

久凌电子 UWB-S 系列

使用说明书 V3.0.2

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
20210101	V2.0.1	增加 S1-SMA 系列	JLDianz
20210317	V2.0.2	1. 支持 8 基站 8 标签 2. 增加串口命令 3. 完善上位机(一维, 二维, 三维)	Jerry
20211018	V3.0.0	1. 增加串口命令 2. 修改上报数据 3. 增加硬件卡尔曼滤波 4. 增加硬件三边定位算法 5. 增加透传命令 6. 增加底层参数(信号参数)	JLDianz
20211103	V3.0.1	1. 修改 HEX 格式输出 2. 修改笔误	JLDianz
20220112	V3.0.2	1. 修改串口命令笔误 2. 增加成品标签命令	Jerry

目录

1. 手册简介.....	4
1.1 手册目标和范围.....	4
1.2 手册适用久凌硬件设备及参数介绍.....	4
1.3 手册术语和缩写.....	5
2. UWB-S 系列硬件说明.....	5
2.1 系统搭建说明.....	5
2.2 硬件接口说明.....	6
2.2.1 固件升级/在线调试 连接方法.....	7
2.2.2 TTL 串口连接方法.....	8
2.2.3 Micro USB 连接方法.....	9
2.3 串口协议说明.....	9
2.3.1 串口输入(AT 命令).....	9
2.3.2 串口输出.....	11
3. UWB-S 系列上位机说明.....	13
3.1 基站栏区域.....	13
3.2 标签栏区域.....	14
3.3 主界面显示区域.....	14
3.4 设置区域.....	15
3.4.1 功能设置.....	15
3.4.2 平面图显示设置.....	16
3.4.3 网格设置.....	16
3.4.4 串口配置.....	17
3.4.5 网络配置.....	18
4. UWB-S 系列测距/定位原理.....	18
4.1 UWB 测距的原理.....	18
4.1.1 UWB 单边测距.....	18
4.1.2 UWB 双边测距.....	19
4.2 UWB 定位原理.....	20
4.3 基站软件流程图(测距).....	21
4.4 标签软件流程图(测距).....	22
5. 常见问题.....	23
5.1 学习 UWB 需要哪些知识储备.....	23
5.2 学习 UWB 需要哪些开发工具.....	23
5.3 UWB 数据精度如何.....	23
5.4 UWB 模块测量时数据抖动.....	24
5.5 UWB 模块测量值与实际值误差很大原因.....	24

1. 手册简介

1.1 手册目标和范围

<UWB-S 系列使用手册>描述了我司研发的 UWB 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 手册适用久凌硬件设备及参数介绍

久凌电子 S 系列 UWB 套件参数			
产品图片			
产品型号	UWB-S1-CA	UWB-S1-SMA	UWB-S1-Pro
供电接口	MicroUSB(5v)/插针	USB(5v)	MicroUSB(5v)/插针
输出接口	USART/USB 虚拟口	USART-TTL 电平	USART/USB 虚拟口
工作频率	3.2GHz-6.9GHz	3.2GHz-6.9GHz	3.2GHz-6.9GHz
测距距离	50 米(空旷视距)	100 米(空旷视距)	600 米(空旷视距)
产品尺寸	40mm*26mm*4mm	84mm*25mm*12mm	55mm*26mm*4mm
天线性质	定向陶瓷天线	全向外置天线	全向外置天线
发射功率	-35~-62dbm/Mhz	-35~-62dbm/Mhz	-22dbm/Mhz(可调)
定位精度	定位误差: X 轴 Y 轴(+/-10 厘米)		
测距精度	测距精度(+/-5 厘米)		
PCB 工艺	高频板材 4 层板工艺		
通信速率	110Kbps/6.8Mbps		
下载接口	SWD 接口(ST-Link)		
主控芯片	STM32F103 系列(STM32F103C8T6)		
硬件角色	基站/标签硬件一体设计, 可通过 AT 命令灵活配置		
开源程度	全开源		
工作温度	负 20 到 60 摄氏度		

表 1 UWB-S 系列 UWB 套件参数

1.3 手册术语和缩写

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/Transmitter	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 2 术语与缩写

2. UWB-S 系列硬件说明

本套件默认支持 8 基站 10 标签(可通过 AT 命令修改), 可进行零维/一维/二维/三维定位
(注: 以下使用 UWB-S1-CA 为例, 其余硬件平台完全相同)。

- 零维定位: 所需基站数 1 个
- 二维定位: 所需基站数 3-8 个
- 三维定位: 所需基站数 6-8 个

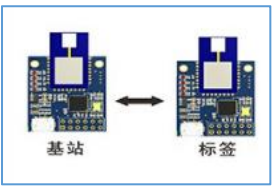


久凌电子 S 系列 UWB 套件定位效果最小系统			
产品图片			
设备数量	2 个硬件	5 个硬件	7 个硬件
配置角色	1 基站 1 标签	4 基站 1 标签	6 基站 1 标签
实现效果	零维定位 (一对一测距)	二维定位	三维定位

表 3 UWB-S 系列定位最小系统说明

2.1 系统搭建说明

系统搭建详细步骤, 请参考视频<UWB 快速系统搭建.avi>, 这里不再进行详细描述。

2.2 硬件接口说明

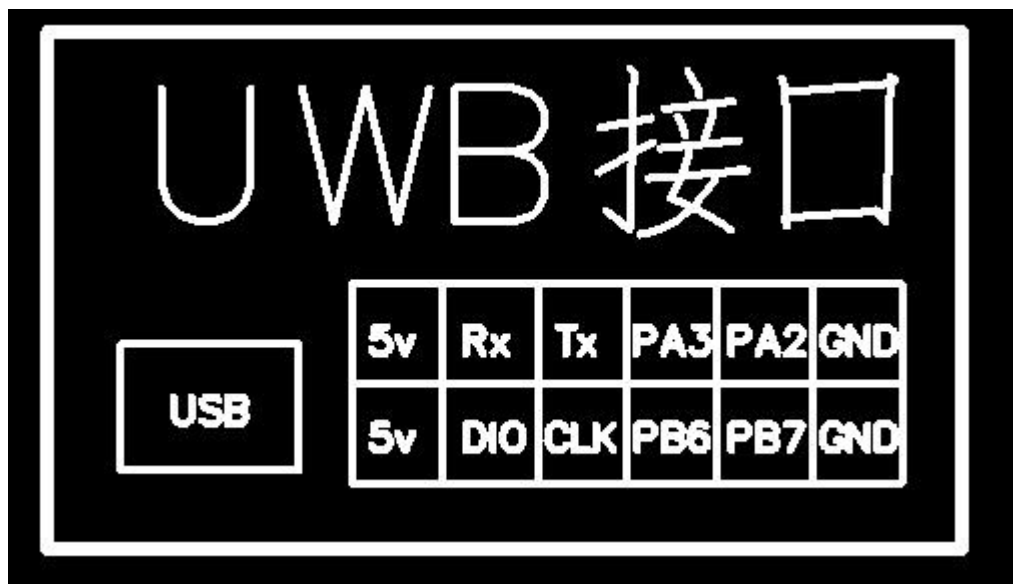


图 1 IO 口(UWB-S1-CA 开发板)图

UWB-S1-CA 开发板	IO 口说明
PA2	预留
PA3	预留
PA9TX	串口 TX(2.2.2 节)
PA10RX	串口 RX(2.2.2 节)
PB7	预留
PB6	预留
SWCLK	SWD 下载方式: SWCLK(2.2.1 节)
SWDIO	SWD 下载方式: SWDIO(2.2.1 节)
GND	电源负极
5V	电源正极 5V

表 4 IO 口(UWB-S1-CA 开发板)对应表

2.2.1 固件升级/在线调试 连接方法

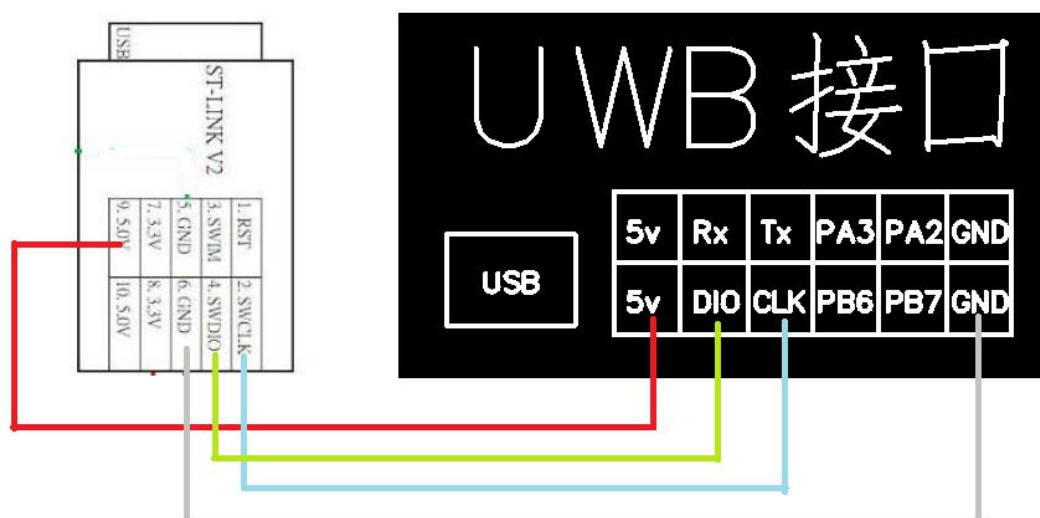


图 2 固件下载 ST-link 接法

UWB-S 系列开发板	ST-LINK
GND	GND
SDIO	SWDIO
SCLK	SWCLK
5V	5V

表 5 固件下载 ST-link 接法表

2.2.2 TTL 串口连接方法

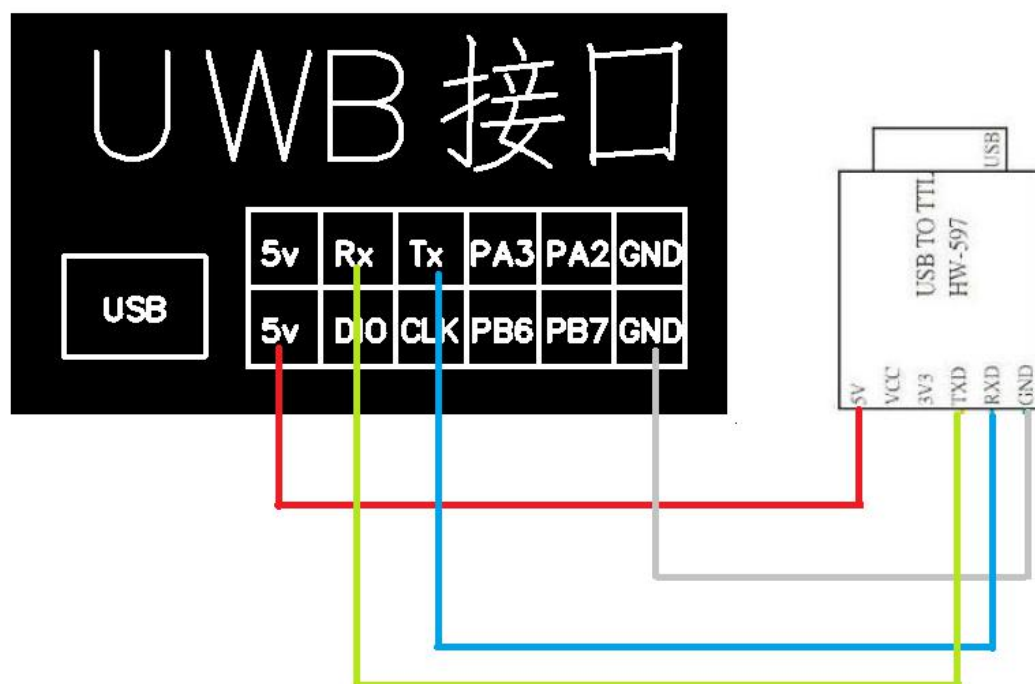


图 3 TTL 串口接法

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

表 6 TTL 串口接法表

2.2.3 Micro USB 连接方法

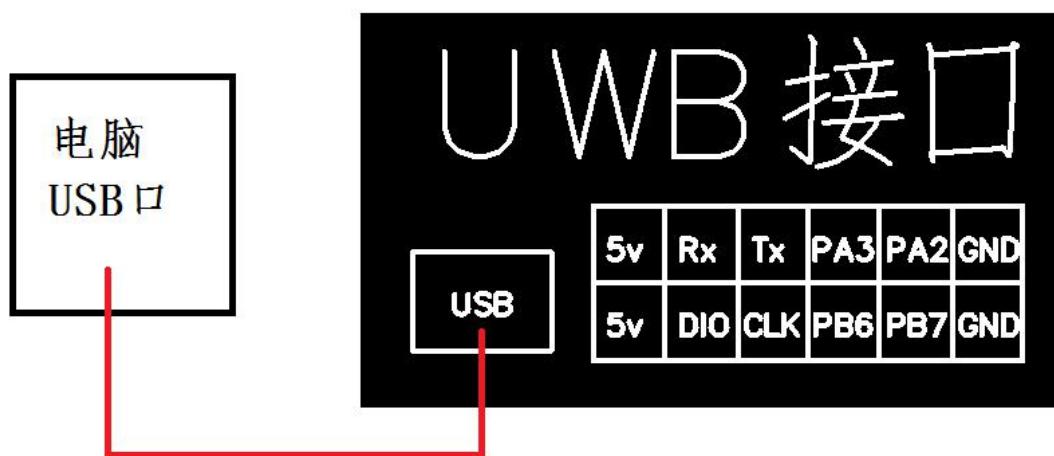


图 4 Micro USB 接法

2.3 串口协议说明

2.3.1 串口输入(AT 命令)

UWB-S 系列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，可通过上位机串口助手进行配置(TTL 串口配置：波特率:115200、数据位:8、停止位:1、校验位:无、流控:无)。

AT 命令集如下

AT 命令集 (软件版本 3.0.0 之后支持)	含义	示例
help	帮助	获取命令列表
save	保存配置	save ok
getver	获取版本号	getver getver software:v02_00_001, hardware:v02_00_000
restart	重新启动	restart ok
restore	恢复出厂模式	restore ok
setcfg (x1) (x2) (x3) (x4)	设置配置信息 (配置完成后注意 save 保存)	setcfg 5 1 0 1 ok x1: 设备 ID (0~10) x2: 设备角色 (0: 标签 1: 基站) x3: 设备信道 (0: 信道 2 1: 信道 5)

		x4:设备速率(0:110K 1:6.8M)
getcfg	获取配置信息	
setcoord (x1) (x2) (x3) (x4)	设置基站坐标地址	setcoord 5 0.00 5.00 3.00 ok x1:设置基站设备 ID(基站的 ID) x2:设备基站 x 轴(单位 m, 两位小数) x3:设备基站 y 轴(单位 m, 两位小数) x4:设备基站 z 轴(单位 m, 两位小数)
getcoord	获取基站坐标地址	
setdev (x1) (x2) (x3) (x4) (x5) (x6) (x7) (x8) (x9)	设置设备的系数	setdev 10 16418 1 0.018 0.542 1.0000 0.00 0 0 ok x1:标签容量(标签刷新速率) x2:天线延迟参数 x3:是否卡尔曼滤波使能位(0:关闭 1:开启) x4:卡尔曼滤波参数 Q x5:卡尔曼滤波参数 R x6:校正参数 a x7:校正参数 b x8:是否定位使能位(0:关闭 1:开启) x9:定位维度设置(0:无效 1:二维 2:三维)
getdev	获取设置的系数	
sendcmd (x1) (x2) (x3)	写入透传命令	sendcmd ffff 1 12 ok x1:透传的地址 x2:保留参数 x3:透传的数据
settag (x1) (x2) (x3) (x4)	写入特殊指令 (手环/胸卡/安全帽)	settag 90 110 100 1 ok x1:加速度传感器最小值 x2:加速度传感器最大值 x3:加速度符合 x1, x2 次数(0:不休眠 1-250:休眠) x4:保留
gettag	读取特殊指令 (手环/胸卡/安全帽)	

表 7 设备 AT 命令集

2.3.2 串口输出

UWB-S 系列可输出多种数据格式(可通过修改软件实现,默认 HEX 格式数据输出),例如

- 1、JSON 数据输出距离原始数据
- 2、JSON 数据输出距离滤波数据
- 3、JSON 数据输出定位数据
- 4、HEX 格式数据输出(上位机适配, 出厂默认)
- 5、自定义数据输出(详情参考《<定位系统>双边测距(多对多)原理介绍.pdf》)

字段	字节数	含义(低位在前)
head	6Byte	固定"CmdM: 4"
len	1Byte	<timer-Pos_TagZ>的长度
Timer	4Byte	标签测距时间
Tagid	2Byte	标签地址
Ancid	2Byte	基站地址
Seq	1Byte	标签测距序列号
Mask	1Byte	标签测距有效位
Rawrange0-7	32Byte	标签测距原始数据(标签-基站 0) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 1) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 2) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 3) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 4) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 5) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 6) 4 字节 标签测距原始数据(标签-基站 7) 4 字节
Kalman_enable	1Byte	是否开启距离滤波标志位
Kalmanange0-7	32Byte	标签测距滤波数据(标签-基站 0) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 1) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 2) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 3) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 4) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 5) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 6) 4 字节 标签测距滤波数据(标签-基站 7) 4 字节
Pos_enable	1Byte	是否开启硬件定位标志位

		请谨慎开启该功能(非常耗时),建议开启条件 1.标签端开启 2.基站端开启(标签数量不超过1个)
Pos_dimen	1Byte	开启硬件定位 定位维度 二维:1 三维:2
Pos_Ancmask	1Byte	硬件定位 基站有效位
Pos_Tag_Res	1Byte	标签定位结果
Pos_TagX	4Byte	标签定位结果 X 轴数据
Pos_TagY	4Byte	标签定位结果 Y 轴数据
Pos_TagZ	4Byte	标签定位结果 Z 轴数据
Check	1Byte	校验位(Xor)
Foot	1Byte	固定”\r\n”

表 8 HEX 格式输出命令定义表

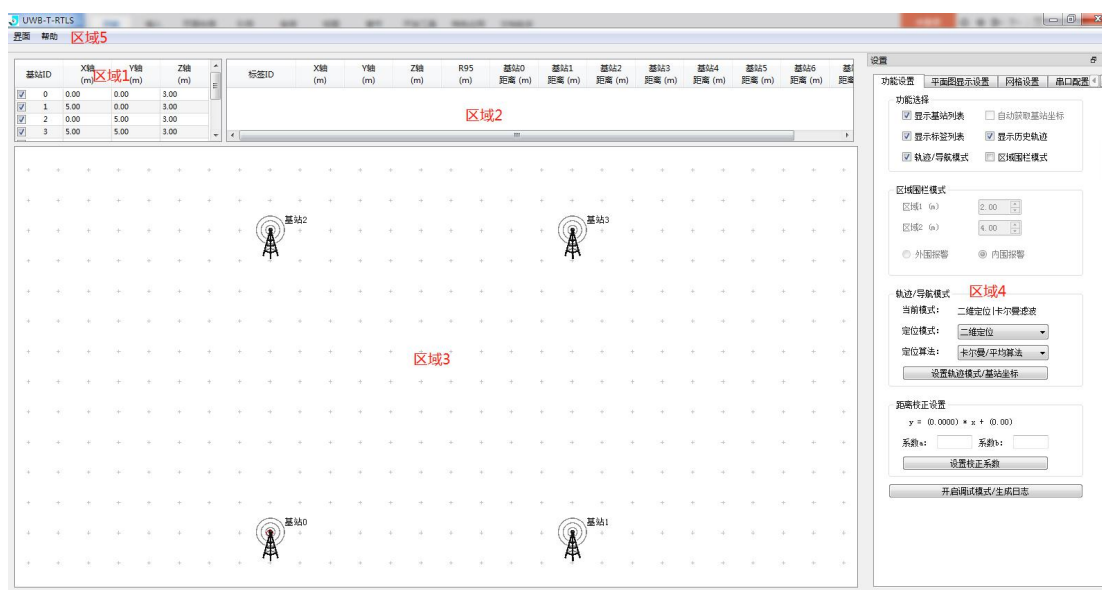
Hex 格式结构体定义

```
#pragma pack(push,1)
typedef struct
{
    uint32_t timer;
    uint16_t tagid;
    uint16_t ancid;
    uint8_t seq;
    uint8_t mask;
    int rawrange[8];
    bool kalman_enable;
    int kalmanrange[8];
    bool pos_enable;
    uint8_t dimen;
    uint8_t ancmask;
    bool Coord_valid;
    struct{
        float x;
        float y;
        float z;
    }pos_loc;
}General_t;//General_variable;
#pragma pack(pop)
```

表 9 Hex 格式结构体

3. UWB-S 系列上位机说明

本章节描述上位机界面和使用，用户首次打开会出现如下界面



- 区域 1：基站栏区域
- 区域 2：标签栏区域
- 区域 3：主界面显示区域
- 区域 4：设置区域

3.1 基站栏区域

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	5.00	0.00	3.00
<input checked="" type="checkbox"/> 2	5.00	5.00	3.00
<input checked="" type="checkbox"/> 3	0.00	5.00	3.00

- 基站 ID：基站的编号
- X 轴(m)：基站的 x 轴相对坐标(手工输入)

- Y 轴(m): 基站的 y 轴相对坐标(手工输入)
- Z 轴(m): 基站的 z 轴相对坐标(手工输入)

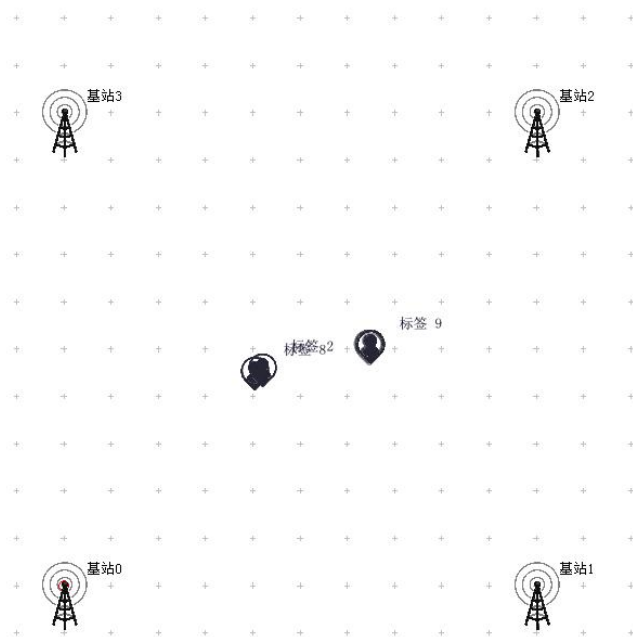
3.2 标签栏区域

	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)	基站4 距离 (m)	基站5 距离 (m)	基站6 距离 (m)	基站7 距离 (m)
1	<input type="checkbox"/> 标签 8	2.163	2.417	0.000	<input type="checkbox"/>	1.480	2.444	2.522	1.859				
2	<input type="checkbox"/> 标签 9	3.327	2.624	0.000	<input type="checkbox"/>	3.106	0.500	0.589	2.724				
3	<input type="checkbox"/> 标签 2	2.256	2.453	0.000	<input type="checkbox"/>	1.621	2.407	2.355	1.924				

- 标签 ID: 标签的编号
- X 轴(m): 标签的 x 轴相对坐标(上位机解算坐标值)
- Y 轴(m): 标签的 y 轴相对坐标(上位机解算坐标值)
- Z 轴(m): 标签的 z 轴相对坐标(上位机解算坐标值)
- R95(m): 统计学参数
- 基站 0 距离(m): 标签与基站 0 的距离值(原始距离数据)
- 基站 1 距离(m): 标签与基站 1 的距离值(原始距离数据)
- 基站 2 距离(m): 标签与基站 2 的距离值(原始距离数据)
- 基站 3 距离(m): 标签与基站 3 的距离值(原始距离数据)
- 基站 4 距离(m): 标签与基站 4 的距离值(原始距离数据)
- 基站 5 距离(m): 标签与基站 5 的距离值(原始距离数据)
- 基站 6 距离(m): 标签与基站 6 的距离值(原始距离数据)
- 基站 7 距离(m): 标签与基站 7 的距离值(原始距离数据)

3.3 主界面显示区域

标签与基站相对位置界面显示区域



3.4 设置区域

3.4.1 功能设置

功能设置
平面图显示设置
网络设置
串口配置

功能选择

☒ 显示基站列表
☐ 自动获取基站坐标

☒ 显示标签列表
☒ 显示历史轨迹

☒ 轨迹/导航模式
☐ 区域围栏模式

区域围栏模式

区域1 (m) 2.00

区域2 (m) 4.00

☐ 外围报警
☒ 内围报警

轨迹/导航模式

当前模式: 二维定位 | 平滑滤波

定位模式: 二维定位

定位算法: 平滑滤波算法

设置轨迹模式/基站坐标

距离校正设置

$y = (0.9972) * x + (-672.11)$

系数a: 系数b:

设置校正系数

开启调试模式/生成日志

- 显示基站列表
- 显示标签列表

- 自动获取基站坐标(仅基站0-基站1-基站2有效,通常不使用)
- 显示历史轨迹
- 导航模式/围栏模式
- 距离校正参数设置

3.4.2 平面图显示设置



- 打开/清除: 上传/删除平面图
- 保存: 当上位机被关闭时将自动加载
- X 偏移: 原点(0,0)点到图像原点的 X 轴位置。
- Y 偏移: 原点(0,0)点到图像原点的 Y 轴位置。
- X 比例: 用于管理图像中多少像素, 实际对应水平方向比例
- Y 比例: 用于管理图像中多少像素, 实际对应垂直方向比例
- 翻转 X: 沿水平方向翻转图像
- 翻转 Y: 沿垂直方向翻转图像
- 设置原点: 在平面图中设置 0,0 坐标
- 设置 X 比例: 设置 X 轴比例
- 设置 Y 比例: 设置 Y 轴比例

3.4.3 网格设置



- 显示网格：是否在主界面显示区域显示网格

3.4.4 串口配置



串口配置界面包含以下配置项：

- 端口号：COM815
- 搜索串口
- 打开串口
- 软件版本：v03_00_001
- 读取版本
- 硬件版本：v01_00_000
- 读取配置
- 设备角色：基站
- 写入配置
- 设备ID：编号0
- 设备复位
- 空中信道：信道5
- 保存配置
- 空中速率：6.8M
- 帮助
- 天线延迟：0
- 恢复出厂模式
- 更多串口参数配置

- 串口设置(搜索串口、打开串口)
- 模块配置(读取版本、读取配置、写入配置、设备复位、保存配置、帮助、恢复出厂模式)
- 更多串口参数配置(配置模块时建议使用)

此界面(调试助手界面),显示的XYZ轴坐标数据均为硬件产生,与3.2节标签栏中不同



UWB调试助手界面包含以下配置项：

- 串口设置
 - 端口号：COM815
 - 波特率：115200
 - 数据位：8
 - 校验位：None
 - 停止位：1
 - 流控：None
 - 串口状态
 - 串口打开状态：[红色指示灯]
 - 搜索串口
 - 打开串口
 - 操作状态：3、打开串口
- 配置参数
 - 模式参数
 - 设备角色：标签
 - 设备ID：编号0
 - 空中信道：信道2
 - 空中速率：110K
 - 设备参数
 - 校正系数a：0.9968
 - 校正系数b：0.00
 - 天线延迟：16418
 - 标签数里：10
 - 版本参数
 - 硬件版本：v01_00_000 (xPA)
 - 软件版本：v03_00_001
 - 滤波参数
 - 是否开启硬件距离滤波：[勾选]
 - 滤波系数Q：0.018
 - 滤波系数R：0.542
 - 定位参数
 - 是否开启硬件坐标计算：[未勾选]
 - 定位模式：未设置
- 基站坐标表

基站ID	X轴 (m)	Y轴 (m)	Z轴 (m)
基站0	0.00	0.00	3.00
基站1	5.00	0.00	3.00
基站2	5.00	5.00	3.00
基站3	0.00	5.00	3.00
基站4	0.00	0.00	3.00
基站5	0.00	2.00	3.00
基站6	0.00	0.00	3.00
基站7	6.00	2.00	3.00
- 操作按钮
 - 写入所有配置
 - 读取所有配置
 - 配置保存
 - 恢复出厂模式

注一：此界面的所有参数均来自硬件内部
注二：同套设备中三个参数必须相同
1. [空中信道] 2. [空中速率] 3. [标签数里]

3.4.5 网络配置



- 手动开启服务器功能(可选择自动开启)
- 手动连接服务器功能(可选择自动连接)

4. UWB-S 系列测距/定位原理

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。

4.1 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)，另外一种为 DS 测距(Double-sided Two-way Ranging)。

4.1.1 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。

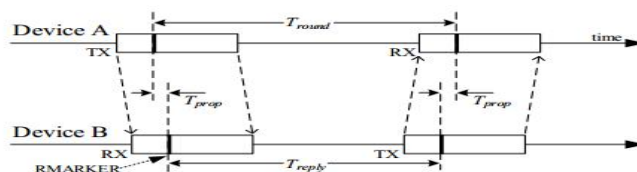


Figure 36: Single-sided Two-way ranging

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

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

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

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 μs total 6.81 Mbps 64 Symbol Preamble 96 μ s response delay	0.2 ns	0.5 ns	1.1 ns	2.1 ns	4.2 ns
275 μs total 6.81 Mbps 128 Symbol Preamble 96 μ s response delay	0.3 ns	0.7 ns	1.4 ns	2.8 ns	5.5 ns
403 μs total 6.81 Mbps 256 Symbol Preamble 96 μ s response delay	0.4 ns	1 ns	2 ns	4 ns	8 ns

4.1.2 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)。

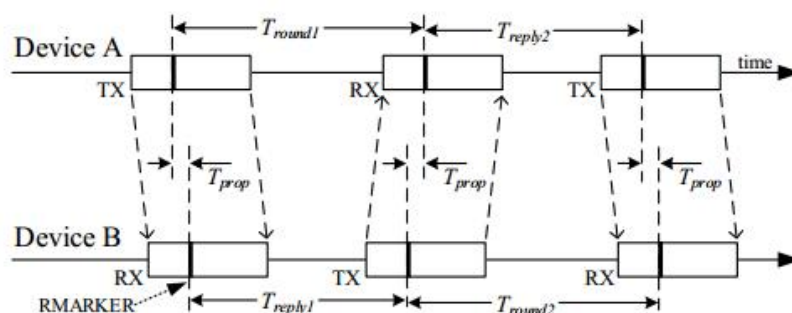


Figure 38: Double-sided Two-way ranging with three messages

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

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 Ka 和 Kb 分别是 0.99998 或者 1.00002，ka 和 kb 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。

4.2 UWB 定位原理

三边定位算法原理：已知 3 个基站的坐标 $A_0(x_1, y_1)$, $A_1(x_2, y_2)$, $A_2(x_3, y_3)$, 且已知待测标签 $Tn(x_0, y_0)$ 到 3 个基站的距离值分别为 d_1, d_2, d_3 。

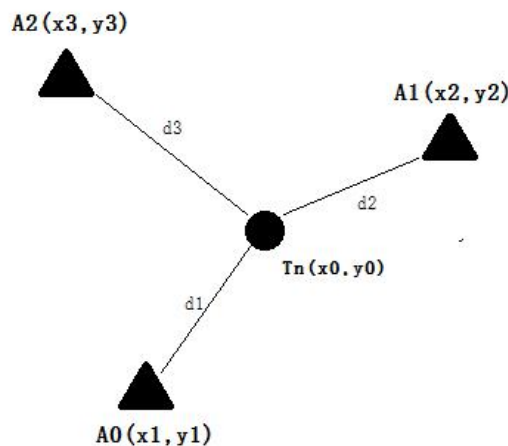


图 5 三边定位算法示意图

二维定位情况下，根据毕达哥拉斯定理(勾股定理)得到待测标签 Tn 及焦点的位置计算公式如下：

$$\begin{aligned}(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= d_1^2 \\(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 &= d_2^2 \\(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 &= d_3^2\end{aligned}$$

理想场景下：标签 Tn 到达基站 A_0, A_1, A_2 的距离值都是精准，及这时标签 Tn 有且仅有一个正确的解，如图红点所示。

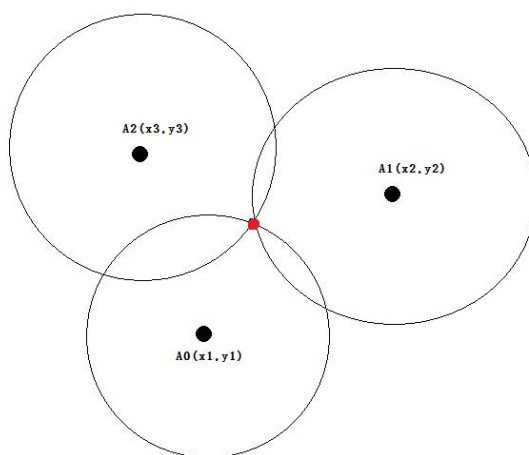


图 6 理想场景

真实场景下：真实的测距是存在误差的，产生误差的原因包括测距本身的误差和实际场景中遮挡或者金属等原因影响到电磁波的穿透性和传输效果从而产生的误差，但该误差为正向误差，及测量值比实际偏大，则形成了如下图所示的效果，解算的 T_n 坐标不再是一点，而是一个区域，因此我们需要在如下红色区域查找一个最优解。

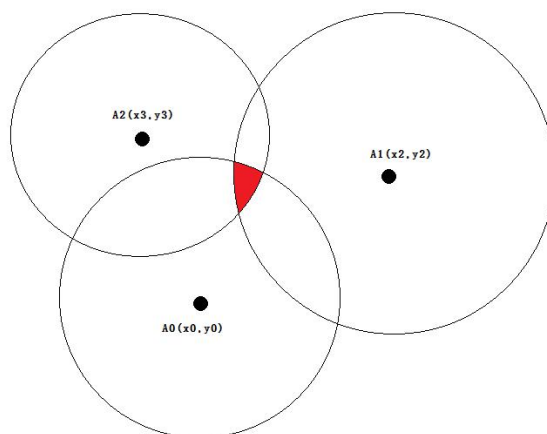


图 7 真实场景

针对上图真实场景存在的问题，学术上有众多算法来优化该现象，例如最小二乘法、三角形质心法、加权三边算法等。

4.3 基站软件流程图(测距)

详情请参考文档《<定位系统>双边测距(多对多)原理介绍.pdf》

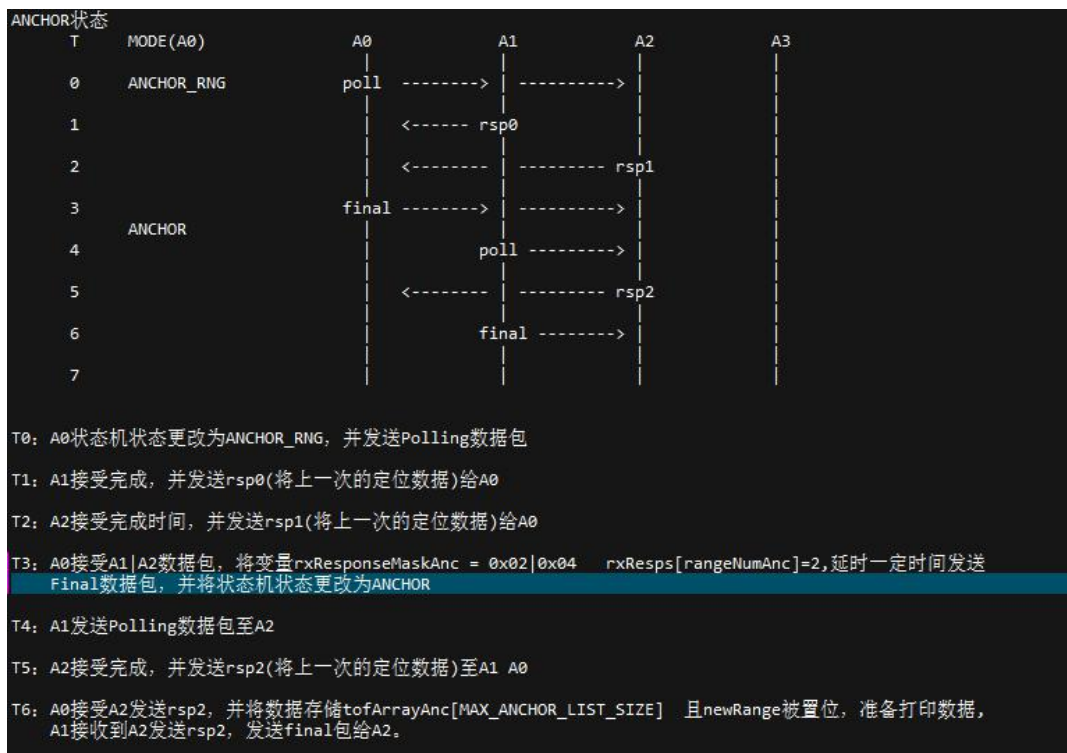


图 8 基站的流程图及文字说明

4.4 标签软件流程图(测距)

详情请参考文档《<定位系统>双边测距(多对多)原理介绍.pdf》

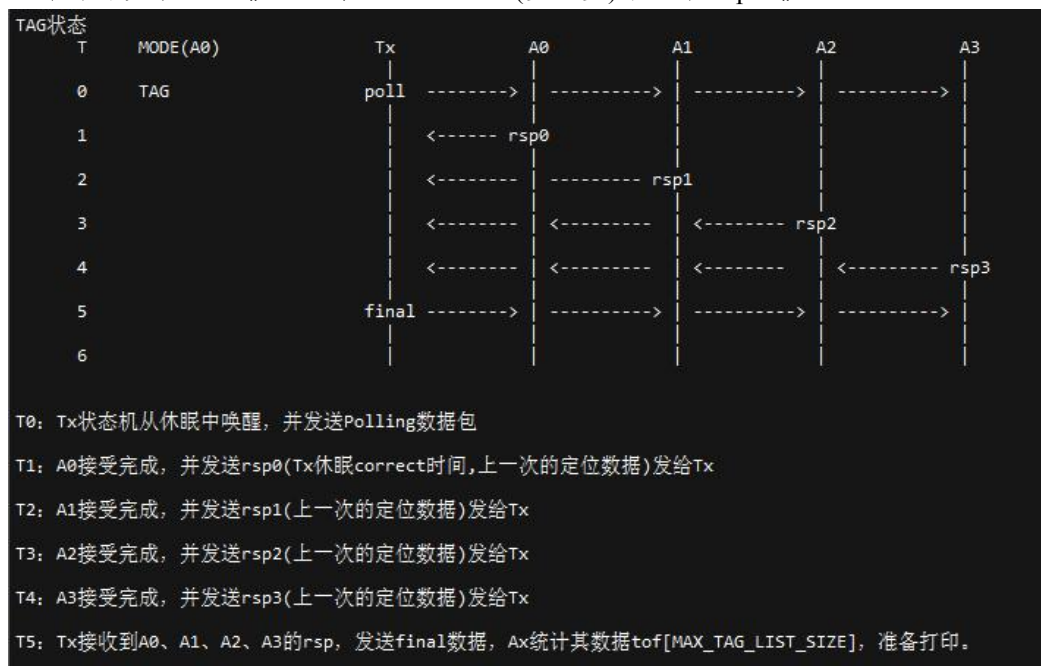


图 9 标签的流程图及文字介绍

5. 常见问题

5.1 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

5.2 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

5.3 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

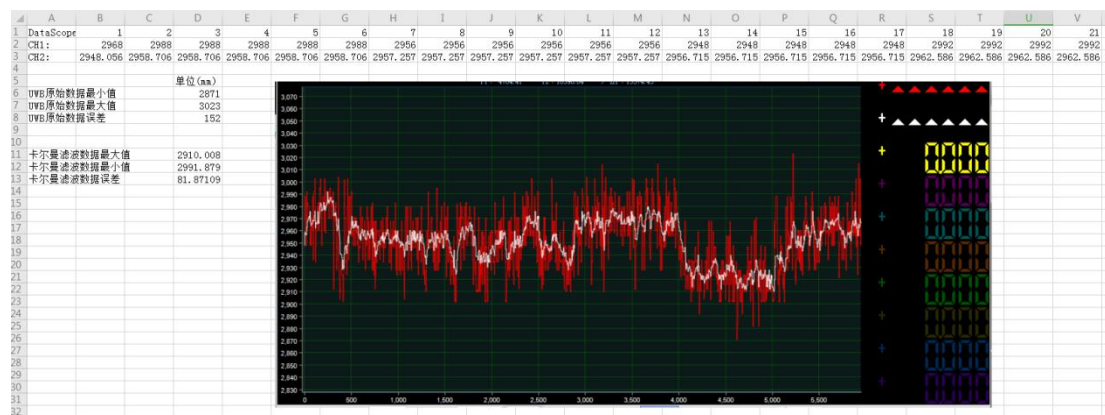


图 10 UWB 波形显示

波形检测上位机在文档<4. UWB 测距波形分析>目录下。

5.4 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。

5.5 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。

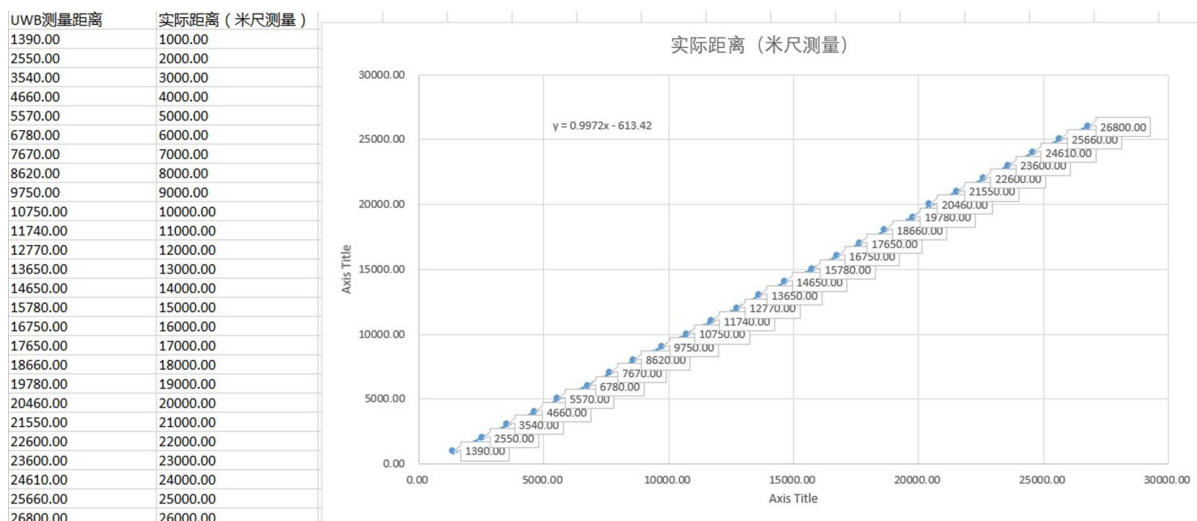


图 11 标定 excel