

# 久凌电子 UWB-S1

使用说明书 V2.0.0

技术热线：13291782913

QQ：583030023

淘宝店：<https://shop514880376.taobao.com/>

日期 Date	版本	版本描述	作者
20180805	V1.0.0		Jerry
20190929	V1.0.1	修改产品列表	Jerry
20200430	V2.0.0	1. 修改产品列表 2. 修改上位机描述说明	Jerry

## 目录

1. 简介.....	5
1.1 目标和范围.....	5
1.2 术语和缩写.....	5
2. UWB 开发套件及配件介绍.....	6
2.1 UWB-S1 开发板介绍.....	6
2.2 UWB-S1 开发板硬件参数.....	6
2.3 UWB-S1 开发板套件.....	7
2.4 公司产品系列说明.....	8
3. 定位搭建及通讯方式.....	9
3.1 零维定位搭建.....	9
3.1.1 <1 基站 3 标签>.....	9
3.2 二维定位搭建.....	10
3.2.1 <3 基站 1 标签>.....	10
3.2.2 <4 基站 4 标签>.....	11
3.3 硬件接口说明.....	11
3.3.1 固件升级/在线调试 连接方法.....	12
3.3.2 TTL 串口 连接方法.....	13
3.3.3 Micro USB 连接方法.....	14
3.4 串口协议说明.....	14
3.4.1 串口输入(AT 命令配置).....	14
3.4.2 串口输出(距离数据).....	15
4. RTLS 上位机使用说明.....	17
4.1 菜单栏.....	17
4.2 基站板块.....	18
4.3 标签板块.....	18
4.4 展示板块.....	19
4.5 通讯板块.....	19
4.6 设置板块.....	19
4.6.1 功能设置.....	20
4.6.2 平面图显示功能.....	21
4.6.3 网格设置.....	21
4.6.4 参数配置.....	22
5. UWB 测距/定位分析.....	24
5.1 UWB 测距的原理.....	24
5.1.1 UWB 单边测距.....	24
5.1.2 UWB 双边测距.....	25
5.2 UWB 定位原理.....	26
5.3 基站流程图.....	27
5.4 标签流程图.....	27
6. 常见问题.....	28
6.1 学习 UWB 需要哪些知识储备.....	28
6.2 学习 UWB 需要哪些开发工具.....	28

6.3 UWB 数据精度如何.....	28
6.4 UWB 模块测量时数据抖动.....	29
6.5 UWB 模块测量值与实际值误差很大原因.....	29
6.5.1 上位机标定.....	29
6.5.2 下位机标定.....	30

# 1. 简介

## 1.1 目标和范围

<UWB-S1 使用手册>描述的了我司研发学习板硬件设备, 针对读者为软硬件工程师及 UWB 初学者。

## 1.2 术语和缩写

缩写语	全称	定义
RTLS	Real time location	实时定位
SPI	Serial Peripheral Interface	串行外设接口(全双工)
TDoA	Time Difference of Arrival	到达时间差
TOF	Time of Flight	无线电信号在空中传输的时间
TWR	Two-way Ranging	双边测距
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitte	通用异步收发传输器/UART 串口
USB	Universal Serial Bus	STM32 虚拟 USB
UWB	Ultra wide band	超宽带

表 1 术语与缩写

## 2. UWB 开发套件及配件介绍

### 2.1 UWB-S1 开发板介绍

UWB-S1 开发板采用 STM32F103C8T6 单片机作为主控芯片。外围电路包括 DW1000 芯片、电源模块、LED 指示模块、USB 通讯、USART 通讯等。该开发板既可作为基站，也可以作为标签，通过 USB/USART 指令进行切换。

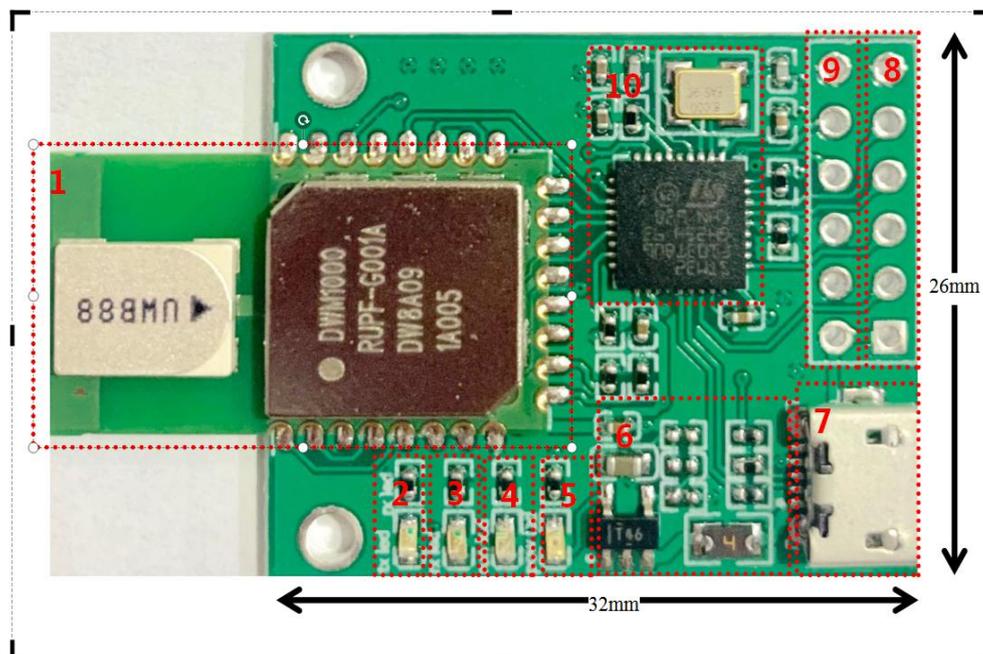


图 1 UWB-S1 开发板

- 1、 DW1000 芯片
- 2、 DW1000-RX LED 指示灯 (蓝灯)
- 3、 DW1000-TX LED 指示灯 (蓝灯)
- 4、 单片机状态指示灯 (黄色)
- 5、 电源指示灯 (红色)
- 6、 电源模块 TPS73601DBVR 超低纹波
- 7、 USB 通讯接口
- 8、 Stlink 下载接口
- 9、 Usart 串口通讯
- 10、 STM32F103C8T6 MCU 系统

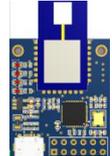
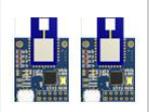
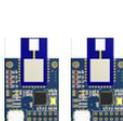
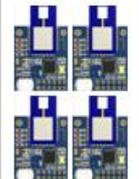
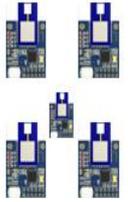
### 2.2 UWB-S1 开发板硬件参数

内容	参数规格
工作电压	Micro USB (5V)

工作频率	3.5GHz-6.5GHz
工作温度	-20° ~ 80°
通讯距离	一般距离 30m(空旷 50m)
天线设计	PCB 天线
通讯接口	Micro USB / 串口 (3.3V TTL)
串口功能	TTL 串口波特率:115200, 停止位:1 奇偶校验:无
通讯速率	110Kbit/s 6.8Mbit/s
单次定位	28ms (110kb)/10ms (6.8M)
基站尺寸	32*26mm
主控制器	STM32F103C8T6

表 2 UWB-S1 硬件参数

## 2.3 UWB-S1 开发板套件

项目	套件	简介	提供的资料内容
UWB-S1 开发板		模块采用 STM32F103C8T6 单片机为主控芯片。通过 SPI, 读写 UWBDWM1000 模块。该模块基站标签一体, 通过拨码开关进行切换。此外, 该模块体积如一元硬币, 是开发小型标签的理想之选。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 提供官方数据手册</li> </ul>
EVK1000 测距套件精简版: 1 基站+1 标签		EVK1000 开发套件由 2 个 UWB-S1 开发板组成, 其功能在于基于 TOF, 实现两个模块之间的测距 (Two-WayRanging) 功能。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EVK1000 全开源测距软件代码 (2016.4.28 更新)</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持串口调试助手观察测距数据</li> <li>· 提供官方数据手册</li> </ul>
EVK1000 测距套件科研版: 1 基站+1 标签		EVK1000 开发套件由 2 个 UWB-S1 开发板组成, 其功能在于基于 TOF, 实现两个模块之间的测距 (Two-WayRanging) 功能。科研版较精简版增加了可视化上位机与卖家技术支持。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EVK1000 全开源测距软件代码 (2016.6.28 更新)</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持上位机显示测距数据与图形界面</li> <li>· 提供官方数据手册</li> <li>· 卖家技术支持</li> </ul>
TREK1000 定位套件标准版: 3 基站+1 标签		TREK1000 开发套件由 4 个 UWB-S1 开发板组成, 其基本结构为 3 基站 1 标签。其功能在于基于 TOF, 实现标签的 2D 定位。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UWB-S1 STM32 全开源软件代码 (2016.7.20 更新)</li> <li>· 软件仅支持 3 基站+1 标签</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持 USB 虚拟串口, 提供上位机演示 (无源码)</li> <li>· 提供官方数据手册</li> </ul>
TREK1000 定位套件高: 4 基站+1 标签		TREK1000 开发套件由 5 个 UWB-S1 开发板组成, 其基本结构为 4 基站 1 标签 (或 3 基站 2 标签) 其功能在于基于 TOF, 实现标签的 3D 定位。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UWB-S1 STM32 全开源软件代码 (2016.8.31 更新)</li> <li>· 软件仅支持 4 基站+1 标签</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持 USB 虚拟串口, 提供上位机演示 (无源码)</li> <li>· 提供官方数据手册, 卖家技术支持</li> <li>· 赠送锂电池 5 个</li> </ul>

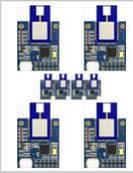
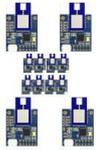
TREK1000 定位 套件企业版：  4 基站+4 标签		TREK1000 开发套件由 8 个 UWB-S1 开发板组成,其基本结构为 4 基站 4 标签(或 3 基站 2 标签)其功能在于基于TOF,实现标签的 3D 定位。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UWB-S1 STM32 全开源软件代码 (2016.12.3 更新)</li> <li>· 软件最大支持 4 基站+4 标签</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持 USB 虚拟串口,提供上位机演示 (含源码)</li> <li>· 提供官方数据手册,卖家技术支持</li> <li>· 赠送锂电池 8 个</li> </ul>
TREK1000 定位 套件企业版：  4 基站+8 标签		TREK1000 开发套件由 12 个 UWB-S1 开发板组成,其基本结构为 4 基站 8 标签。其功能在于基于 TOF,实现标签的3D 定位。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· UWB-S1 STM32 全开源软件代码 (2017.1.6 更新)</li> <li>· 软件最大支持 4 基站+8 标签</li> <li>· UWB-S1 硬件 PDF 原理图</li> <li>· 支持 USB 虚拟串口,提供上位机演示 (含源码)</li> <li>· 提供官方数据手册,卖家技术支持</li> <li>· 赠送锂电池 8 个</li> </ul>
UWB 外置天线 +IPEX 接口 +转接 PCB 板		替换陶瓷天线,通过转接 PCB 板,将DWM1000 模块扩展成外置天线,提高稳定性与通讯距离。	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 转接板 PCB 图</li> <li>· UWB 天线 1 条,增益 3dbm</li> </ul>

表 3 UWB-S1 开发套件

## 2.4 公司产品系列说明

产品系列说明 (更新于 2020.04.30 日)

序号	系列	名称	型号	说明
1	X 系列 (针对模组使用)	无功放射频模组	UWB-X1 (DWM1000)	空旷大于 30 米
2		加功放射频模组	UWB-X1-Pro	空旷大于 300 米
3		跟随模块	UWB-X2-AOA	PDOA 算法
4	S 系列 (针对开发板使用)	学习套件	UWB-S1-CA	空旷大于 30 米
5			UWB-S1-SMA	空旷大于 80 米
6			UWB-S1-Pro	空旷大于 300 米
7		S 系列手持器	UWB-S1-HH	标签输出坐标
8	T 系列 (针对产品使用)	安全帽、物资型标签	UWB-T-CAP01	搭载 X1-Pro 模组
9		手环型标签	UWB-T-WB01	搭载 X1-Pro 模组
10		胸卡型标签	UWB-T-CC01	搭载 X1-Pro 模组
11		成品手持器标签	UWB-T-HH	直接显示当前坐标
12		室内成品基站	UWB-T-GW01	带以太网 wifi 通信
13		室外成品基站	UWB-T-GW02	带以太网 wifi 通信

表 4 产品系列说明表

### 3. 定位搭建及通讯方式

#### 3.1 零维定位搭建

##### 3.1.1 <1 基站 3 标签>

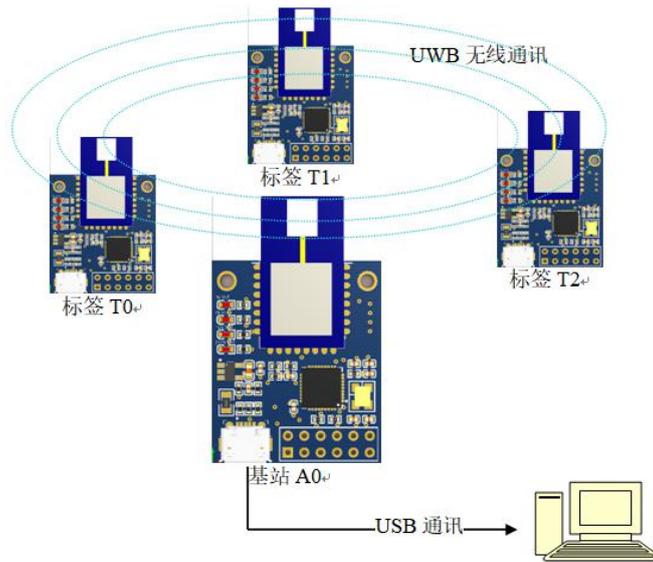


图 2 零维定位 1A3T 框架

步骤一：A0 通过 USB 方式连接 PC 电脑(前提：完成 USB 驱动安装)

步骤二：打开 UWB 上位机软件 RTLS(\*\*\*-V2.0.0).exe

步骤三：如下图所示，勾选<区域围栏模式>即可。

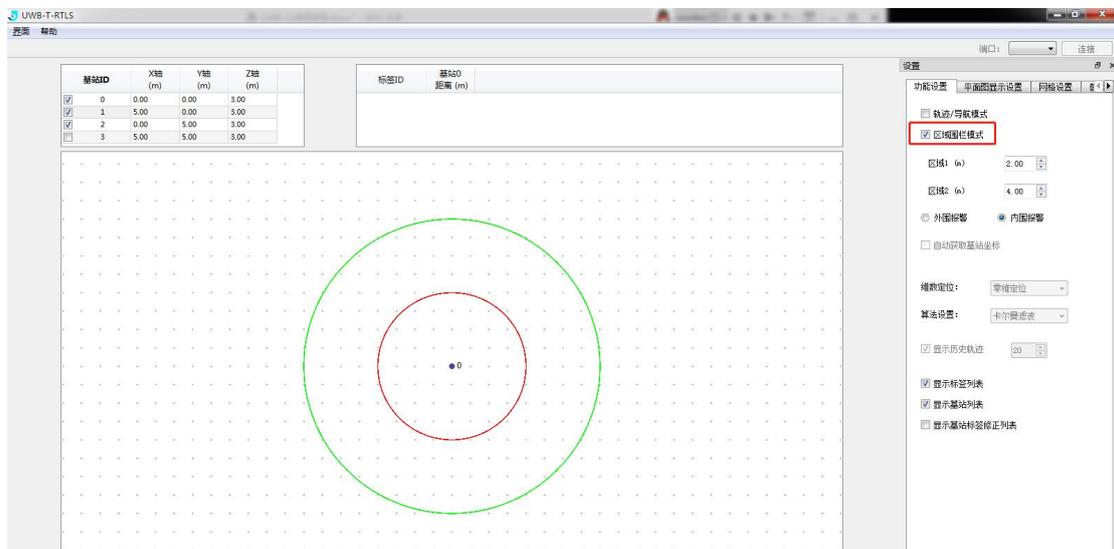


图 3 区域围栏模式

## 3.2 二维定位搭建

### 3.2.1 <3 基站 1 标签>

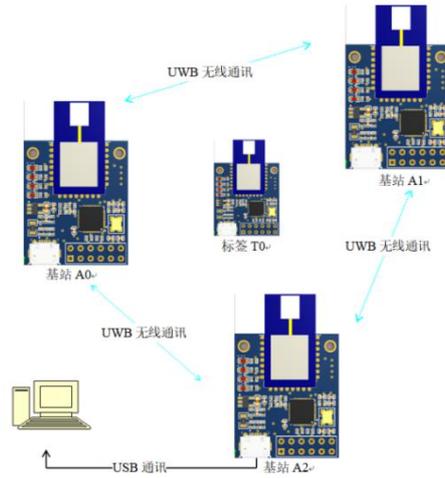


图 4 二维定位 3A1T 框架

步骤 1: A0 通过 USB 方式连接 PC 电脑(前提: 完成 USB 驱动安装)

步骤 2: 打开 UWB 上位机软件 RTLS(\*\*\*-V2.0.0).exe

步骤 3: 如下图所示, 勾选<轨迹/导航模式>即可。

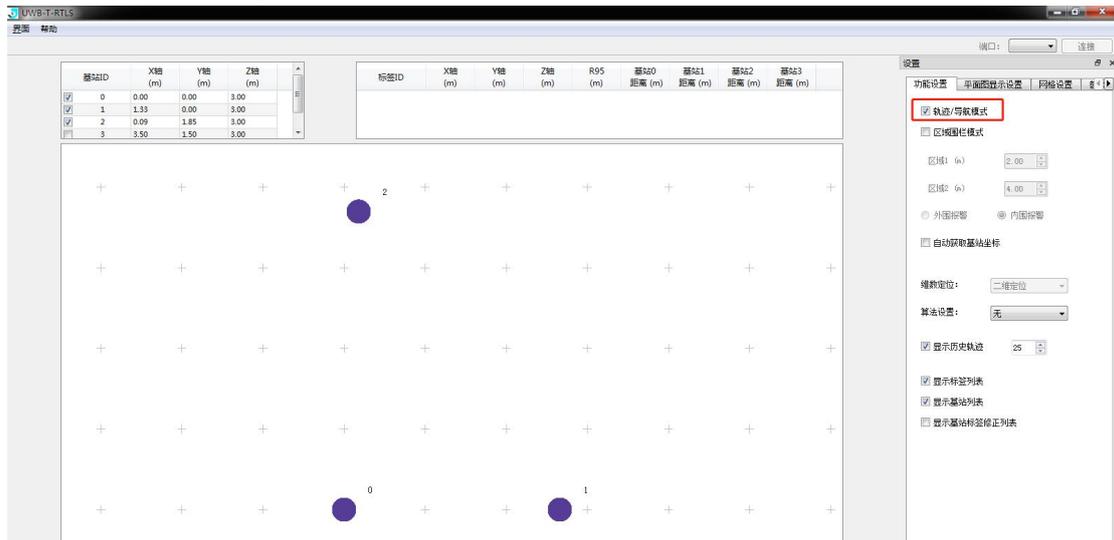


图 5 轨迹/导航模式

### 3.2.2 <4 基站 4 标签>

步骤 1.2.3 与二维定位 3 基站 1 标签完全一致。

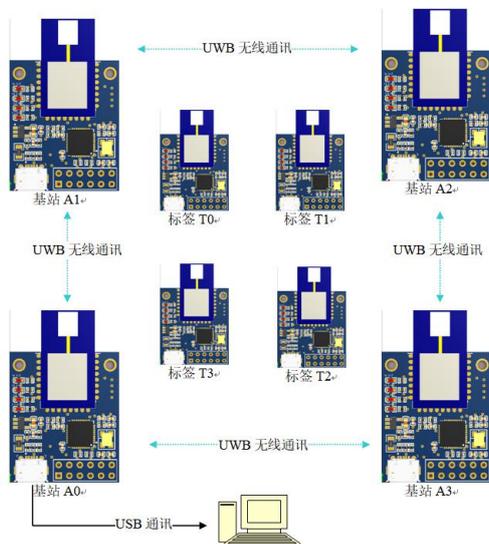


图 6 二维定位 4A4T 框架

### 3.3 硬件接口说明

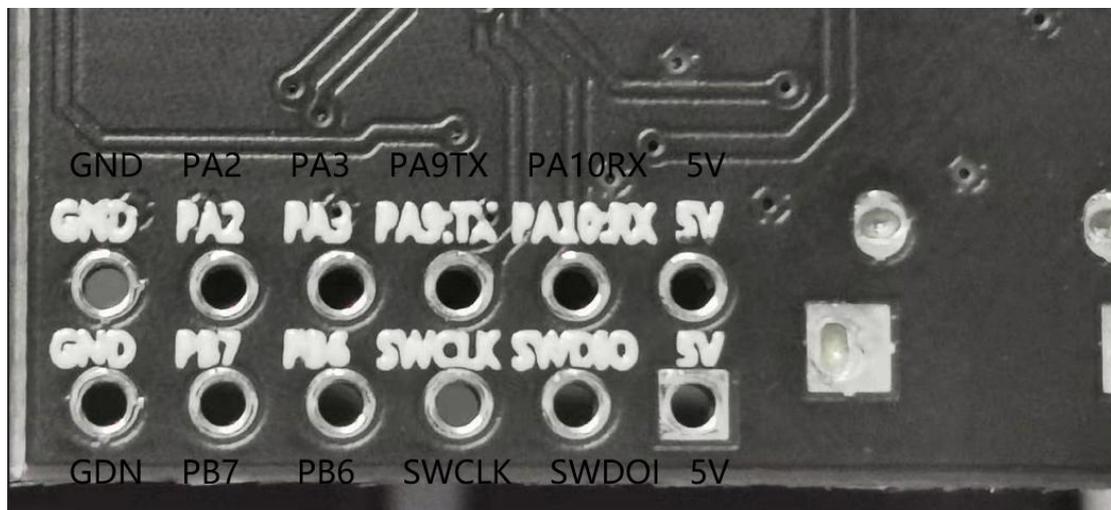


图 7 UWB-S1 IO 口

UWB-S1 开发板	IO 口说明
PA2	预留
PA3	预留

PA9TX	串口 TX(2.3.2节)
PA10RX	串口 RX(2.3.2节)
PB7	预留
PB6	预留
SWCLK	SWD 下载方式: SWCLK(2.3.1节)
SWDIO	SWD 下载方式: SWDIO(2.3.1节)
GND	电源负极
5V	电源正极 5V

表 5 UWB-S1 IO 口对应表

### 3.3.1 固件升级/在线调试 连接方法

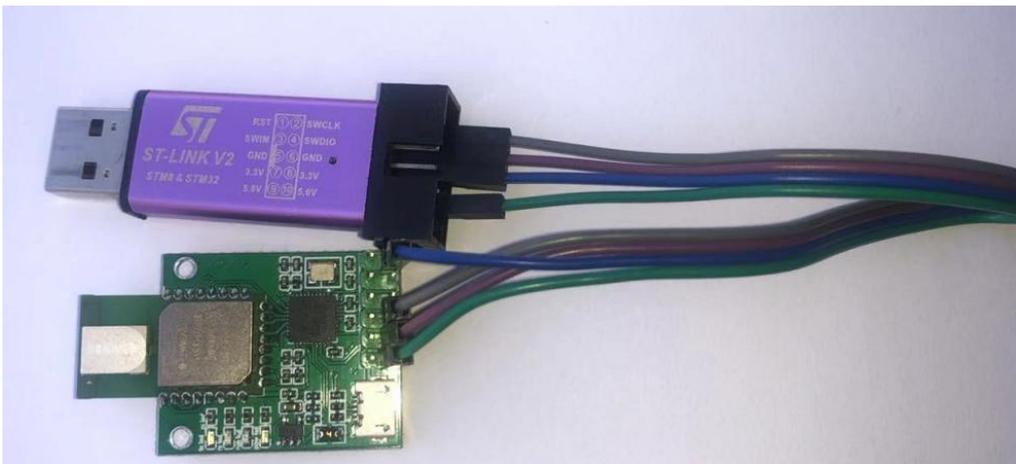


图 8 固件下载 ST-link 接法

UWB-S1 开发板	ST-LINK
GND	GND
SDIO	SWDIO
SCLK	SWCLK
5V	5V

表 6 固件下载 ST-link 接法表

### 3.3.2 TTL 串口 连接方法

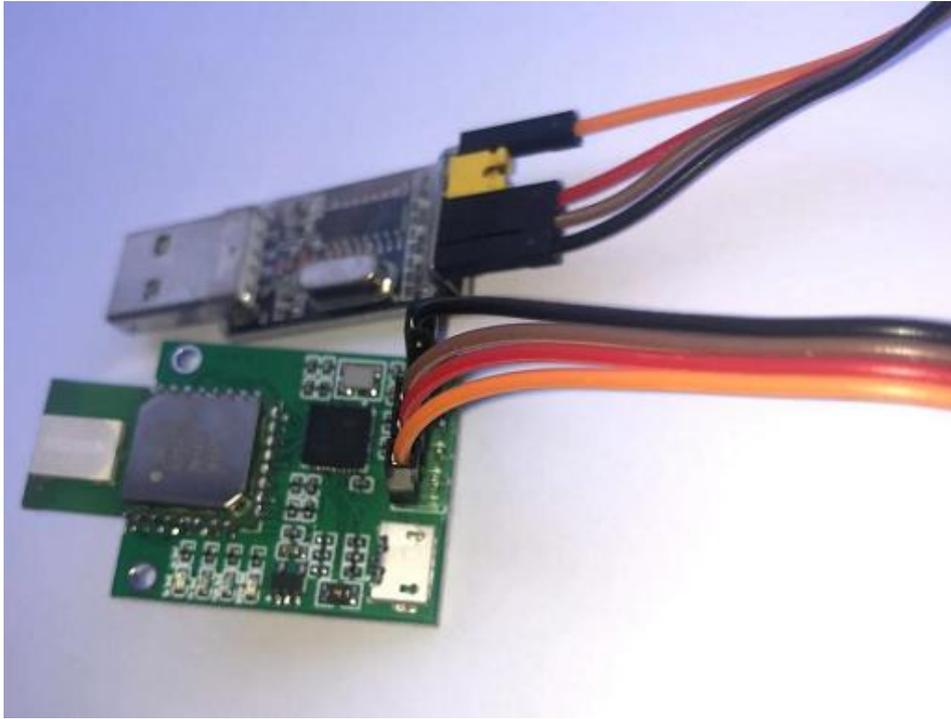


图 9 TTL 串口接法

UWB-S1 开发板	USB TO TTL (CH340)
GND	GND
PA9TX	RXD
PA10RX	TXD
5V	5V

表 7 TTL 串口接法表

### 3.3.3 Micro USB 连接方法

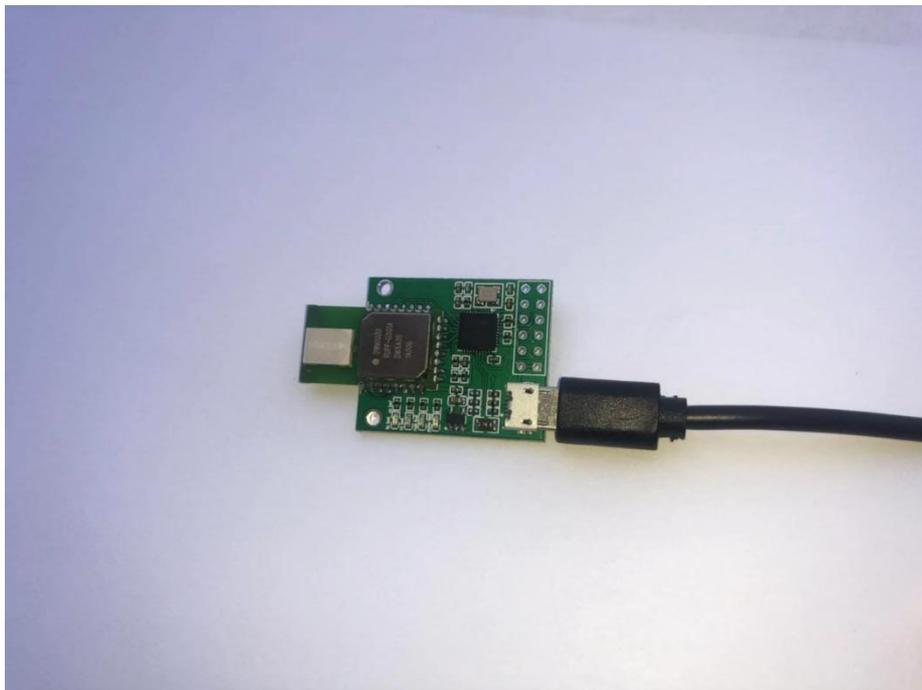


图 10 Micro USB 接法

## 3.4 串口协议说明

### 3.4.1 串口输入(AT 命令配置)

UWB-S1 开发板出厂已经设置完成，如无特殊情况，无需变更。可直接跳过此步骤，如用户想自行进行设置，可通过如下 AT 命令集进行配置。

AT 命令集如下

AT 命令集	含义	示例						
AT+VER?	查版本号	AT+VER? OK+VER=soft:v02_00_001,hard:v01_00_001						
AT+RSET	模块复位	AT+RSET OK+RSET						
AT+RTOKEN	模块恢复出厂模式	AT+RTOKEN OK+RTOKEN						
AT+SW=1XXXXXX0	配置模块基本参数 (配置完成复位生效)	AT+SW=10000000 //标签 0 OK+SW=10000000 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>0</td> </tr> </table>	1	x	x	x	x	0
1	x	x	x	x	0			

		默认	0:110K 速率 1:6.8M 速率	0:信道 2 1:信道 5	0:标签 1:基站	000:工作 ID0 001:工作 ID1 010:工作 ID2 011:工作 ID3 100:工作 ID4 101:工作 ID5 110:工作 ID6 111:工作 ID7	默认
AT+SW_R?	读取模块基本参数	AT+SW_R? OK+SW_R=10000000					
AT+DMC=a:X.XXXX,b:XXX.XX	配置模块校正参数 (配置完成复位生效)	AT+DMC=[a:+0.9972,b:+613.42] (注释:a,b系数必须6个字节,含小数点,首位必须为+/-) OK+DMC=[a:+0.9972,b:+613.42]					
AT+DMC_R?	读取模块校正参数	AT+DMC_R? AT+DMC_R=[a:+0.9972,b:+613.42]					

表 8 AT 命令集

TTL 串口配置：连接方法如 2.3.2 节所示，其波特率、停止位、数据位、奇偶校验如图显示。

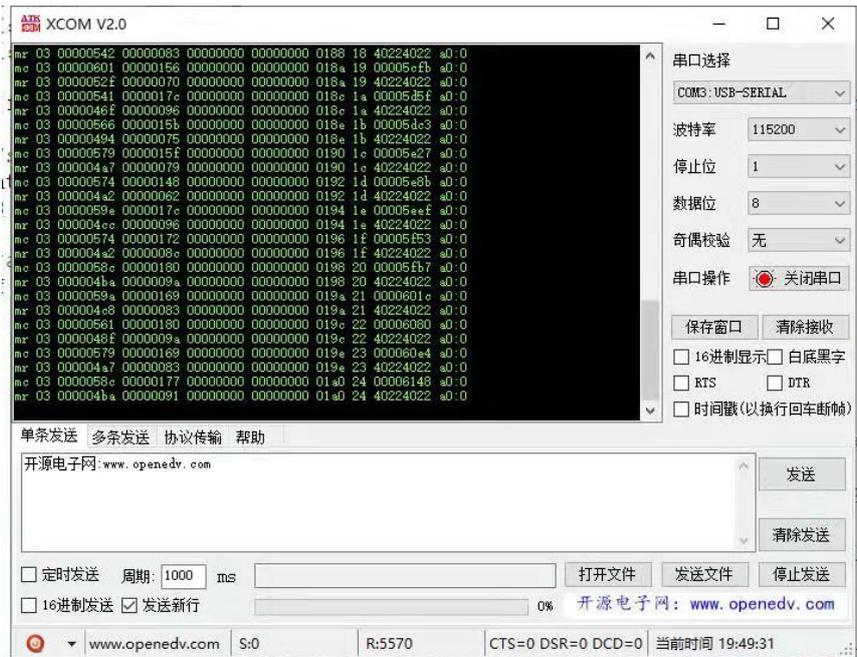


图 11 UART XCOM 配置截图

Micro USB 配置：连接方法如 2.3.3 所示，其波特率、停止位、数据位、奇偶校验无需更改自适应。

### 3.4.2 串口输出(距离数据)

1. mr 0f 000005a4 000004c8 00000436 000003f9 0958 c0 40424042 a0:0
2. ma 07 00000000 0000085c 00000659 000006b7 095b 26 00024bed a0:0
3. mc 0f 00000663 000005a3 00000512 000004cb 095f c1 00024c24 a0:0

字段	含义
----	----

MID	<p>信息 ID: mr, mc, ma</p> <p>mr: 基站与标签距离值(原始数据), T-A0, T-A1, T-A2, T-A3</p> <p>mc: 基站与标签距离值(校正过数据), T-A0, T-A1, T-A2, T-A3</p> <p>ma: 基站之间的距离值, A0-A1 A1-A2 A0-A2</p>
MASK	<p>距离 RAGNE0, RANGE1, RANGE2, RANGE3, 数据有效位</p> <p>0x0f (0x00001111) 表示 RAGNE0, RANGE1, RANGE2, RANGE3 有效</p>
RANGE0	标签到基站 0 的距离值, 单位: mm
RANGE1	标签到基站 1 的距离值, 单位: mm
RANGE2	标签到基站 2 的距离值, 单位: mm
RANGE3	标签到基站 3 的距离值, 单位: mm
NRANGES	计数值(不断累加)
RSEQ	UWB 无线通信序列号计数值(不断累加)
DEBUG	如果 MID=ma, 代表 TX/RX 天线延迟
aT:A	<p>T: 标签的 ID,</p> <p>A: 基站的 ID,</p> <p>通过 AT 命令进行设置 ID, 并非芯片的 64Bit 的 ID</p>

表 9 定位数据含义

## 4. RTLS 上位机使用说明

本章节介绍一下 PC 上位机的使用。本上位机软件使用 QT 5.11.3 MinGM 开发，编写语言为 C++。Qt 是一个 1991 年由奇趣科技开发的跨平台 C++图形用户界面应用程序开发框架。它既可以开发 GUI 程序，也可用于开发非 GUI 程序，比如控制台工具和服务器。Qt 是面向对象的框架，使用特殊的代码生成扩展（称为元对象编译器）以及一些宏，易于扩展，允许组件编程。

该上位机支持功能如下

- 1、USB 通讯/USART 通讯(CH340)
- 2、TCP 服务器(默认 Port: 9999)
- 3、TCP 客户端(第三方接口)
- 4、导入地图设置
- 5、标签移动轨迹显示



图 12 RTLS 上位机初始界面

QT 上位机界面介绍(如上图)

- 1)菜单栏
- 2)基站板块
- 3)标签板块
- 4)展示板块
- 5)通讯板块
- 6)设置板块

### 4.1 菜单栏

- 1) 界面菜单

- 1、设置            显示或隐藏窗口之间切换
- 2、主界面        显示或隐藏主界面小地图窗口切换

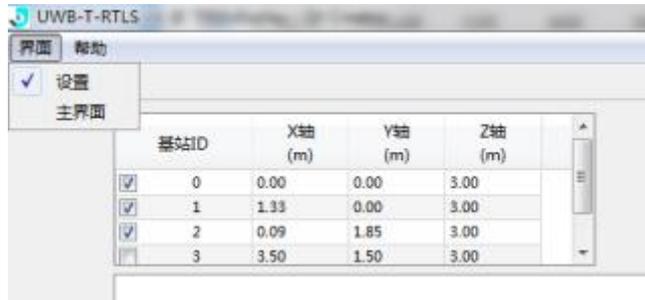


图 13 菜单栏-界面

2) 帮助菜单

- 1、关于            显示软件版本



图 14 菜单栏-帮助

## 4.2 基站板块

该板块显示基站 ID 及其所在位置的坐标，用户可通过手动输入 A0,A1,A2,A3 的坐标进行更改，如用户勾选使用<自动获取基站坐标>功能可以自动更改 A0,A1,A2 的坐标值(A3 不参加自动更新)。

基站ID	X轴 (m)	Y轴 (m)	Z轴 (m)
<input checked="" type="checkbox"/> 0	0.00	0.00	3.00
<input checked="" type="checkbox"/> 1	1.33	0.00	3.00
<input checked="" type="checkbox"/> 2	0.09	1.85	3.00
<input type="checkbox"/> 3	3.50	1.50	3.00

图 15 基站板块

## 4.3 标签板块

该板块列出了标签的 ID、对应 X 轴、Y 轴、Z 轴的数据、R95 统计学变量，及该标签

对应 A0,A1,A2,A3 的距离值(m)。

标签ID	X轴 (m)	Y轴 (m)	Z轴 (m)	R95 (m)	基站0 距离 (m)	基站1 距离 (m)	基站2 距离 (m)	基站3 距离 (m)
1 <input type="checkbox"/> 标签 0	0.301	0.361	2.545	<input type="checkbox"/>	0.054	2.185	2.076	

图 16 展示了标签数据表的详细视图。表头包含：标签ID、X轴 (m)、Y轴 (m)、Z轴 (m)、R95 (m)、基站0 距离 (m)、基站1 距离 (m)、基站2 距离 (m)、基站3 距离 (m)。表体第一行数据为：1  标签 0、0.301、0.361、2.545、、0.054、2.185、2.076。图中有红色箭头标注：'标签ID'指向表头第一列；'是否显示'指向第一行第一列的复选框；'标签的坐标'指向第一行的X、Y、Z轴数据；'标签到基站0,1,2的距离值'指向第一行的基站0、1、2距离数据。

图 16 标签板块

## 4.4 展示板块

该板块展示了基站与标签的动态坐标，同时支持用户导入背景图。

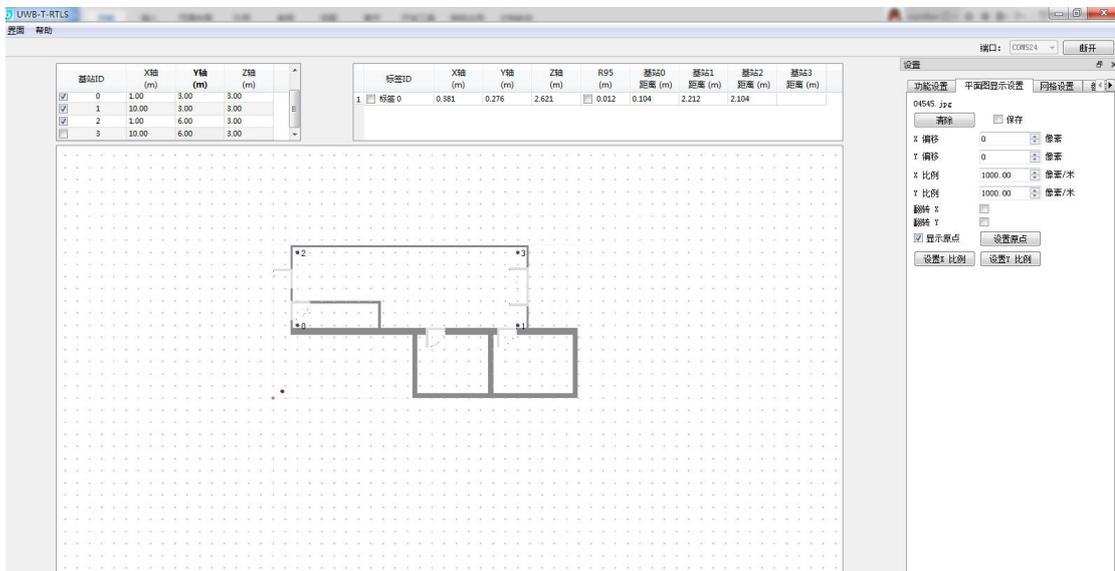


图 17 展示板块-导入地图效果图

## 4.5 通讯板块

该板块为 UWB 设备 USB/USART 连接情况



图 18 通讯板块-有线连接

## 4.6 设置板块

该板块可配置界面参数/第三方接口等功能。

- 1、功能设置：配置工作模式及滤波方式设置
- 2、平面图显示设置：地图导入等功能设置
- 3、网格设置：网络格显示功能设置
- 4、参数设置：支持远程通讯/第三方接口接入/设备标定等功能

## 4.6.1 功能设置



图 19 设置板块-功能设置

功能设置界面具备如下功能：

- 1、<轨迹/导航模式>和<区域围栏模式>二选一配置
- 2、选择<轨迹/导航模式>的历史轨迹显示功能
- 3、选择<区域围栏模式>的区域报警功能
- 4、滤波算法设置功能。

## 4.6.2 平面图显示功能



图 20 设置板块-平面图显示设置

平面图显示设置界面具备如下功能：

- 1、地图导入功能
- 2、导入图片比例缩放功能
- 3、导入图片镜像功能

## 4.6.3 网格设置



图 21 设置板块-网络设置

网格设置设置界面具备如下功能：

- 1、网格显示
- 2、网格大小设置

#### 4.6.4 参数配置



图 22 设置板块-参数设置

参数设置界面具备如下功能：

- 1、支持 TCP 客户端连接(供 UWB-T 系列使用)

- 2、接收命令显示(供 UWB-T 系列使用)
- 3、支持第三方接口
- 4、支持 UWB 标定系数修改

## 5. UWB 测距/定位分析

DW1000 的测距原理在<dw1000\_user\_manual.pdf>文档中有介绍，这里将继续详细介绍测距原理且定位原理。

### 5.1 UWB 测距的原理

DW1000 有两种测距的方式，一种是 SS 测距(Single-sided Two-way Ranging)，另外一种 是 DS 测距(Double-sided Two-way Ranging)。

#### 5.1.1 UWB 单边测距

<单边测距>具体流程：设备 A 首先向设备 B 发出一个数据包，并记录下发包时刻  $T_{a1}$ ，设备 B 收到数据包后，记下收包时刻  $T_{b1}$ 。之后设备 B 等待  $T_{reply}$  时刻，在  $T_{b2}(T_{b2} = T_{b1} + T_{reply})$ 时刻，向设备 A 发送一个数据包，设备 A 收到数据包后记下  $T_{a2}$ 。然后可以算出电磁波在空中的飞行时间  $T_{prop}$ ，飞行时间乘以光速即为两个设备间的距离。

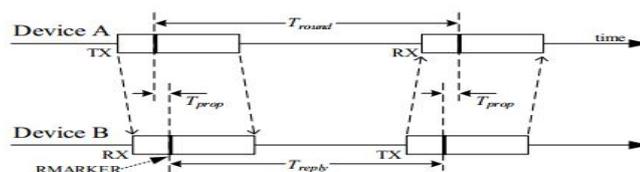


Figure 36: Single-sided Two-way ranging

$$T_{round} = T_{a2} - T_{a1}$$

$$T_{reply} = T_{b2} - T_{b1}$$

$$\hat{T}_{prop} = \frac{1}{2}(T_{round} - T_{reply})$$

因为设备 A 和设备 B 使用各自独立的时钟源，时钟都会有一定的偏差，假设设备 A 和设备 B 时钟的实际频率是预期频率的  $e_A$  和  $e_B$  倍，那么因为时钟偏差引入的误差  $error$  为：

$$error = \hat{T}_{prop} - T_{prop} \approx \frac{1}{2}(e_B - e_A) \times T_{reply}$$

设备 A 和 B 的时钟偏差都会对  $T_{prop}$  值造成影响，并且直接影响我们的测量精度，因为光速是 30cm/ns，所以很小的时钟偏差也会对测量结果造成很大影响，而且这种影响是 SS 测距方式无法避免的。也因此 SS 测距很少被采用，大部分情况下我们都使用 DS 测距的方式。

clock error $T_{reply}$	2 ppm	5 ppm	10 ppm	20 ppm	40 ppm
211 $\mu$ s total 6.81 Mbps 64 Symbol Preamble 96 $\mu$ s response delay	0.2 ns	0.5 ns	1.1 ns	2.1 ns	4.2 ns
275 $\mu$ s total 6.81 Mbps 128 Symbol Preamble 96 $\mu$ s response delay	0.3 ns	0.7 ns	1.4 ns	2.8 ns	5.5 ns
403 $\mu$ s total 6.81 Mbps 256 Symbol Preamble 96 $\mu$ s response delay	0.4 ns	1 ns	2 ns	4 ns	8 ns

## 5.1.2 UWB 双边测距

<双边测距>具体流程:DS 测距在 SS 测距的基础上增加一次通讯，两次通讯的时间可以互相弥补(因为时间偏移引入的误差)。

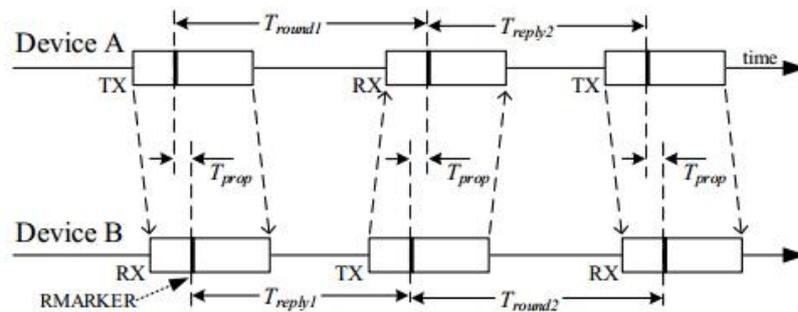


Figure 38: Double-sided Two-way ranging with three messages

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

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 (很差)，1ppm 为百万分之一，那么  $k_a$  和  $k_b$  分别是 0.99998 或者 1.00002， $k_a$  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，可以忽略不计了。因此双边测距是最常采用的测距方式。

## 5.2 UWB 定位原理

通过使用时分多址的管理，使每一个标签与基站进行通讯，从而获得标签与基站的距离值。(管理时间片任务由基站 A0 负责)

$$\text{距离 } d = \text{光速} * \text{时间差}$$

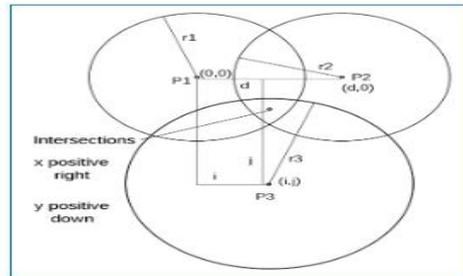
三边测距定位算法原理已知  $A_0(x_1, y_1)$ ,  $A_1(x_2, y_2)$ ,  $A_2(x_3, y_3)$ 。且已知未知点标签  $T_n$  到 3 个坐标的距离值为  $d_1, d_2, d_3$ 。以  $d_1, d_2, d_3$  为半径做三个圆，根据毕达哥拉斯定理，得出焦点及未知点的位置计算公式：

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = d_1^2$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = d_2^2$$

$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_3^2$$

### 解法推导



设未知点位置为  $(x, y)$ ，令其中的第一个球形  $P_1$  的球心坐标为  $(0, 0)$ ， $P_2$  处于相同纵坐标，球心坐标为  $(d, 0)$ ， $P_3$  球心坐标为  $(i, j)$ ，三个球形半径分别为  $r_1, r_2, r_3$ ， $z$  为三球形相交点与水平面高度。则有：

$$r_1^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$r_2^2 = (x - d)^2 + y^2 + z^2$$

$$r_3^2 = (x - i)^2 + (y - j)^2 + z^2$$

当  $z = 0$  时，即为三个圆在水平面上相交为一点，首先解出  $x$ ：

$$x = (r_1^2 - r_2^2 + d^2) / 2d$$

将公式二变形，将公式一的  $z^2$  代入公式二，再代入公式三得到  $y$  的计算公式：

$$y = (r_1^2 - r_3^2 - x^2 + (x - i)^2 + j^2) / 2j$$

从而解算出标签的坐标位置。

## 5.3 基站流程图

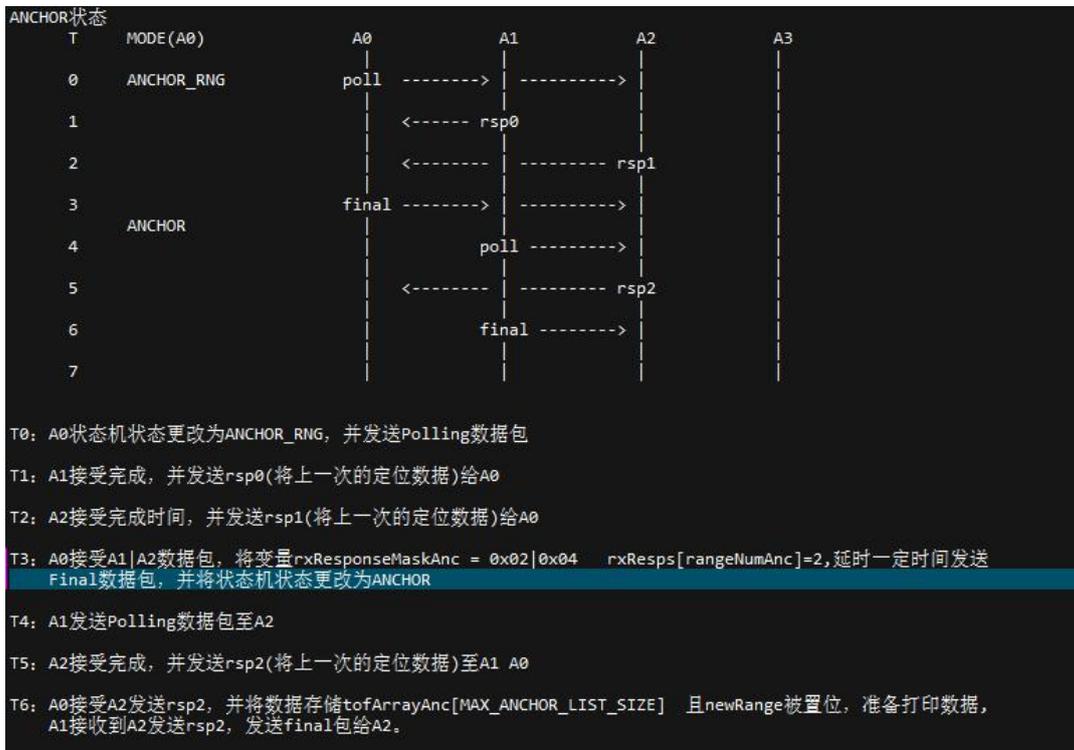


图 23 基站的流程图及文字说明

## 5.4 标签流程图

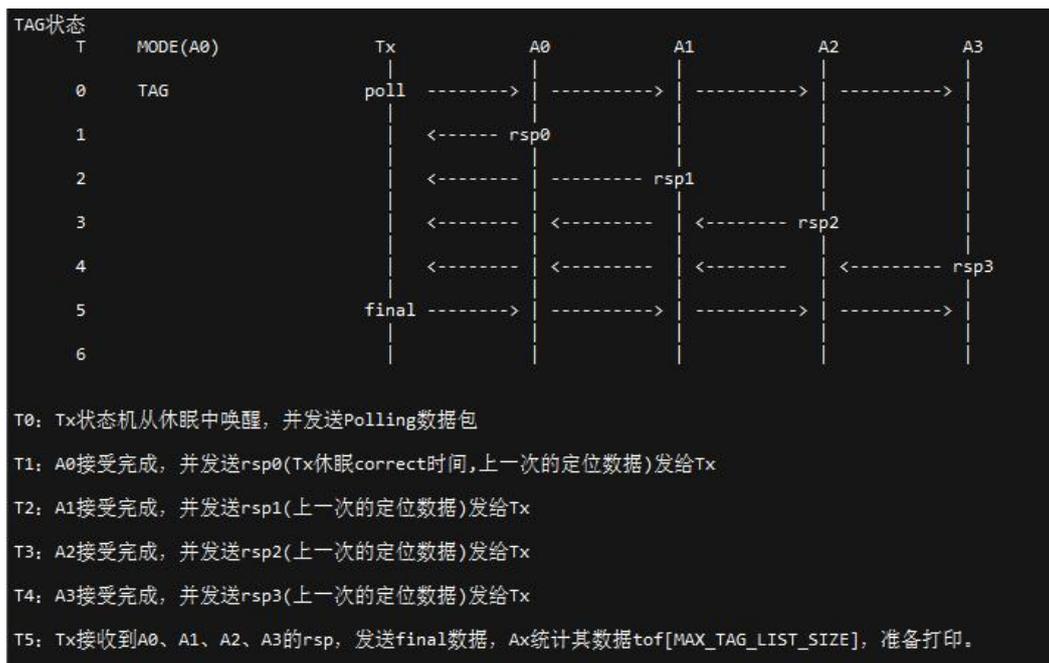


图 24 标签的流程图及文字介绍

## 6. 常见问题

### 6.1 学习 UWB 需要哪些知识储备

序号	硬件方面	软件方面
1	学习使用 C 语言开发	学习 C++语言
2	学习使用 STM32(SPI USART USB) 开发	学习 QT 上位机开发应用
3	学习使用 Keil 开发平台/调试	

表 10 UWB 学习知识储备

### 6.2 学习 UWB 需要哪些开发工具

序号	软件	作用
1	Keil	开发 STM32
2	XCOM 串口调试助手	调试串口
3	ST-LINK Utility	下载固件
4	QT	上位机开发(可选)

表 11 UWB 开发工具

### 6.3 UWB 数据精度如何

使用波形检测上位机采集得到下图结果：

红色波形:UWB 原始数据其上下波动 152mm

白色波形:UWB 经算法滤波数据其上下波动 81mm

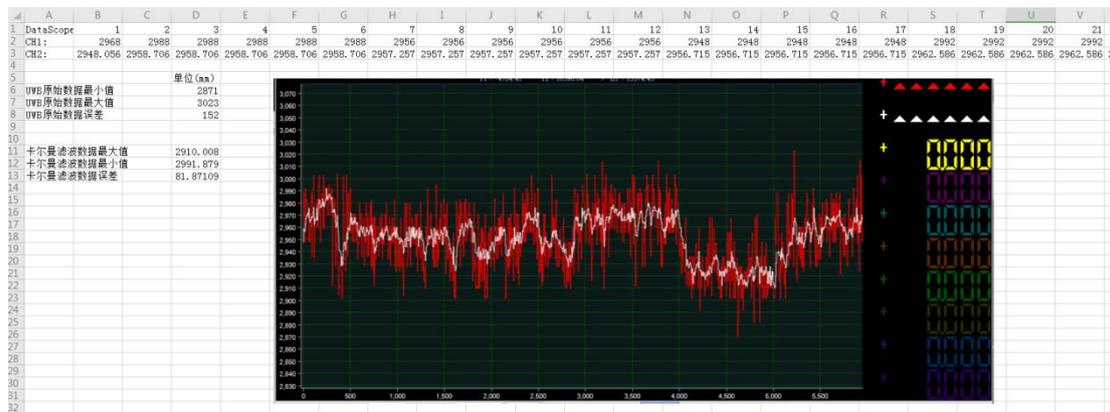


图 25 UWB 波形显示

波形检测上位机在文档<4. UWB 测距波形分析>目录下。

## 6.4 UWB 模块测量时数据抖动

- 1、检查安装环境，导电物体与物体阻挡会影响测距定位误差。
- 2、保证基站 30cm 内无遮挡。
- 3、选择空旷环境搭建测试。

## 6.5 UWB 模块测量值与实际值误差很大原因

这是由于，我们使用的现场，环境都是不同的，受经纬度、空气质量、环境障碍物、海拔等等因素干扰，所以在产品化的进程中，必须要对模块进行校准，一般情况下仅需对输出距离值基站/标签进行校准。利用 Microsoft 2016 Excel 软件，进行数据拟合，并生成拟合公式。拟合公式有很多，最简单的是线性方程。

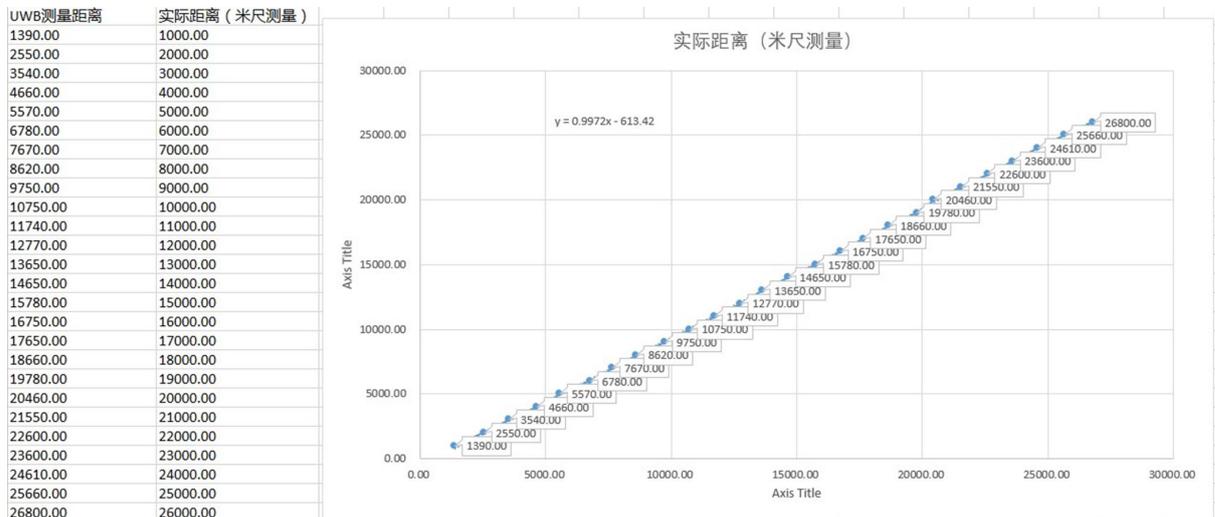


图 26 标定 excel

标定方法有两种

- 1、上位机写入标定参数
- 2、下位机写入标定参数

### 6.5.1 上位机标定

查看 3.6.4 节参数配置界面，填入 excel 获取的 a,b 系数，然后点击<设定标定系数>即可。

系数a:	<input type="text"/>
系数b:	<input type="text"/>
当前系数a:	1.0
当前系数b:	0.0
<input type="button" value="设置标定系数"/>	

图 27 上位机标定截图

### 6.5.2 下位机标定

查看 3.4.1 节串口输入(AT 配置命令)中的命令(AT+DMC=a:X.XXXXX,b:XXX.XX)进行配置。

AT+DMC=a:X.XXXXX,b:XXX.XX	配置模块校正参数 (配置完成复位生效)	AT+DMC=[a:+0.9972,b:+613.42] (注释:a,b 系数必须 6 个字节, 含小数点, 首位必须为+/-) OK+DMC=[a:+0.9972,b:+613.42]
AT+DMC_R?	读取模块校正参数	AT+DMC_R? AT+DMC_R=[a:+0.9972,b:+613.42]

图 28 下位机标定 AT 命令截图