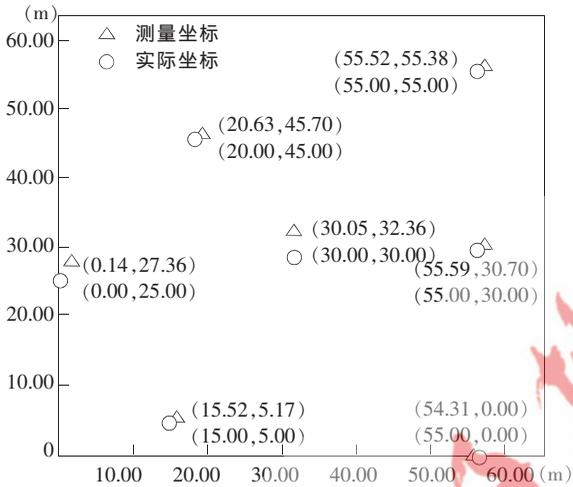


图 9 室外定位结果

从图 9 可以看出, 在空旷的室外环境下, 测量坐标点均分布在真实的坐标点附近, 定位误差大多可以控制在 1 m 以内, 相对于测量区域的大小, 系统的定位精度较高, 实用性较好。

##### 4.2 室内环境定位

室内实验选用在一间实验室内, 室内有桌椅、电脑等物品, 为了尽量减少多径干扰, 在远离墙面的中间区域选择一个 5 m×5 m 的方形区域。将标签点放置在正方形区域内的多个已知坐标点上, 部分定位结果如图 10 所示。

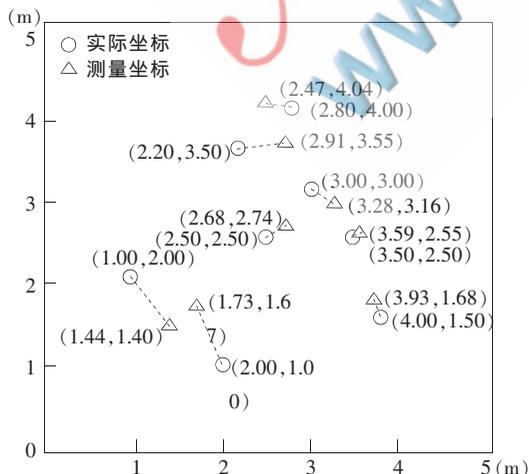


图 10 室内定位结果

从图 10 可以看出, 室内环境下的测量坐标和实际坐标有一定的误差, 误差的大小也相差较大。在小于 2 m 的区域误差很大, 这是由于在短距离条件下信号传播时间较短, 干扰、时钟误差和定时器误差对测量结果的影响较大。大于 2 m 后的误差明显减小, 有两个点的误差在 20 cm 以内, 因此在中远距离情况下, 该系统在室内环境下也具有较高的定位精度。

通过比较两种环境下的定位结果可以看出, 在同为视距环境下, 在室内定位精度与稳定性不如室外定位, 这是因为室内环境受多径效应干扰更为严重。同时可以看到, 定位距离在 3 m 以上的中远距离定位的相对精度较高, 这恰恰是实际室内定位应用中最常用的, 因此, 该系统具有较高的实用价值。

本文利用 Chirp 扩频信号抗干扰、抗多径能力强的特点, 利用 SDS-TWR 测距算法, 设计并实现了一个室内定位通信系统, 并设计了一套系统管理算法实现了对系统的管理, 该系统在室外和室内都可以获得较高的定位精度。该系统结构简单, 具有很强的通用性, 可以作为单独的定位通信系统或者作为一个功能部件嵌入到其他系统中, 具有较广的应用前景。

##### 参考文献

- [1] 廖丁毅, 王政, 郑霖, 等. 基于脉冲锁相环的超宽带定位接收机设计[J]. 桂林电子科技大学学报, 2010, 2(1): 17-20.
- [2] KIM J E, KANG J, KIM D, et al. IEEE 802.15.4a CSS-based localization system for wireless sensor networks [C]. IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sevor Systems, 2007: 1-3.
- [3] LEE C, KIN J Y. The positioning system based on IEEE 802.15.4a PHY and MAC protocol for low rate WPAN [C]. International Conference on Control, Automation and Systems, 2008: 1462-1465.
- [4] WINKLER M. Chirp signals for communications [C]. Wescon Convention Record, 1962.
- [5] PINKNEY J. Low complexity indoor wireless data links using Chirp spread spectrum [D]. Calgary: Doctor Dissertation of the University of Calgary, 2003.
- [6] BUSH H, MARTIN A R, COBB R F, et al. Application of Chirp SWD for spread spectrum communications [C]. Proceedings of the 1973 IEEE Ultrasonics Symposium, Monterey, IEEE Press, 1973: 494-497.
- [7] KWAK M, CHONG J. A new double two-way ranging algorithm for ranging system [C]. IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, 2010: 470-473.
- [8] 刘林. 无线定位基本概念与原理[J]. 学术动态, 2007(4): 11-17.

(收稿日期: 2012-02-09)

##### 作者简介:

张骁耀, 男, 1986 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线定位、通信技术。

王玫, 女, 1963 年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 扩频通信、混沌通信和超宽带通信。