
1 绪论

1.1 研究背景及意义

从人类第一次步入信息时代到今天，人们一直致力于将信息和生活加速融合，追求将高效的信息传递应用各类生产生活场景中。而今年被称为“5G 元年”，全新的技术正在逐渐应用，人类生活和工作的方式都将改变，现实社会和计算机世界的联系愈发紧密。在这样的大背景下，一种全新的 UWB 技术的出现并且与无线传感器网络的结合正在改变着人类社会，包括人们工作和生活方式。随着信息技术的进一步发展，各种嵌入式智能设备将更多更紧密的与人类的生产生活相结合，人类社会对目标的定位需求将日益增高，尤其是在嵌入式智能家居以及各类智能设备普及之后，在环境复杂的室内环境下，常常需要对物品位置的定位，而嵌入式系统在室内的应用也有一定的定位需求，所以急需一种能够适应室内复杂环境的，通信能力强，成本低，功耗低，精度高的定位系统。相比于其他的室内定位系统，基于 UWB 的小型室内定位系统具有抗干扰能力强，低成本，低功耗，高安全性等特点，更加能够满足人们愈加增长的室内定位需求，非常适合在小型家用场景下的室内定位系统的构建。

智能设备的普及已经成为了一种趋势，而不同公司，不同功能的智能设备往往难以整合，可以预见的是在未来的一段时间内各类智能化的小型设备或者终端的数量会大大增加，而如何对这些设备进行管理并寻找将成为困扰人们，尤其是中老年人的问题，这样的问题在办公场所，酒店等地点一样存在，在环境复杂的室内如何低成本，低功耗并且准确的进行定位已经成为了一个重要的课题，为了解决这样的问题，我们提出了小型家用超宽带室内定位系统的设计。

1.2 UWB 技术的现状

在 2002 年以前，UWB 因为其优越的特性，是一种在军事领域被广泛应用的技术。2002 年，美国联邦通信委员会对带宽进行了严格的限制才逐步进入民用领域。2007 年，IEEE 在 802.15.4a 标准中对 UWB 技术进行了标准化。经过近十年的发展，UWB 的标准也在不断完善。此后，UWB 国际标准制定，各种各样基于 uwb 的应用开始在民用领域普及。

Decawave 是世界知名的 UWB 芯片厂商。该公司生产了大量低成本的超宽带定位芯片，芯片型号就是我们所使用的 DW1000，这种芯片成本低，功能强大，支持国际标准的超宽带定位协议，在理想条件下测量范围可达 10cm-300m。

1.3 室内定位技术的比较

1.3.1 其他室内定位技术优势

近些年，各方都在不断探索各个室内定位方案。为了实现室内定位的目标，开发了多种室内定位技术。我们熟知的有红外线、超声波、无线局域网、蓝牙、射频等。无线局域网定位依托于无线局域

网设备，分布广泛，设备建设成本低，广泛应用于各个商场，景点等区域。蓝牙室内定位依托于分布于室内的蓝牙局域网接收点，组网后可以进行低功耗短距离的室内定位。RFID 定位技术利用射频方式进行非接触式双向通信交换数据，实现移动设备识别和定位的目的。它可以在几毫秒内得到厘米级定位精度的信息，且传输范围大、成本较低。

1.3.2 超宽带室内定位技术优势

无线定位技术的方法有很多，其中常用的有红外、超声波、无线局域网、蓝牙、射频等。但都各有利弊。其中，红外线的局限性非常大，较多应用或者说只适合短距离的视线传播，而且非常容易受到外界光源的干扰。由于红外线定位的两个缺陷迟迟不能得到解决，所以该技术并不是适合室内定位的技术；超声波也存在非常大的自身缺陷。受多径效应和非视线传播影响较大，室内环境下不好发挥定位功能；WIFI 技术的精度相对较高，开发出经验检验和信号传播模型后的 wifi 定位拥有非常高的定位精度，基站分布广泛构建成本低。但由于无线信号受环境影响大，在室内环境中楼层的影响大，而且定位消耗的能耗高，不利于长时间使用，大部分 WIFI 定位只能将定位精度降低到 1m。蓝牙室内定位技术，体积小、方便集成，很多人的身边都有蓝牙设备，但是价格相对较高、容易被噪声干扰、同时，蓝牙定位系统的稳定性比较堪忧。

综上所述，为了实现在不同环境下都较为稳定的室内定位效果，无线定位系统需要具备强大的抗干扰能力，优秀的定位精度，低廉的运营和生产成本，较低的发射功率和长时间低功耗，体积小以及信息安全性好

而超宽带系统传输数据使用间歇脉冲，电磁辐射低发射功率低，系统功耗小，射频前端和信号处理模块都比较容易实现全数字化，传输速率高，安全性高，多径分辨能力强，精度高，正好满足以上条件。

2. 系统分析

众所周知，室内定位一直是国内外的难题，不同于依靠卫星的室外定位系统。室内环境有其特有的特殊性和复杂性。因为建筑物的遮挡，卫星信号难以在室内进行精确的定位。而室内的各种设备，外形复杂的物体以及各种材料都会对信号产生大的干扰。但是在现代化的社会中，室内定位系统有非常大的需求和应用前景，大型工厂，医院，大型商场，景区的导航.....有许多行业都对室内定位有巨大的需求，随着科技和社会发张，室内定位不仅仅会拥有更大的市场，而且可能会形成新种类的基础设施。

2.1 系统需求分析

2.1.1 抗干扰需求

室内环境存在着诸多对室内定位的不利因素，而且这些不利因素短时间内也无法改善。这就要求室内定位在硬件和算法上增加抗干扰能力。室内的不利条件有：1. 墙壁等阻隔较多，一般信号穿透混凝土能力差。2. 电子元件较多，产生的电子干扰较大。应对这些因素，为了保证室内定位的精确性，必须要选用穿透力和抗干扰能力较好的定位方案。超宽带作为一种新技术，在发射时无线电脉冲信号微弱，分散在宽阔的频带中，输出功率甚至低于普通设备产生的噪声。这样抗干扰能力强，大大增强了穿透能力，适合室内复杂环境的室内定位使用。

在算法上，因为室内环境存在大量的不同的介质，信号受到的折射，反射散射等情况复杂，同时室内也存在着大量的信号干扰，这导致接收信号的时间，信号的强度，信号的完整性都会受到影响。为了能够进行精确的室内定位，必须要对算法进行优化，考虑到信号的干扰并且尽量消除干扰。

2.1.2 楼层（高度）定位需求

大楼大厦或者高度较高的室内环境中，需要确定被定位物体的高度。传统的室外定位系统对物体的高度不敏感。而室内各个楼层中有地板的阻隔，确定定位高度非常重要。所以必须采取四个基站以上的立体定位，才能在楼层中获得高度信息。而在具体的某一个楼层中，因为物件数量多，也需要精确的位置定位。只有获得了包含高度的位置信息信息，才能在室内环境下良好完成定位任务。

2.1.3 体积需求

在我们的家庭中，有许多细小的小物件，这些小物件往往十分重要但是却因为体积太小而容易丢失。如果能够将这些小物件进行定位，就能方便的寻找到，节省大量时间而室内的环境相对狭小，不便采用体积较大的设备。而需要室内定位的物体一般体型较小，例如：钥匙扣，银行卡等。如果室内定位设备的体积过大，反而大大超过所需要定位物体大小，室内定位系统的实用性就会下降。所以使用尽可能小体积的设备是本系统的刚性需求。

2.1.4 精度需求

室内定位需要较高的定位精度，这是由室内定位特殊的应用场景决定的。相比于室外定位的应用场景，室内环境的面积小的多，如果不能有足够的定位精度，即使进行了定位，仍然无法找到被定位物体，室内定位就无从谈起。在大型商场，医院或者大型工厂这样的环境中，定位精度应当精确到一米至 50 厘米，在普通家居环境中，应该至少精确到 50 厘米。

2.1.5 实时性需求

定位不仅是确定一个物体的位置信息，更多的是需要确定一个物体在不同时刻的位置信息，这就对系统的实时性提出了需求。如果系统的实时性不够，如果物体产生了位置移动，而系统定位显示的仍是上一个时刻的物体位置，这个系统的定位就失去了准确性。有些室内定位还有报警需求，而良好的实时性是及时响应的前提条件。

2.16 长时间待机需求

传统的室外定位都需要长时间持续定位，在无法持续获得供电的情况下，基本都采取了低功耗设备保证能够长时间提供定位服务。室内定位相比于室外定位而言，单个场景内的用电设备更多，补充电能更加不便。加上体积更小，低功耗需求十分迫切。在实际应用场景中，每个标签保持至少一周的待机时间是必要的。

2.17 安全性需求

室内定位之所以区别于室外定位，其中很关键的一个点就是更加注重信息传输的私密性。从使用环境上看，室内定位的使用范围小，使用环境多在室内，信号集中，信息被截取的概率高，截获成本低。从被定位物品上看，家用室内定位涉及到钥匙手机等私密或者重要物品，在商场工厂等环境中，定位信息很可能涉及一些商业机密，所以室内定位系统需要严密的安全性。

2.2 室内定位原理分析

2.2.1 UWB 定位概述

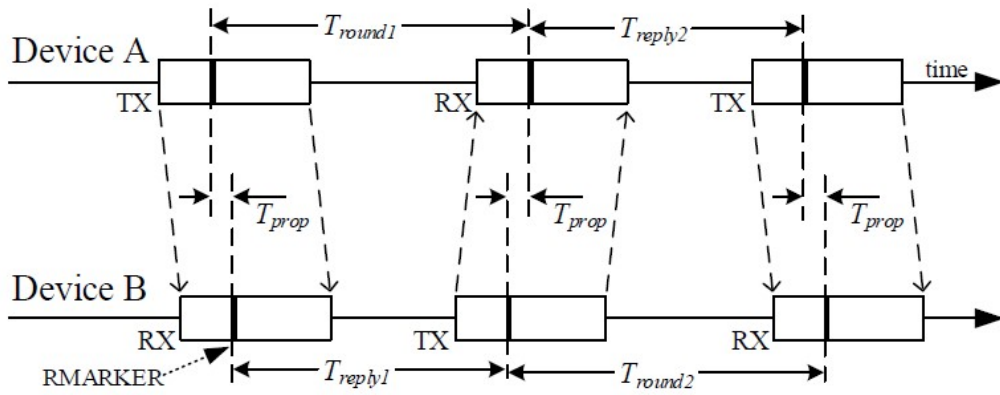
UWB(Ultra Wideband)无线通信是一种不用载波，而采用时间间隔极短(小于 1ns)的脉冲进行通信的方式

超宽带是一种新型的无载波通信技术，它能够利用纳秒到皮秒的非正弦窄脉冲作为媒介来传输数据。超宽带能够在宽频谱上传输极低功率信号，由此可以在大约 10 米内实现从数百兆比特/秒到数千兆比特/秒的数据传输速率。抗干扰性能强，传输速率高，系统容量大，传输功率很小。最基本的工作原理是以严格控制的脉冲间隔发送和接收高斯单周期超短时间脉冲，这决定了信号的宽带宽。接收机利用第一级前端交叉相关器直接将脉冲序列转换成基带信号，省去了传统通信设备中的中频级，大大降低了设备的复杂度。这样一来，超宽带设备的发射和传输功率就会被降低，以至于通信设备可以实现的通信发射功率小于 1mw，也大大延长了整个系统的运行时间。

2.2.2 室内定位原理

2.2.2.1 测距原理

下面介绍本系统的基本的基于两个基站的测距原理，本系统的设计改进了基本测距原理，新的测距方法能更加适应多标签的情况从而提高测距的稳定性，首先，先对基本测距原理(ds)做出说明。



DS 测距是在 SS 测距的基础上再增加一次通讯，两次通讯的时间可以互相弥补因为时钟偏移引入的误差。

$$\hat{T}_{prop} = \frac{(T_{round1} \times T_{round2} - T_{reply1} \times T_{reply2})}{(T_{round1} + T_{round2} + T_{reply1} + T_{reply2})}$$

使用 DS 测距方式时钟引入的误差为：

$$error = \hat{T}_{prop} \times \left(1 - \frac{k_a + k_b}{2}\right)$$

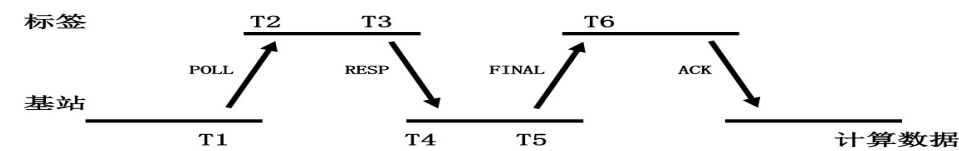
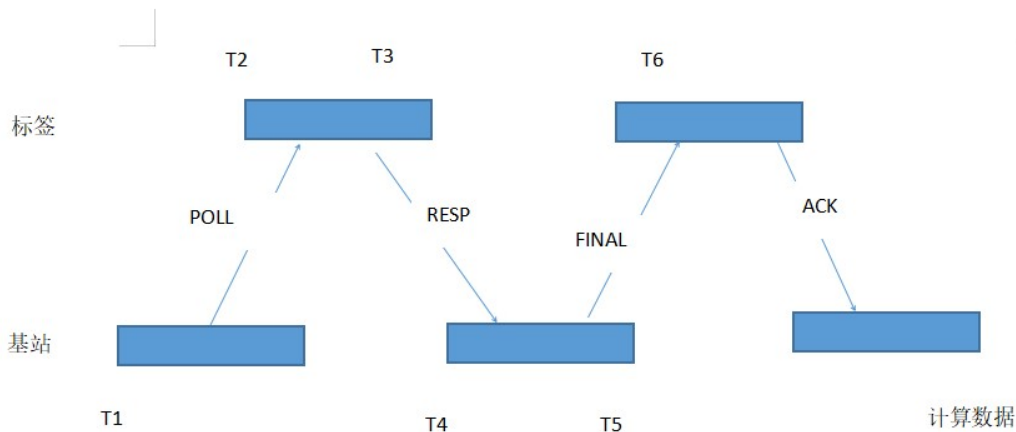
假设设备 A 和设备 B 的时钟精度是 20ppm (1ppm 为百万分之一，这个精度不能满足需要)，那么 k_a 和 k_b 的对应值分别是 0.99998 和 1.00002，在这个式子中 k_a 和 k_b 分别是设备 A、B 时钟的实际频率和预期频率的比

值。设备 A、B 相距 100m，电磁波的飞行时间是 333ns。则因为时钟引入的误差为 $20 \times 333 \times 10^{-9}$ 秒，导致测距误差为 2.2mm，这个误差可以忽略不计。因此双边测距是最常采用的测距方式。

基于基本测距原理的改进

上述描述的 DS-TWR 测距方式是 A 设备主动访问，并且由 B 设备计算出距离。其中 T_5 时间是又 T_4 +延时估算得出。若原封不动采用这 DS-TWR 种算法对二维系统开发有一定的局限性，例如局限在定位系统只有一个标签情况。

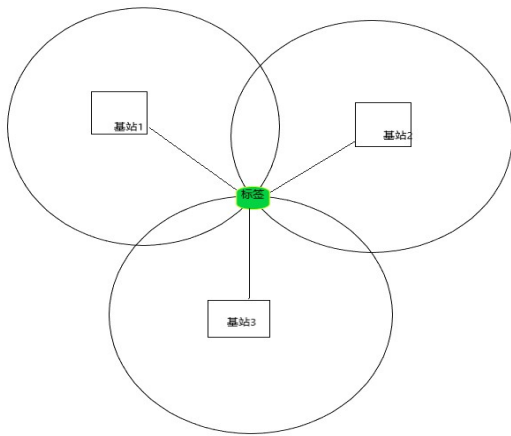
由此可知在定位系统中，要支持多标签，需要通过基站扫描标签的方式进行，所以我们设 基站是为主动端，标签为被动端。并真实读取 T_5 时间提高精度。需要牺牲一些时间，提高稳定性。



时间戳	说明
T1	POLL 数据包 发出 基站-时间戳
T2	POLL 数据包 接收 标签-时间戳
T3	RESP 数据包 发出 标签-时间戳
T4	RESP 数据包 接收 基站-时间戳
T5	FINA 数据包 发出 基站-时间戳
T6	FINA 数据包 接收 标签-时间戳

t

2.2.2.2 TOA 算法及其定位模型



TOA 定位算法的几何模型有两种通用的方法来进行定位。它们是基于到达时间差 (TDOA) 的定位和基于飞行时间 (TOF) 的定位，每种方法的主要操作要点概述如下。在这两种情况下

在这两种情况下，结合来自多个锚点的测量结果的位置计算，通常由一个称为定位引擎的软件功能完成。

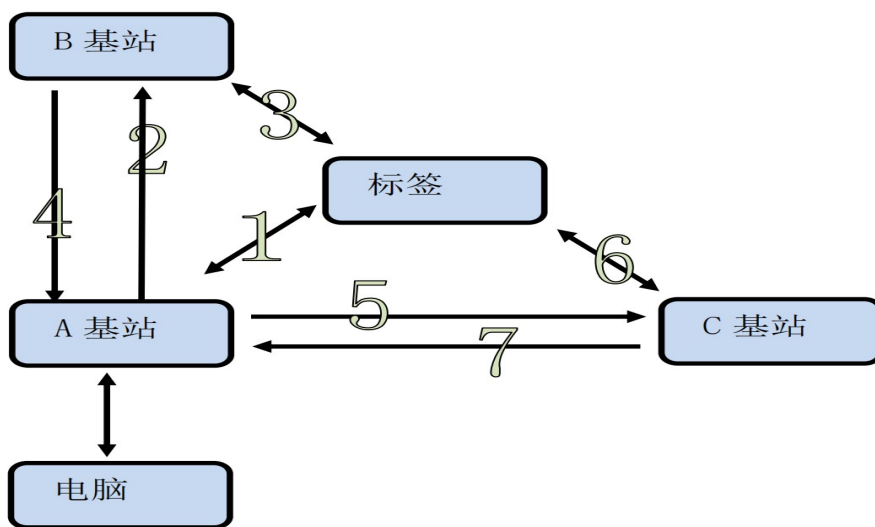
称为定位引擎。飞行时间定位需要从移动节点 (标签) 到其附近的每个锚点进行双向通信。节点进行双向通信。定期的信息交换被用来测量往返延迟，从而 计算标签和锚节点之间的单程飞行时间。TOF

时间乘以光速和无线电波)给出了标签和锚点之间的距离。每个距离估计值都定义了一个球面,以锚点为中心,标签必须位于这个球面上。标签的三维位置是由对四个锚的 TOF 测量得到的球面的交点产生的。

在到达时间差(TDOA)定位中,移动标签周期性地眨眼,眨眼信息被锚节点接收。被其附近的锚节点所接收。

当锚节点有同步的时钟,从而使眨眼信息到达所有节点的时间可以进行比较,那么对于每一对锚节点来说,眨眼信息到达的时间差就定义了一个双曲面,发送标签必须位于这个双曲面上。标签的三维位置是由四对锚的 TDOA 所定义的双曲面的交点得出的。

2.2.2.3 三基站一标签通讯图解



行为	主动端	被动端	说明
1	A 基站	标签	A 基站与标签测距
2	A 基站	B 基站	A 基站给 B 基站下达测距命令
3	B 基站	标签	B 基站与标签测距
4	B 基站	A 基站	B 基站将测距信息返回给 A 基站
5	A 基站	C 基站	A 基站给 C 基站下达测距命令
6	C 基站	标签	C 基站与标签测距
7	C 基站	A 基站	C 基站将测距信息返回给 A 基站

本系统以主动扫描标签方式构建,所有行为集中在主基站(A 基站)上发送命令并处理,并且由非常大的可操控性,所有的执行行为只需要操控配置主基站即可。

3 系统总体设计及分析

3.1 系统方案设计

本室内定位系统由四部分构成,第一部分为定位主基站节点,第二部分是定位基站节点,第三部分是上位机软件,第四部分为定位标签节点。定位标签节点可以以某种形式附着在需要定位的目标物体上实现和各基站的通信。

定位基站节点实现与其他基站节点以及定位标签节点的通信,并且将数据传输到定位主基站节点。定位主基站部分,在具有基站节点应有的功能同时,还承担定位解算工作,在主基站对各个基站和标签

的信息进行第一步解算并且将处理的信息通过 MODBUS-RTU 协议传输到上位机。上位机部分实现了一个可视化的便于操作的界面，提供了一个带有坐标的地图方便用户使用，并使用云服务器进行数据存储。

本系统未来可以嵌入智能家居系统中，作为智能家居系统的一个有机组成部分。将上位机系统或各基站和物联网智能路由器等类似设备进行有机结合，实现对家中各种物件的智能管理，提供寻物服务，进行远程控制。

3.2 系统方案的结构

根据系统的总体方案，给出本系统的结构图，本系统的结构采用多基站多标签的设计，可以方便的适应多物品同时定位的使用需求。下面以三个基站多标签为例，给出本系统的结构图

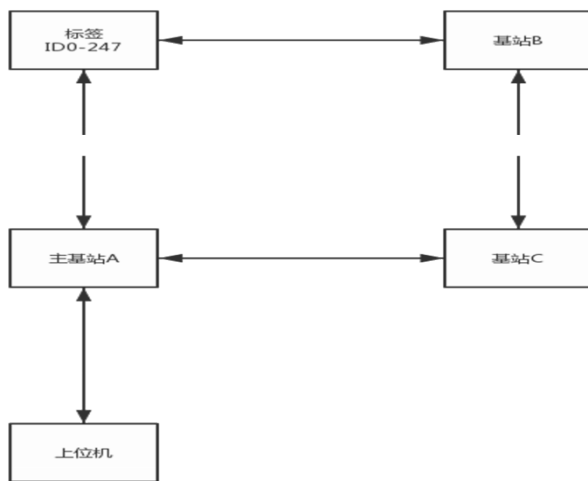


图 1 室内定位系统结构图（以三基站为例）一般来说，为了定位一个移动节点，需要将测量结果与一些固定的、已知的定位的“锚”节点。通常情况下，至少需要三个锚节点来定位一个移动节点。二维定位移动节点，而在三维定位移动节点时，至少需要四个非共面的锚点。

维度。安装中的锚节点的间距必须使四个锚节点始终处于移动标签的通信范围内。无论移动标签在操作空间的什么位置，都必须有四个锚点在其通信范围内。通信范围

3.2 系统开发环境

3.2.1 单片机程序开发环境本系统使用 Keil 进行单片机程序开发

3.2.2 上位机软件开发环境

本系统使用 Microsoft Visual Studio 开发上位机界面。

4 系统硬件设计

4.1 单片机硬件设计

在现代生活中，随着我国科技的不断发展，单片机也逐渐遍及我们生活中的方方面面，几乎所以领悟都有单片机的应用，这是我国电子发展走向高精度化，智能化发展的必然。单片机，就是计算机

因此 STM32F 单片机更适合开发本系统。并且相比 51 系列或者 430 系列单片机，STM32 系列单片机拥有更强大的内核以及更多样的功能，在数据处理速度上，也是一般传统的单片机不能媲美的。

STM32F103C8T6 单片机原理图如图 4-

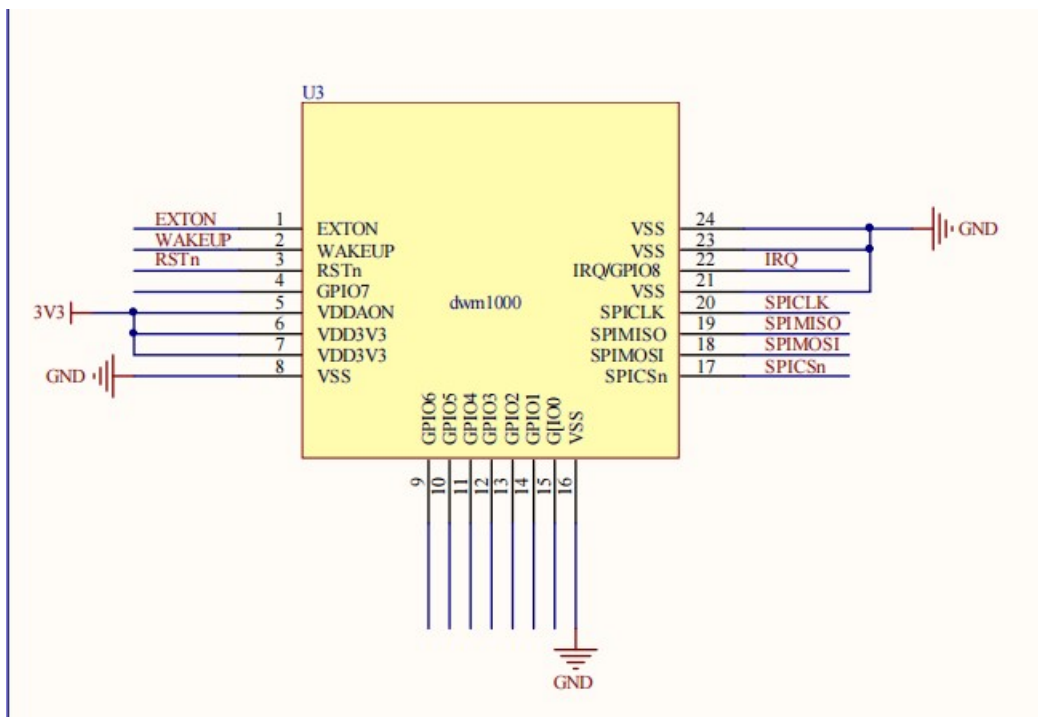
1 所示。

图 4-1 STM32F103C8T6 原理图

4.1.1 超宽带模块的设计与实现

在超宽带模块上我们选用了经典的 DWM1000 的超宽带模块，DWM1000 模块有以下优势：

- (1) 基于 DecaWave 公司开发的 DW1000 芯片，兼容 IEEE802.15.4-2011 协议的超宽带无线收发芯片
- (2) 在实时定位系统中用于物体的定位，精度高达 10 厘米
- (3) 数据传输速率高达 6.8Mb/s
- (4) 通信距离在 300 米
- (5) 使用短包方式通信，在 20 米半径内，标签的密度高达 11000 个
- (6) 对于多路径衰弱有更强的抗干扰能力，在高衰弱环境下也可以进行可靠的通信
- (7) 低功耗特色，电池供电，长期使用
- (8) 物理尺寸很小，非常容易的集成到实时定位系统（RTLS）和无线传感网络（WSN）中
- (9) 集成天线，简化用户产品的实现，不需要考虑天线设计



下面给出 DW1000 模块原理图：图 4-2 DW1000 原理图

其运行状态图如下图所示：

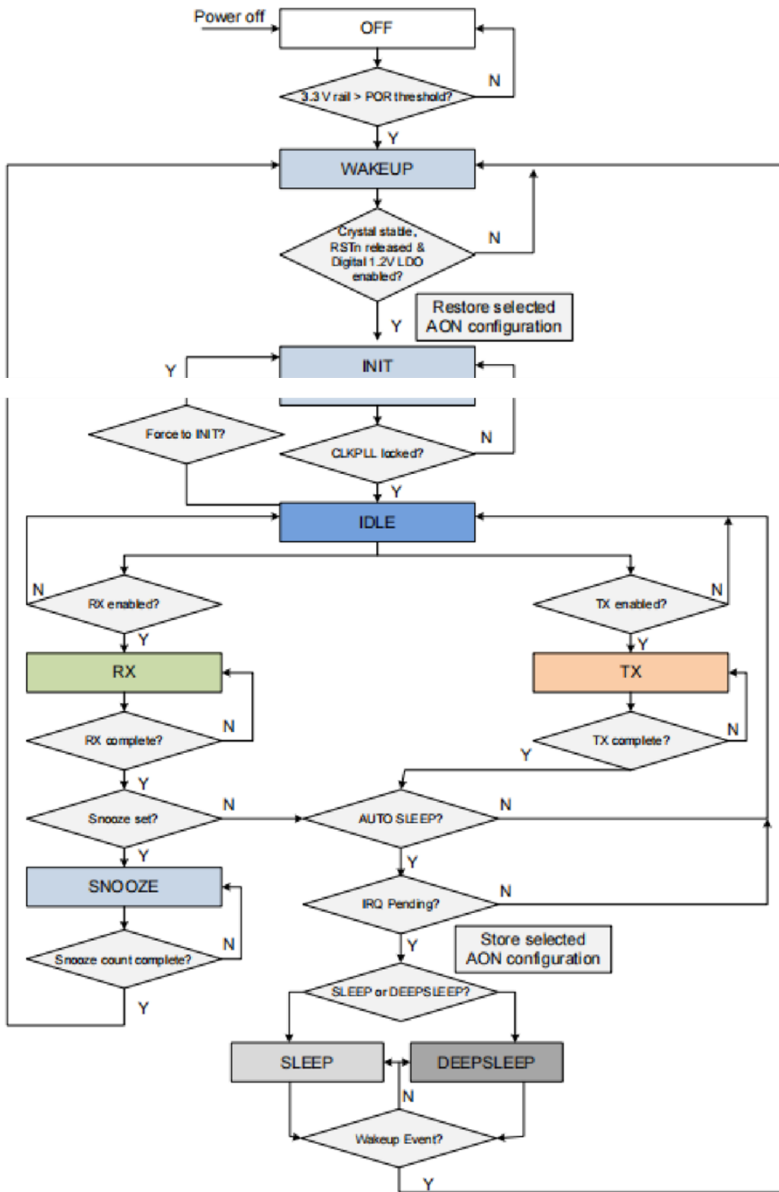


图 4-3 DW1000 运行状态图

当外部电源首次应用于 DW1000 时，内部开机复位（POR）电路将外部应用的电源电压与内部开机阈值（约 1.5 V）进行比较，一旦通过该阈值，晶体振荡器将被启用，外部设备使能引脚 EXTn 被确认。一个从低功耗振荡器上运行的内部计数器被用来保持 DW1000 处于复位状态，以确保晶体振荡器在使用前是稳定的。一旦数字复位被解除，数字核心就会被唤醒并进入唤醒状态。在此状态下，它将自动打开 CLKPLL，并在进入 IDLE 状态前等待其锁定。

在 DW1000 极低功率的 DEEPSLEEP 状态下，除了维持 IC 配置所需的少量存储器外，IC 几乎完全断电。这是该 IC 的最低功率模式，其功率消耗 < 100 nA。要从 DEEPSLEEP 状态唤醒 IC，需要外部代理断言 WAKEUP 输入线，或者外部主机微处理器启动 SPI 交易以断言 SPICSn 输入。

DW1000 还包括一个低功耗的 SLEEP 状态，由于 DW1000 集成电路内部的低功率环形振荡器运行的睡眠定时器过期，该集成电路可以从睡眠中唤醒自己。

在这种 SLEEP 状态下，功率消耗 $1 \mu A$。当睡眠定时器过期时，DW1000 可以从 SLEEP 状态唤醒。WAKEUP 或 SPICS_n 输入也可用于唤醒该器件。

低功率振荡器的频率取决于 IC 内的工艺变化，但通常在 7,000 和 13,000 Hz 之间。IC 内有一些设施可以测量低功率振荡器周期的长度，以 IC 晶体振荡器的计数除以 2，（即 $38.4MHz \div 2$ ，或 19.2MHz）。

从 SLEEP 和 DEEPSLEEP 模式的返回，是通过将 WAKEUP 引脚驱动到高电平约 500 μs ，（假设 WAKE_PIN 配置位在子寄存器 0x2C:06 - AON_CFG0 中被设置）。

驱动 SPICS_n 引脚为低电平约 500 μs ，（假设 WAKE_SPI 配置位在子寄存器 0x2C:06-AON_CFG0 中被设置）。这可以通过做一个足够长的假的 SPI 读数来实现。

当使用 SPICS_n 引脚来唤醒器件时，SPIMOSI 线在 SPICS_n 的持续时间内保持低电平是很重要的，以确保不会发生虚假的写操作。此外，从 SLEEP 返回也发生在以下情况下：内部睡眠定时器过期，（假设 WAKE_CNT 配置位在子寄存器 0x2C:06 - AON_CFG0 中与适当的 SLEEP_TIM 一起被设置）。在所有这三种唤醒情况下，设备默认返回到 IDLE 状态，但根据配置的不同，此后可以自动进行额外的状态转换。

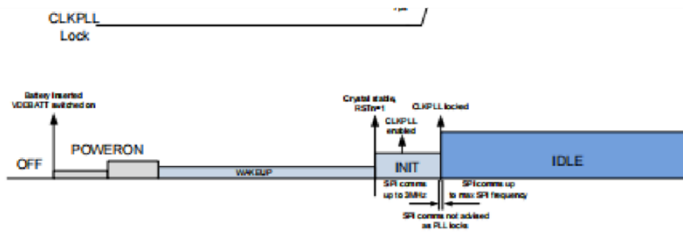
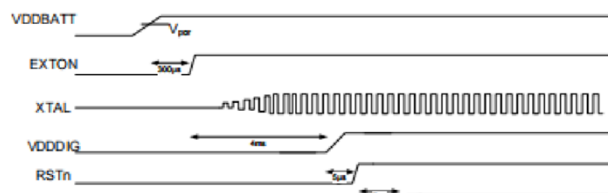


图 4-3 DW1000 时序图

通过 dw1000 模块提供的数据，结合响应的算法，本系统实现了对部分数据的处理，在硬件部分就能够得到计算数据而不需要依靠软件计算，提高了传输效率。在数据包传输完成后，首先判断是否是 final 数据包，如果是 final 数据包，则读取接收数据中的时间信息，带入计算公式计算出距离，矫正后传输由主基站记录传输。具体算法如上文所示，下面给出具体代码：

```
if (rx_buffer[9]==0x23)//判断是否为 Fianl 包
```



```

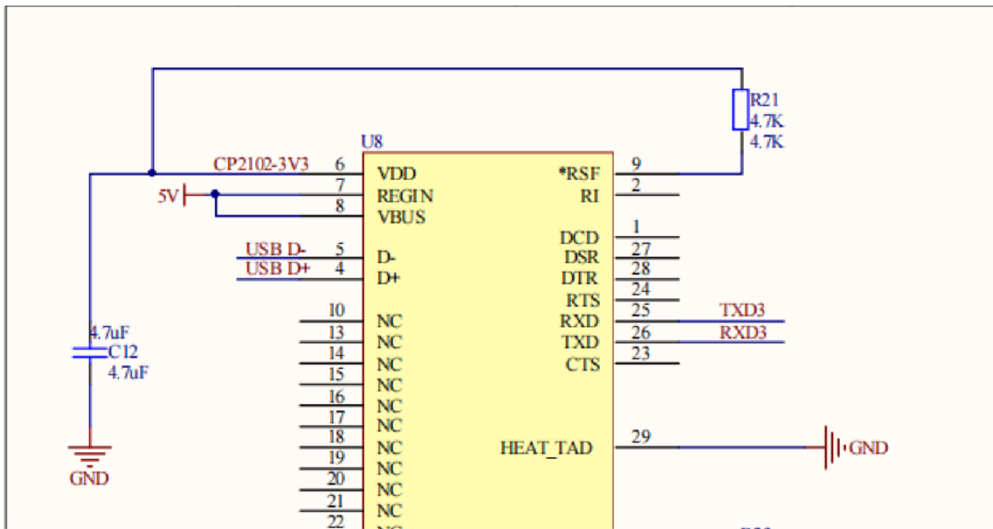
{
    resp_tx_ts = get_tx_timestamp_u64(); //获得 response 发送时间 T3
    final_rx_ts = get_rx_timestamp_u64(); //获得 final 接收时间 T6
final_msg_get_ts(&rx_buffer
[FINAL_MSG_POLL_TX_TS_IDX], &poll_tx_ts); //从接收数据中读取 T1, T4, T5
final_msg_get_ts(&rx_buffer
[FINAL_MSG_RESP_RX_TS_IDX], &resp_rx_ts);
final_msg_get_ts(&rx_buffer[FINAL_MSG_FINAL_TX_TS_IDX], &final_tx_ts); poll_rx_ts_32 =
(uint32)poll_rx_ts; //使用 32 位数据计算 resp_tx_ts_32 = (uint32)resp_tx_ts;
final_rx_ts_32 = (uint32)final_rx_ts;
    Ra = (double)(resp_rx_ts - poll_tx_ts); //Tround1 = T4 - T1
    Rb = (double)(final_rx_ts_32 - resp_tx_ts_32); //Tround2 = T6 - T3
    Da = (double)(final_tx_ts - resp_rx_ts); //Treply2 = T5 - T4 Db =
(double)(resp_tx_ts_32 - poll_rx_ts_32); //Treply1 = T3 - T2
    tof_dtu = (int64)((Ra * Rb - Da * Db) / (Ra + Rb + Da + Db)); //计算公式 tof =
tof_dtu * DWT_TIME_UNITS; distance = tof * SPEED_OF_LIGHT; //距离=光速*飞行时间

```

4.1.2 串口通信模块的设计与实现

串口通信模块是实现上位机和主基站之间通信的功能，通过串口通信模块实现数据的传输。整个系统分为好几个部分的情况下，就需要串口通信模块进行数据通信，使得上位机和主基站之间能够进行数据交互，实现控制和数据传输功能

串口通信模块采用两种方式。正常情况下，通过 ttl 串口连接电脑 usb 接口，进行串口通信。也可以使用 usb 进行串口通信，下面给出 USB 串口通信模块原理图。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/178104100026006076>