

文章编号: 2095-2163(2020)11-0088-04

中图分类号: TP23

文献标志码: A

基于 STM32 超宽带定位的设计

崔兆文, 王 武

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 本文基于 STM32F407 超宽带定位技术进行定位系统的研究。给出系统的设计方案, 利用通信时间来确定两个模块之间的距离, 设计了相应的定位算法, 描述了硬件以及软件的设计方案和设计系统实现的结果。实验结果表明, 本文设计的定位系统达到了室内定位的基本需求。

关键词: STM32F407; 测距; 定位; UWB 模块

Design based on STM32 ultra-wideband positioning

CUI Zhaowen, WANG Wu

(School of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[Abstract] Based on stm32f407 ultra wideband positioning technology, this paper studies the positioning system. The design scheme of the system is given. The distance between the two modules is determined by using the communication time. The corresponding positioning algorithm is designed. The design scheme of hardware and software and the result of system implementation are described. The experimental results show that the positioning system designed in this paper meets the basic requirements of indoor positioning.

[Key words] STM32F407; ranging; positioning; UWB module

0 引言

近几年, 智能家居系统以及机器人不断进入人们的日常生活, 对室内的精确定位要求越来越高, 而常规民用的 GPS 定位系统, 定位精度不高, 不能满足人们对精度的需求。超声波定位、蓝牙定位、激光定位以及 WiFi 定位技术, 虽然在一定程度上能够满足定位的需求, 但是定位精度并不理想, 一般定位级别在米的量级。超管带定位技术 UWB (Ultra Wideband), 可以达到厘米级别, 在一定程度上解决了定位精度的问题, 同时可以通过算法的改进提高精确度^[1]。

二十世纪六十年代, 人们首次开发出 UWB。后来, 该技术经过调整, 用作正交频分复用 (OFDM) 技术。用于定位和测距的 UWB 脉冲, 在 6.5~8 GHz 的频率范围内工作, 不会干扰频谱其他频段发生的无线传输。UWB 可以方便地对监控场所进行部署, 并将定位网络协同在一个实时、高精度的状态下获取定位的性能, 能将场景实时动态地虚拟出来。UWB 设计的系统稳定可靠, 定位功能完整, 实时性能好, 管理功能健全, 系统安装方便, 集成方式简单, 使用简单, 易于二次开发等扩展特点。目前在智慧工厂、司法监狱、隧道管廊、智慧电厂、智慧工地等方

面应用。

本文将 UWB 模块用于室内定位, 同时对算法进行优化, 使得定位系统能够在家庭中有较好的应用。

1 系统总体设计方案

本系统以 STM32F407 单片机为核心, 控制电路由语音控制模块、UWB 模块、液晶显示等模块组成。STM32F407 最大工作频率 168MHZ, 满足系统设计的需求。系统采用平面定位设计, 需要 3 个基站和一个标签, 通过标签与基站之间的距离, 计算相对坐标。系统总体框架如图 1 所示。

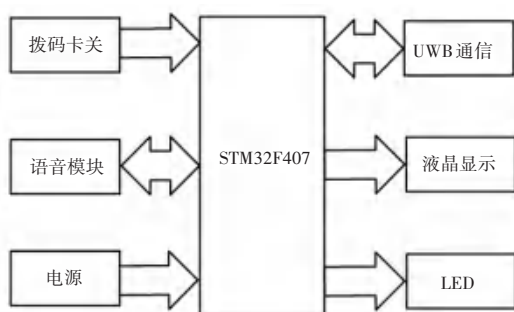


图 1 系统整体框架设计图

Fig. 1 The overall framework design of the system

通过拨码开关控制 UWB 模块的状态(标签/基

作者简介: 崔兆文(1996-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 嵌入式系统; 王 武(1971-)男, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 嵌入式系统。

通讯作者: 王 武 Email: 1141720187@qq.com

收稿日期: 2020-09-04

站),如果是基站,通过拨码开关可以设计基站的地址,系统设计时最多允许 8 个基站的存在。通过拨码开关还可对 UWB 的通信频率等参数进行设置,使其满足 UWB 通信的需求。

语音识别模块使用 LD3320 芯片,只需把待识别的关键词语以字符串的形式传送进芯片,即可通过音响进行播报。例如,通过一级指令“定位系统”,二级指令“播报位置”,就可以通过音响知道标签所在位置。

系统使用液晶屏 OLED 对标签到基站的距离,以及标签的坐标进行显示,方便相关数据的观测。使用充电宝作为电源模块,LED 小灯显示 UWB 模块的工作状态(相当于对拨码开关的状态进行显示)。

程序设计流程如图 2 所示。首先对单片机的引脚功能进行初始化操作,使得各个模块能够正常运行。通过拨码开关对 UWB 模块的功能进行设置,使得 UWB 模块处于不同的状态,并利用 LED 显示拨码开关的状态。液晶屏需要对距离与定位值进行实时显示。语音模块判断的实质,是判断是否有一级指令“定位系统”,若没有接收到一级指令,语音相关程序将继续循环进行判断,直到有一级指令收到后,才会进行后面语音的判断,执行相关程序。

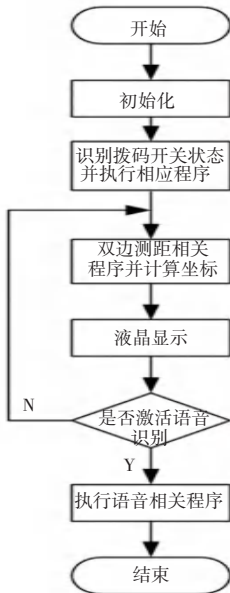


图 2 程序设计流程图

Fig. 2 Program design flow chart

2 数学模型

本系统利用基站与标签的距离,完成室内定位的任务。基站与标签的距离通过电磁波在空气中传播的时间确定。为了减少同步通信的额外环节,采

用异步通信的方式完成通信内容。本文选用双边测距算法,作为基站与标签数据传输时间的基本算法。同时利用三边定位算法实现坐标的计算。

2.1 双边测距基本原理

UWB 模块之间的通信方式如图 3 所示。

其中, T 表示两个 UWB 模块传输数据的时间; R_1 表示 UWBA 发送数据到其接收数据的时间; D_1 表示 UWBA 接收数据到其发送数据的时间; R_2 表示 UWBB 发送数据到其接收数据的时间; D_2 表示 UWBB 接收数据到其发送数据的时间,按照时序图,单次发送或接收数据的时间如式(1)和式(2)所示:

$$T = \frac{1}{2}(R_1 - D_2), \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{2}(R_2 - D_1). \quad (2)$$

将式(1)和式(2)分别移相,得到 D_1 和 D_2 的表达式:

$$D_1 = 2T + R_1, \quad (3)$$

$$D_2 = 2T + R_2. \quad (4)$$

将式(3)、式(4)中计算结果 D_1 与 D_2 相乘可得式(5):

$$D_1 * D_2 = (2T + R_1) * (2T + R_2) = 4T^2 + 2T(R_1 + R_2) + R_1 * R_2. \quad (5)$$

将式(5)变形可得式(6),同时将式(3)、式(4)带入:

$$D_1 * D_2 - R_1 * R_2 = 4T^2 + 2T(R_1 + R_2) = T(4T + 2R_1 + 2R_2) = T(D_1 + D_2 + R_1 + R_2). \quad (6)$$

将式(6)整理可得两个 UWB 模块传输一次数据所需时间:

$$T = \frac{D_1 * D_2 - R_1 * R_2}{D_1 + D_2 + R_1 + R_2}. \quad (7)$$

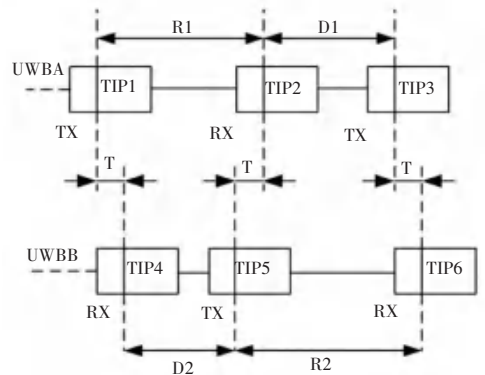


图 3 双边测距算法时序图

Fig. 3 Sequence diagram of bilateral ranging algorithm

2.2 双边测距算法误差分析

由于单片机的固有属性,执行完某条指令才会进入下一条指令。利用单片机中的定时器就会出现系统时钟误差,而这种系统带来的误差是不可控,只有尽可能的减少系统误差带来的影响。其误差计算公式如式(8)所示。

$$error = T * \left(1 - \frac{k_a + k_b}{2}\right). \quad (8)$$

其中, k_a 表示 RX 通道的实际传输速率与理论传输速率的比值; k_b 表示 TX 通道的实际传输速率与理论传输速率的比值; k_a 、 k_b 值一般在 1 附近浮动。

实际传输速率受硬件电路以及软件设计的影响。假如以数据发送的前一时刻相对时间,作为发送数据的第一个时间戳 $T1$ 。则首先发送数据单片

机内部装载,将发送数据以 UWB 的方式进行传输等操作,都会影响实际传输与理论传输的比值。由于数据传输是以光速传播的,所以细微的差别反映到距离上面就会很大^[2]。

2.3 UWB 通信

UWB 通信采用单脉冲通信,不需要调制和解调电路,在一定程度上,减少了损耗时间和功率,使距离的计算更加准确。

目前,有两种方式来实现 UWB 通信。一是标签和 3 个基站,按照上述方式分别进行通信。这样做的优势是,独立通信互不影响,而缺点是耗时时间长,功率消耗大。其二是标签只发送一次开始和截止信号,利用 3 个基站的不同回复完成通信的需求。具体通信流程如图 4 所示。

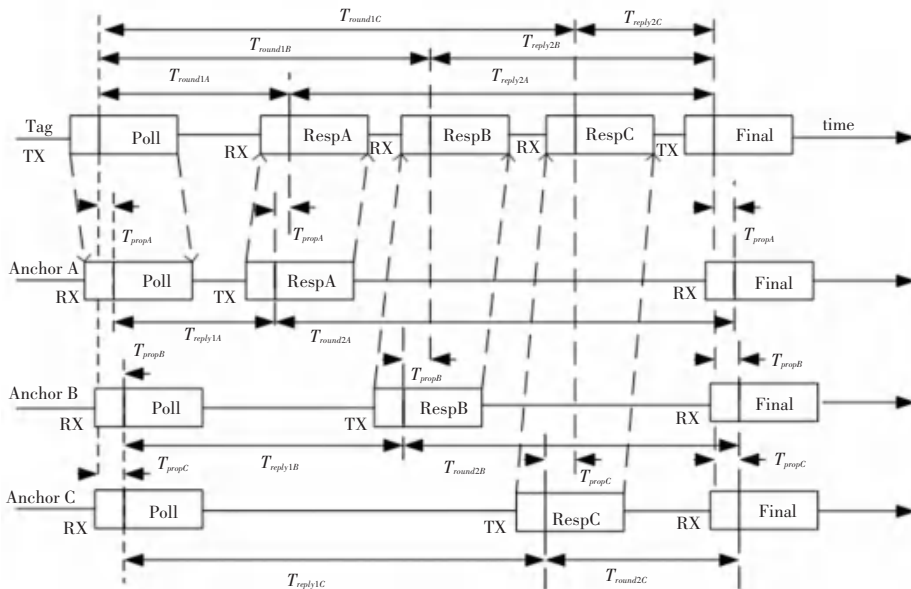


图 4 UWB 通信示意图

Fig. 4 Schematic diagram of UWB communication

结合上述的特点,本文采用第二种通讯方式,基站仅发送 Poll 和 Final 数据,其余均为接受数据,可以大大减少通信时间,减少功耗。具体流程如下:

(1) 标签向各个基站发送 Poll, 等待标签的回复。

假设 A 标签收到了消息, 标签 A 回复 RespA, 而后等待基站收到标签 A 的回复;

B 标签收到消息, 回复 RespB 后等到基站收到标签 B 的回复; C 标签收到消息, 回复 RespC 后等到基站收到标签 C 的回复;……

(2) 标签收到 A、B、C 基站的消息后, 发送 Final 给各个基站。基站收到信息后, 每个部分可按照下

式进行求解。

$$T_{propA} = \frac{T_{round1A} \times T_{round2A} - T_{reply1A} \times T_{reply1A}}{T_{round1A} + T_{round2A} + T_{reply1A} + T_{reply1A}},$$

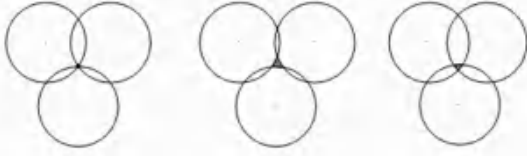
$$T_{propB} = \frac{T_{round1B} \times T_{round2B} - T_{reply1B} \times T_{reply1B}}{T_{round1B} + T_{round2B} + T_{reply1B} + T_{reply1B}},$$

$$T_{propC} = \frac{T_{round1C} \times T_{round2C} - T_{reply1C} \times T_{reply1C}}{T_{round1C} + T_{round2C} + T_{reply1C} + T_{reply1C}}.$$

利用电磁波在空气中传播距离公式 $S = cT$, 即可得到基站与标签之间的距离。其中, S 表示距离; c 表示电磁波传输的速度; T 表示数据传输的时间。

2.4 三边定位基本原理

按照上述计算方式可得到标签与三点坐标的距离。三角定位系统示意如图 5 所示。在理想状态下可以得到图 5(a) 的形式。但是实际过程中还是会有偏差, 一般会出现图 5(b)、图 5(c) 的形式。



(a) 测量=实际 (b) 测量<实际 (c) 测量>实际
(a) measure=actual (b) measure<actual (c) measure>actual

图 5 三角定位系统示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the triangulation system

途中阴影部分即为计算位置的有效范围, 本文采用牛顿迭代确定最优位置^[3]。设 3 个基站的坐标分别为: $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2), C(x_3, y_3)$; 标签坐标 $T(x, y)$; d_1, d_2, d_3 表示标签与基站 A、B、C 的距离。利用基站的坐标可以得到公式(9)^[4]:

$$\begin{aligned} f_1 &= \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} - d_1, \\ f_2 &= \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2} - d_2, \\ f_3 &= \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2} - d_3, \\ obj &= 0.5 * (f_1 + f_2 + f_3). \end{aligned} \quad (9)$$

可以利用牛顿迭代法确定 obj 的最小值。当 obj 最小时, 得到的 (x, y) 即为最优坐标。其中初始 $T(x, y)$ 是随机取值的。基本迭代原理如下:

- (1) 求目标函数对 x, y 的一阶偏导数;
- (2) 求目标函数对 x, y 的二阶偏导数;
- (3) 带入牛顿迭代公式;
- (4) 若本次 obj 和上次 obj 相减的绝对值小于设定偏差值, 则本次 obj 就是所求的坐标值。

3 实验结果

本文通过 UWB 模块之间通信来获取标签与基站的距离, 利用牛顿迭代法来实现最优点的求解。基站 A1 的坐标为 $(0, 0)$, 基站 A2 的坐标为 $(3, 0)$, 基站 A3 的坐标为 $(0, 3)$ 。最终试验数据见表 1。

表 1 实验数据结果对比

Tab. 1 Comparison of experimental data results

	T-A1/m		T-A2/m		T-A3/m		坐标/m	
	实际	系统	实际	系统	实际	系统	实际	系统
1	1.87	1.95	3.08	2.98	1.30	1.32	(0.5, 1.8)	(0.65, 1.84)
2	2.34	2.38	3.11	3.12	1.13	1.19	(0.8, 2.2)	(0.82, 2.21)
3	2.42	2.40	2.77	2.81	1.50	1.55	(1.2, 2.1)	(1.14, 2.06)
4	2.12	2.15	2.12	2.20	2.12	2.22	(1.5, 1.5)	(1.46, 1.45)
5	3.54	3.48	2.55	2.64	2.55	2.67	(2.5, 2.5)	(2.35, 2.33)

注: T-A1 表示标签到基站 A1 的距离; T-A2 表示标签到基站 A2 的距离; T-A3 表示标签到基站 A3 的距离。

由表中的数据可以看出, 最终坐标计算结果与测量距离的准确度有很大的关系。整体来看在基站围成的内部准确度较好, 外围准确度较差; 距离基站远的地方较好, 距离某一基站近的地方较差。

4 结束语

本文利用 UWB 模块进行定位系统的设计。实验最终数据表明, 基本实现了对标签的精准定位。本系统可以应用在居家生活需要定位的系统中, 可以和小车等设备结合, 节省人们的体力。由实验数据结果也可以看出, 距离计算的算法还有待提高。若要使数据更加准确, 可以采用同步通信的方式, 减少异步通信带来的时间偏差。如在时间上要求更高, 可以采取专用硬件计时的方式, 或者采用时钟频

率更高的芯片, 减少数据传输时间的误差。也可以改进算法, 通过预设值和数据处理的方式, 减少时间偏差。

参考文献

- [1] 曹子腾, 郭阳, 赵正旭, 等. 室内定位技术研究综述[J]. 计算机技术与发展, 2020, 30(6): 202-206.
- [2] 周文婷, 朱岩. 基于 TDOA 的无线定位系统的应用与分析[J]. 计算机与现代化, 2012(1): 126-128.
- [3] 李威, 叶焱, 谢晋雄, 等. UWB 高精度室内定位系统及实现[J]. 数据通信, 2018(5): 13-18.
- [4] 曹世华. 室内定位技术和系统的研究进展[J]. 计算机系统应用, 2013(9): 1-5.
- [5] 朱颖. 基于 UWB 的室内定位系统设计与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2019.