

SUN209x 矿用精确定位 UWB-SOC

ZHCS9091C –JANUARY 2019–REVISED OCTOBER 2021

目录

1	特性 FEATURES	3
2	应用范围 APPLICATIONS	3
3	说明 DESCRIPTION	3
4	修订历史记录 REVISION	4
5	基本应用 TYPICAL APPLICATION	5
6	原理框图 FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM	6
6.1	SUN2090	6
6.2	SUN2091	6
7	引脚定义与功能 PIN CONFIGURATION AND FUNCTIONS	7
7.1	SUN2090	7
7.2	SUN2091	7
7.3	SUN2090 PIN FUNCTIONS	8
7.4	SUN2091 PIN FUNCTIONS	9
8	电气特性 ELECTRICAL SPECIFICATIONS	10
8.1	标称工作条件 NOMINAL OPERATING CONDITIONS	10
8.2	SUN2090 DC CHARACTERISTICS	10
8.3	SUN2091 DC CHARACTERISTICS	10
9	典型性能 TYPICAL PERFORMANCE	11
10	机械、封装信息 PACKAGE INFORMATION	12
10.1	SUN2090	12
10.2	SUN2091	12
11	SUN2091 焊接炉温曲线 MANUFACTURING PROCESS RECOMMENDATIONS	13
12	ADDITIONAL INFORMATION 1:SUN209X DETAILED DESCRIPTION 定位方案描述	14
12.1	定位模式比较	14
12.1.1	测距方式	14
12.1.2	TOF 分析	14
12.1.3	TDOA 分析	15
12.1.4	TDOA 问题	16

12.1.5	反向式 TDOA (R-TDOA)的优点.....	16
12.2	SUN209x 工作流程与运行方式	17
12.2.1	基站自组网、自动测距.....	17
12.2.2	系统时钟同步.....	17
12.2.3	基站分时工作.....	17
12.2.4	标签定位与上报.....	18
12.3	网络分支.....	18
12.4	系统容量.....	19
12.5	防遮挡.....	19
12.6	标签功耗分析.....	20
12.6.1	基本参数:	20
12.6.2	功耗曲线:	20
12.6.3	计算结果: >400 天.....	22
12.7	测试环境.....	22
12.8	测距误差.....	23
13	ADDITIONAL INFORMATION2: 配套定向平板天线.....	24
13.1	特点 FEATURE:	24
13.2	应用 APPLICATION:	25
13.3	安装示意图.....	26
13.4	安装说明.....	26
14	ADDITIONAL INFORMATION3: 标签电池选型推荐.....	27
14.1	一次性电池.....	27
14.2	可充电电池.....	27
15	联系我们.....	28

1 特性 FEATURES

- ◆ 反向式 TDOA (R-TDOA)算法，更精准
- ◆ 无惧单向遮拦，定位更可靠
- ◆ 超强能耗管理，标签电池续航时间>400 天
- ◆ 通讯距离>600m
- ◆ 基站自动组网、自动测距
- ◆ 全网时钟自动同步
- ◆ 无盲区天线双边判断
- ◆ 并发标签数:120 张/2s/基站

2 应用范围 APPLICATIONS

- ◆ 煤矿人员定位
- ◆ 煤矿车辆定位
- ◆ 其它需要精确定位的场所

3 说明 DESCRIPTION

SUNBIRDIC 的 SUN209x-UWB-SOC 模组，严格按照最新版本《煤矿井下人员定位系统安全技术要求》进行设计和生产。

SUN209x-UWB-SOC 模组采用软硬件一体化设计，用户无需关心复杂的算法、调度逻辑与通讯，只需要通过简单的 TTL RS232 串口，即可以获取相关的移动标签位置信息；

SUNBIRDIC 也提供基站与标签外围电路的参考设计，用户可根据自己的标签与基站外壳结构进行相应的 PCB 设计。

SUN2091 标签 SOC 模块内置求救、呼叫等功能；SUNBIRDIC 提供简便的标签号写入功能以便于用户批量生产。

SUN2090 基站 SOC 采用串口方式与基站底板通讯，提供当前的标签信息，并接收类如呼叫等指令。

SUN209x SOC 采用单电压供电方式，SUN2090 输入电压范围为 4.5-5.5V，SUN2091 输入电压范围为：2.8 至 4.2V。

SUN209x SOC 均采用工业级器件，额定运行温度范围为 -40℃ 至 85℃。

SOC 信息⁽¹⁾

SOC 型号	名称	封装	封装尺寸
SUN2090	基站 SOC 模组	2 组 2x5 间距 2.0 排针	64mm x 46mm
SUN2091	标签 SOC 模组	三边邮票孔	46mm x 20mm

(1)详细的封装信息，请参见本文档的[机械、封装信息]

4 修订历史记录 Revision

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

Changes from Revision B (February 2020) to Revision C (October 2021)

- ◆ 已更改 特性
- ◆ 已添加 机械、封装信息

Changes from Revision A (January 2019) to Revision B (February 2020)

- ◆ 已添加功能配置、特性描述部分，应用部分
-

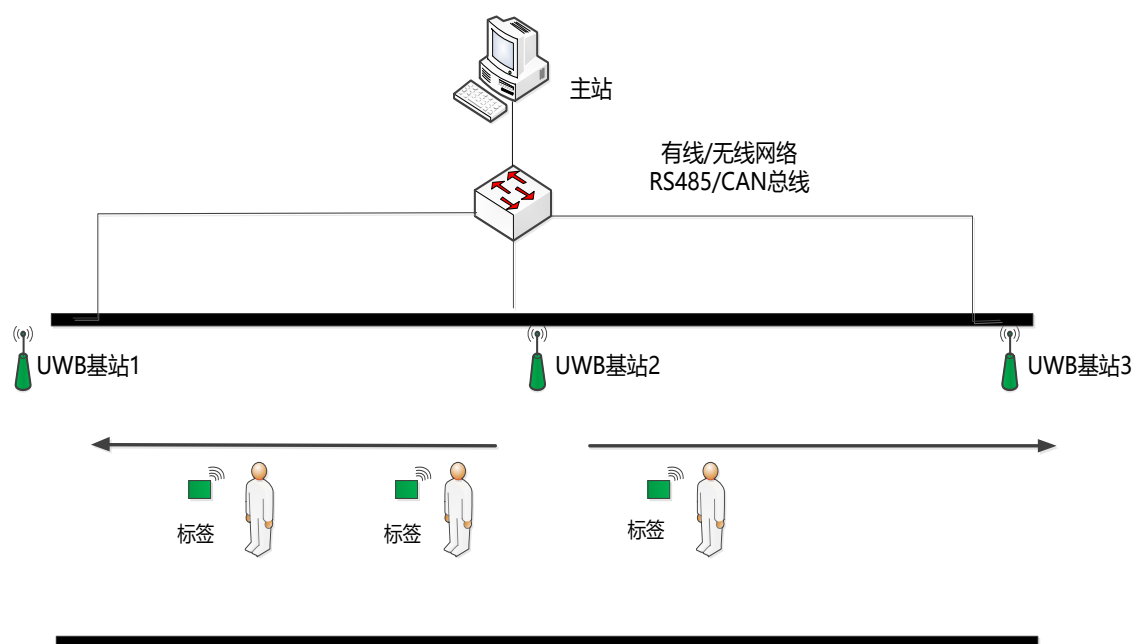
5 基本应用 TYPICAL APPLICATION

SUN209x UWB SOC 包括 SUN2090 基站 SOC 和 SUN2091 标签 SOC 两种模组，均内置 PA/LNA。

SUN2090 可以与基站底板（可提供参考设计）相结合，形成定位基站设备，沿巷道线性分布，间距 400 至 600m，并通过以太网/CAN 总线/RS485 总线/无线方式接入井下环网。

基站配备两只平板天线，分管左右两侧，两者相对独立运行。

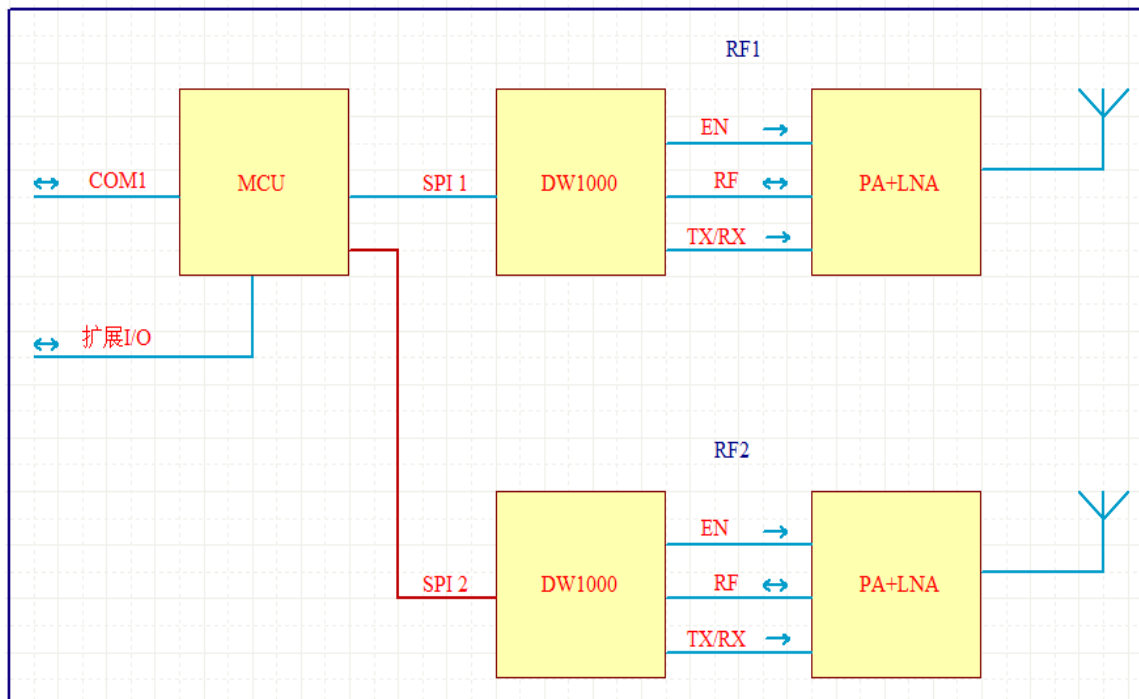
SUN2091 配合电池及外壳形成人员标签，其接收基站的 UWB 信息，并且自动定时（2 秒）上报自身的精确位置信息。



基本应用图示

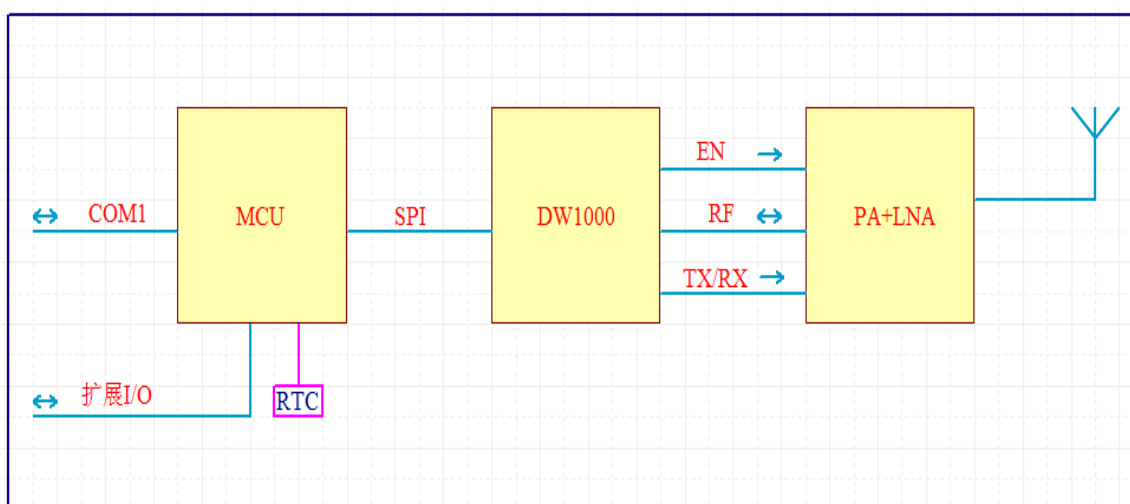
6 原理框图 Functional Block Diagram

6.1 SUN2090



SUN2090 Functional Block Diagram

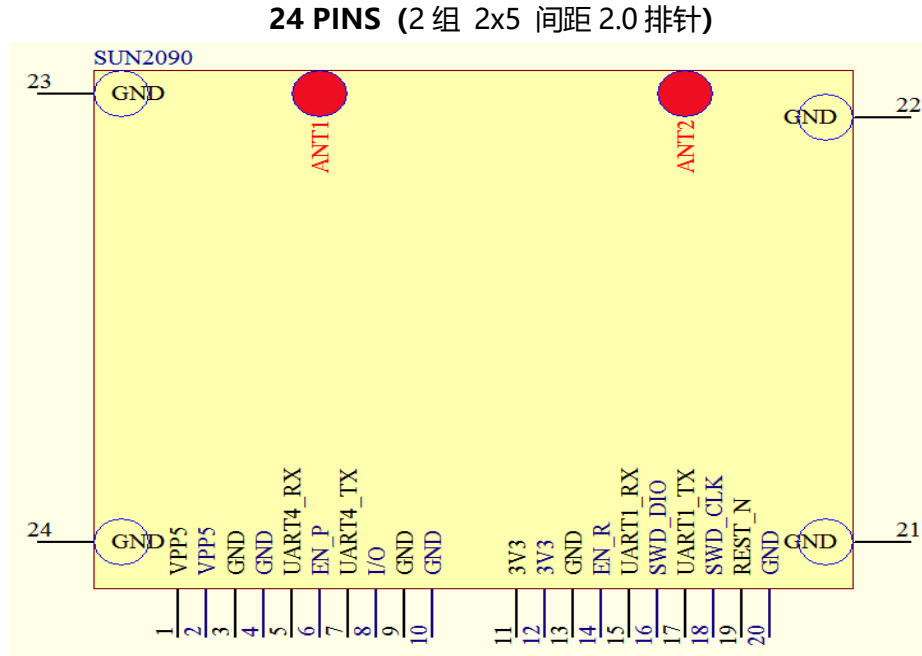
6.2 SUN2091



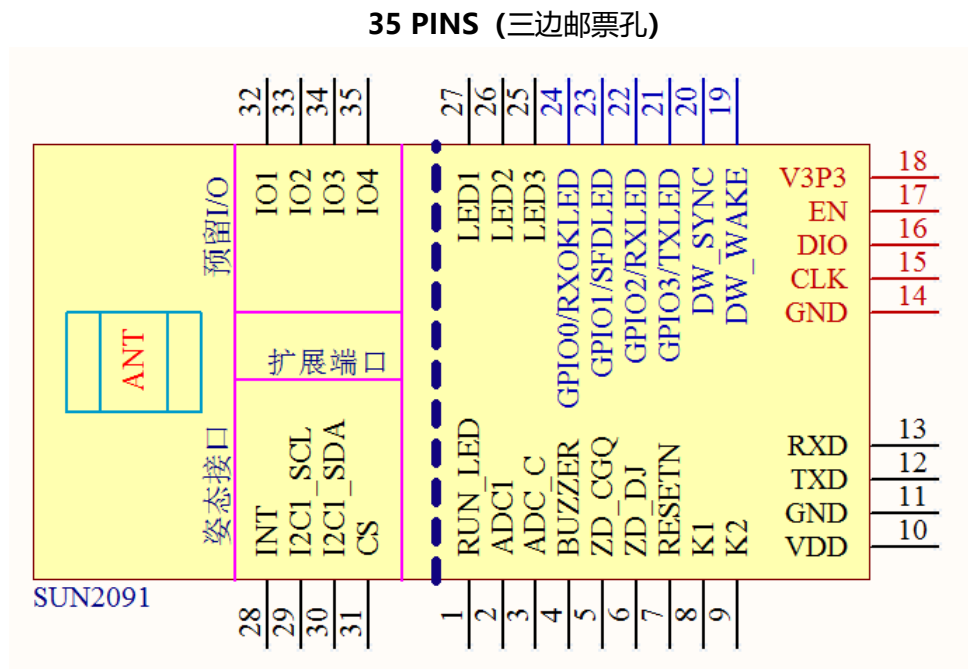
SUN2091 Functional Block Diagram

7 引脚定义与功能 Pin Configuration and Functions

7.1 SUN2090



7.2 SUN2091



7.3 SUN2090 Pin Functions

蓝色引脚为基础功能测试必须使用引脚

PIN		I/O/P	DESCRIPTION
NAME	No.		
VPP5	1	P	外部输入 5V 电源正
VPP5	2	P	外部输入 5V 电源正
GND	3	P	电源地
GND	4	P	电源地
UART4_RX	5	I	设计预留(串口 4 接收)
EN-P	6	I	设计预留 (内部电源 DC/DC 使能, 1 开启, 0 关闭)
UART4_TX	7	O	设计预留(串口 4 发送)
I/O	8	I/O	设计预留 (调试 I/O)
GND	9	P	电源地
GND	10	P	电源地
3V3	11	P	设计预留(内部 DC/DC 输出 3.3V 电源正)
3V3	12	P	设计预留(内部 DC/DC 输出 3.3V 电源正)
GND	13	P	电源地
EN_R	14	I	设计预留(程序更新使能, 0, 允许更新模块程序)
UART1_RX	15	I	TTL RS232 RX
SWD_DIO	16	I/O	SWD 调试 DIO
UART1_TX	17	O	TTL RS232 TX
SWD_CLK	18	O	SWD 调试 CLK
REST_N	19	I	设计预留(外部复位使能, 0, 模块复位)
GND	20	P	电源地
GND	21	P	电源地/模块固定安装孔
GND	22	P	电源地/模块固定安装孔
GND	23	P	电源地/模块固定安装孔
GND	24	P	电源地/模块固定安装孔
ANT1			射频输出 1 (SMA 母座)
ANT2			射频输出 2 (SMA 母座)

7.4 SUN2091 Pin Functions

蓝色引脚为基础功能测试必须使用引脚

PIN		I/O/P	DESCRIPTION
NAME	No.		
RUN_LED	1	O	运行指示灯引脚(0,点亮, 1, 关闭)
ADC1	2	I	电池电压检测引脚 (最高输入电压 3.3V, 外部需要配置分压电阻)
ADC_C	3	O	电池电压检测使能驱动 (0,开启, 1, 关闭)
BUZZER	4	O	蜂鸣器使能驱动 (0,开启, 1, 关闭)
ZD_CGQ	5	I	振动传感器检测 (0,无振动, 1, 有振动)
ZD_DJ	6	O	振动马达使能驱动 (0,开启, 1, 关闭)
RESETN	7	I	模块复位(外部复位使能, 0, 模块复位)
K1	8	I	按键 1 检测 (参数配置、确认)
K2	9	I	按键 2 检测 (报警、求救)
VDD	10	P	外部供电 3.3V 电源正 (最大输入 4.2V)
GND	11	P	外部供电 3.3V 电源地
TXD	12	O	串口发送
RXD	13	I	串口接收
GND	14	P	SWD 调试口
CLK	15	I/O	
DIO	16	I/O	
EN	17	I	
V3P3	18	P	
DW_WAKE	19	I/O	设计预留
DW_SYNC	20	I/O	
GPIO3/TXLED	21	I/O	
GPIO2/RXLED	22	I/O	
GPIO1/SFDLED	23	I/O	
GPIO0/RXOKLED	24	I/O	
LED3	25	O	指示灯 3
LED2	26	O	指示灯 2
LED1	27	O	指示灯 1
INT	28	I	姿态传感器接口
I2C_SCL	29	I/O	
I2C_SDA	30	I/O	
CS	31	O	
IO1	32	P	GND
IO2	33	P	GND
IO3	34	P	GND
IO4	35	P	GND

8 电气特性 Electrical Specifications

8.1 标称工作条件 Nominal Operating Conditions

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Condition/Note
Operating Temperature	-40	55	+85	°C	工作温度
Storage Temperature	-40		+85	°C	储存温度
Humidity(Non-Condensing)	5		95	%	湿度
ATO	80kPa		106	kPa	大气压力

8.2 SUN2090 DCCharacteristics

Tamb = 25 °C, all supplies centered on typical values

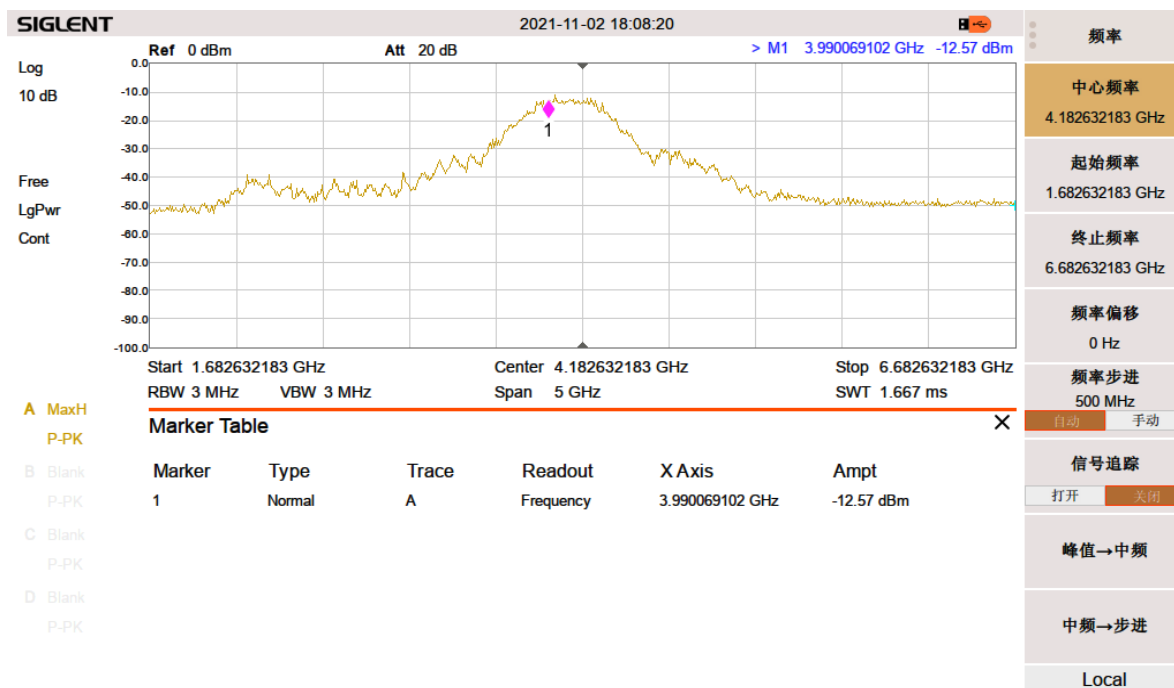
Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Condition/Note
TX Current @5V	190	200	210	mA	发射电流
RX Current @5V	190	200	210	mA	接收电流
Power Supply Voltage	4.5	5	5.5	V	工作电压

8.3 SUN2091 DCCharacteristics

Tamb = 25 °C, all supplies centered on typical values

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Condition/Note
Sleep Current	20	26	30	uA	休眠电流
TX Current @3.3V	190	200	210	mA	发射电流
RX Current @3.3V	190	200	210	mA	接收电流
Power Supply Voltage	2.8	3.3	4.2	V	工作电压

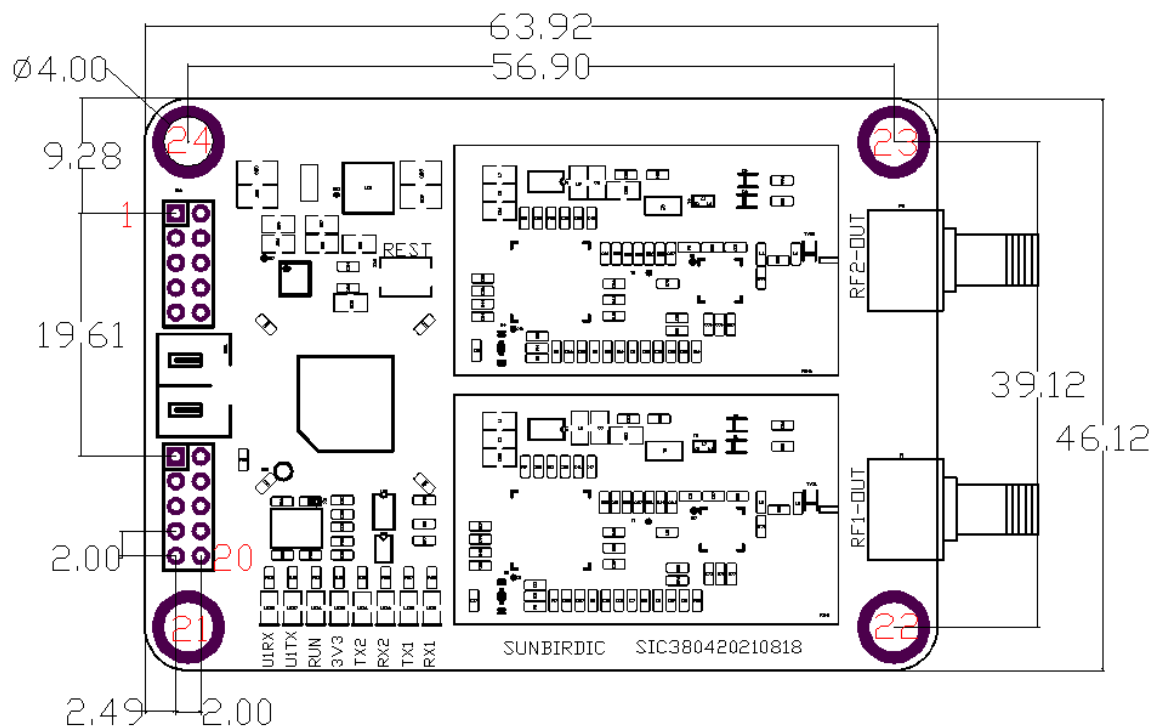
9 典型性能 Typical performance



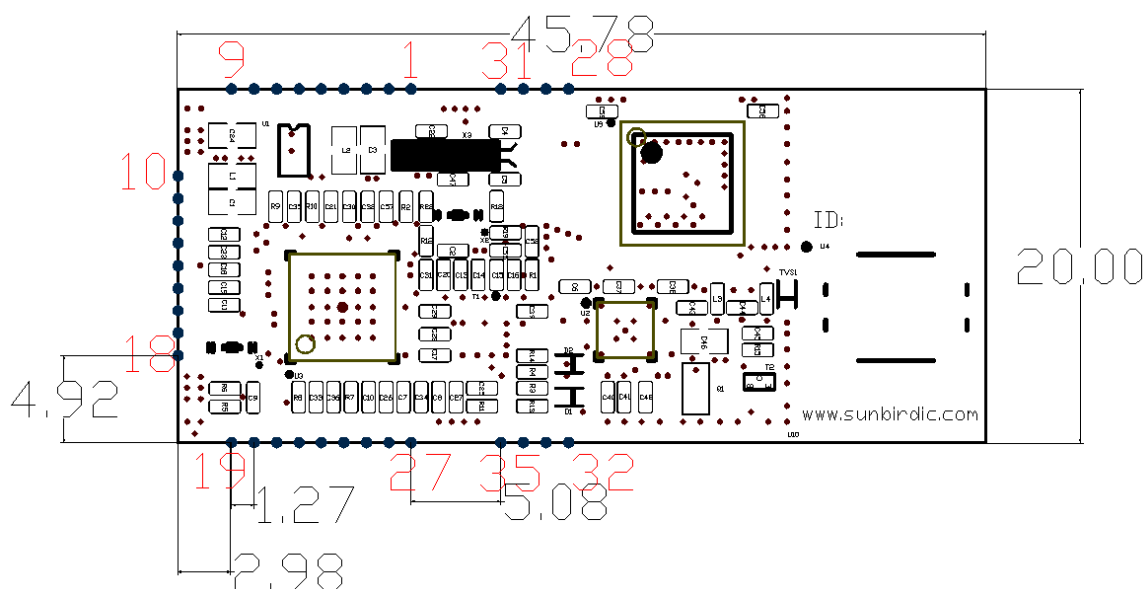
SUN209x 功率曲线

10 机械、封装信息 PACKAGE INFORMATION

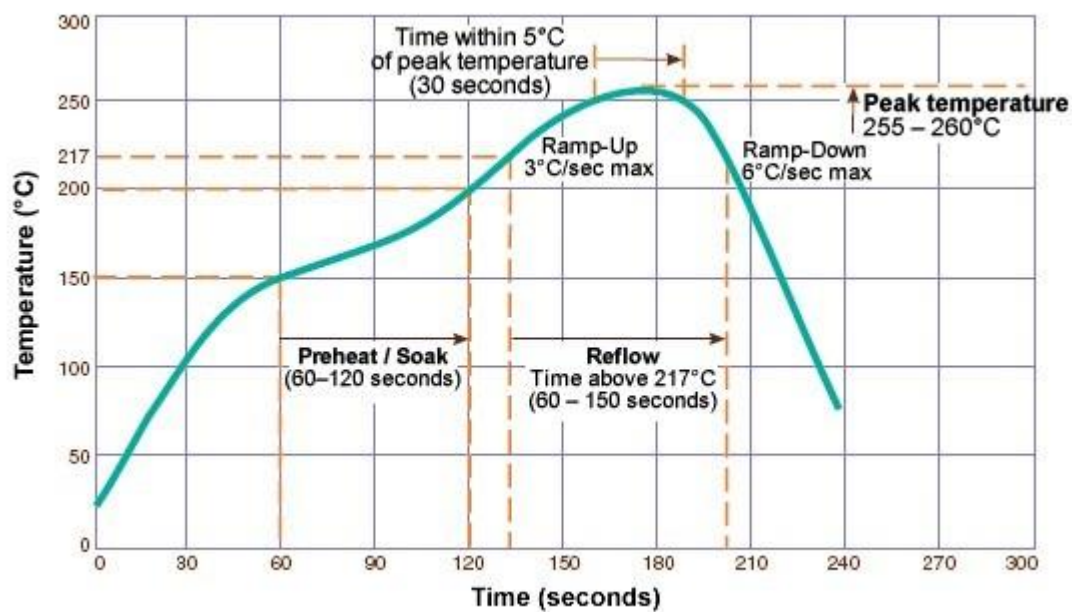
10.1 SUN2090



10.2 SUN2091



11 SUN2091 焊接炉温曲线 Manufacturing Process Recommendations



12 Additional Information 1:SUN209x Detailed Description 定位方案描述

12.1 定位模式比较

12.1.1 测距方式

定位是模块的核心功能，定位的基础是测距。

传统的测距的方法有：

AOA----基于到达角度

TOF-----基于飞行时间

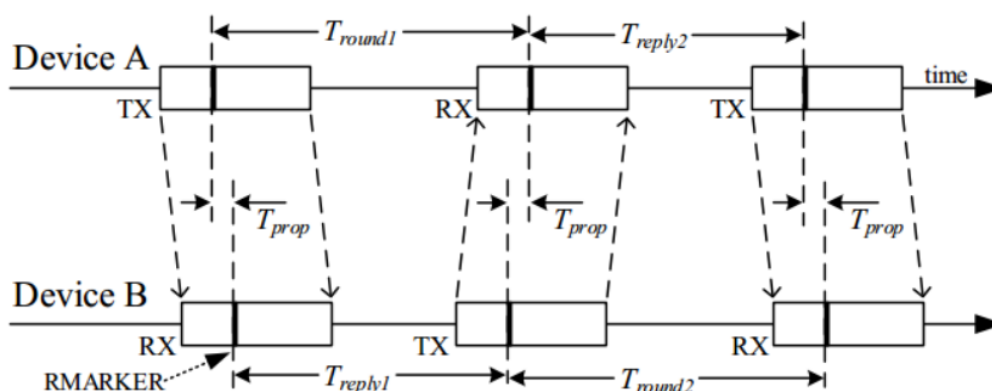
TDOA---基于到达时间差

等方式。

12.1.2 TOF 分析

标签和基站之间会通过无线收发至少 3 次交互之后,可以得到标签和基站之间的距离信息。

以下图中最常用的 3 消息双向测距方法为例，标签和基站的测距流程如下图所看到，标签可以看作设备 A (Device A)，基站可以看作设备 B (Device B)，设备 A 主动发起第一次测距消息，设备 B 响应，得到 4 个时间戳，设备 A 等待 TReply2 之后再发起，设备 B 接收，再得到 2 个时间戳。因此可以得到如下四个时间差：TRound1、TReply1、TRound2 和 TReply2。



TOF 定位信息交互示意

飞行时间计算方法，可以使用如下公式计算：

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

最后乘以光速就可以得到设备 A 和 B 之间的距离

理想状态下，TOF 方式虽然情况精度可以达到要求，但是实地运行时有以下缺陷：

- (1) 测距过程与标签射频特性相关，标签差异性因素不可忽略
- (2) 测距过程中若丢失数据帧，则测距失败
- (3) 井下复杂工况下，NLOS 现象明显

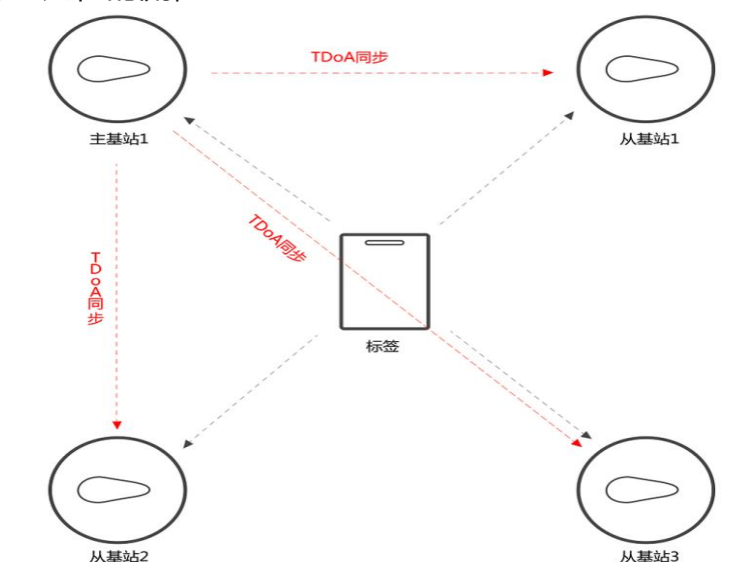
除上述不足以外，一般 TOF 测距的方法是标签发起测距，这样很可能在多标签情况下，测距过程互相冲突，导致冲突各方测距均失败，从而导致重试；虽然可以引入一些规避退让算法，但是治标不治本，不仅耗电，且测距成功时间不能保证。

12.1.3 TDOA 分析

标准 TDOA 方法的实现前提是基站节点之间完全同步，但是由于节点晶振的不精确，会造成基站节点在初始时刻是不同步的，因此利用标准 TDOA 方法进行定位时首先要做的就是基站节点的同步过程，如果同步过程以后基站节点之间可以精确同步，则利用标准 TDOA 方法进行 UWB 室内定位将会取得非常好的定位精度，尤其是在基站数量足够时，其效果较好。

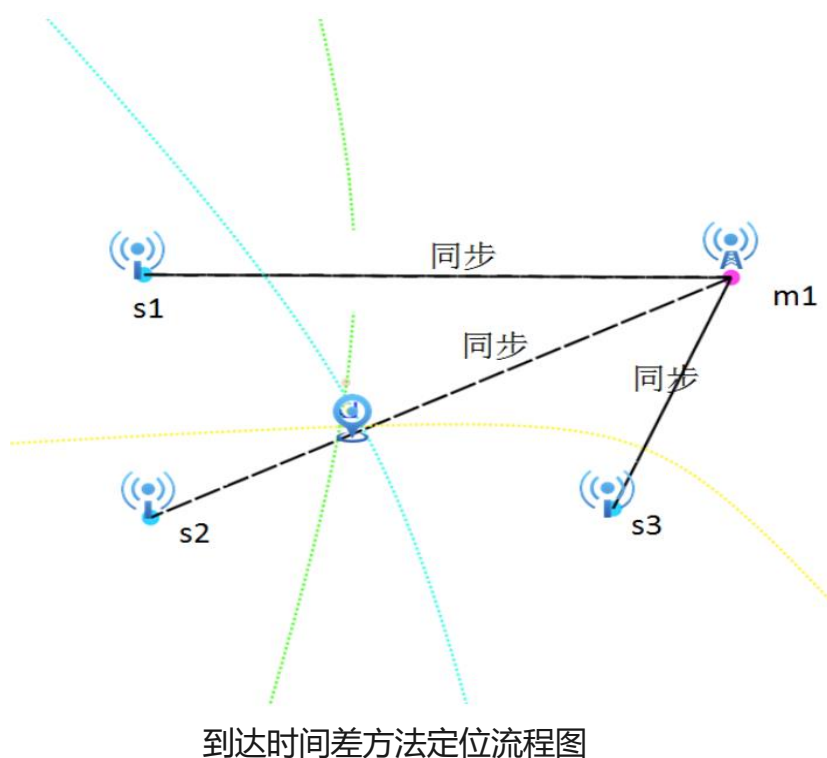
标签将数据包发送到被基站覆盖的区域内，附近的所有基站都会收到标签的无线信号，但不会返回任何无线信号。由于基站与标签的距离间隔不同，因此消息在不同的时刻到达每个基站。这些时间差乘以空间中恒定的光速得到标签和基站之间的距离差，这样就可以形成多点定位计算的基础，从而确定标签的相对坐标。

基站之间同步和标签定位的流程：



基站同步和标签发射定位流程图

得到各个基站的距离差之后，可以画双曲线，同理交点就是标签的位置。



12.1.4 TDOA 问题

虽然 TDOA 优势明显，然而该方法对基站节点同步的要求却往往带来以下问题：

(1) 现有的基站节点同步方法中，有很多是利用导线将基站节点进行连接，基站节点通过共用一个晶振的方式来保证时钟同步。这样做不仅增加了系统的成本，影响了系统的灵活性，而且没有计算导线对信号传播的影响，如果导线的性能比较差并且长度很长，则有可能带来不小的测距误差。如果遇到突发事故，在现场布置导线也是非常耗时的。

(2) 在无线的情况下，很难做到基站节点之间的精确同步。一般同步算法，精度都达不到 UWB 测距定位的要求，两个基站节点之间 1 纳秒的同步误差就会导致 30 厘米的测距误差，从而极大地影响定位精度。

12.1.5 反向式 TDOA (R-TDOA)的优点

为了发挥 TDOA 的优点，并且避免上述不足，根据矿山实际应用场景，所以将常见的 TDOA 方式进行加强：

(1) 相邻基站自动网络化运行并时钟同步

(2) 在卡片上报之前，相邻基站节点再次自动高精度校时，待测节点接收校时信息，并分析基站设备间校时频差

(3) 基站节点高精度校时以后，交替发射信息，待测节点接收以后，根据频差、时差以确

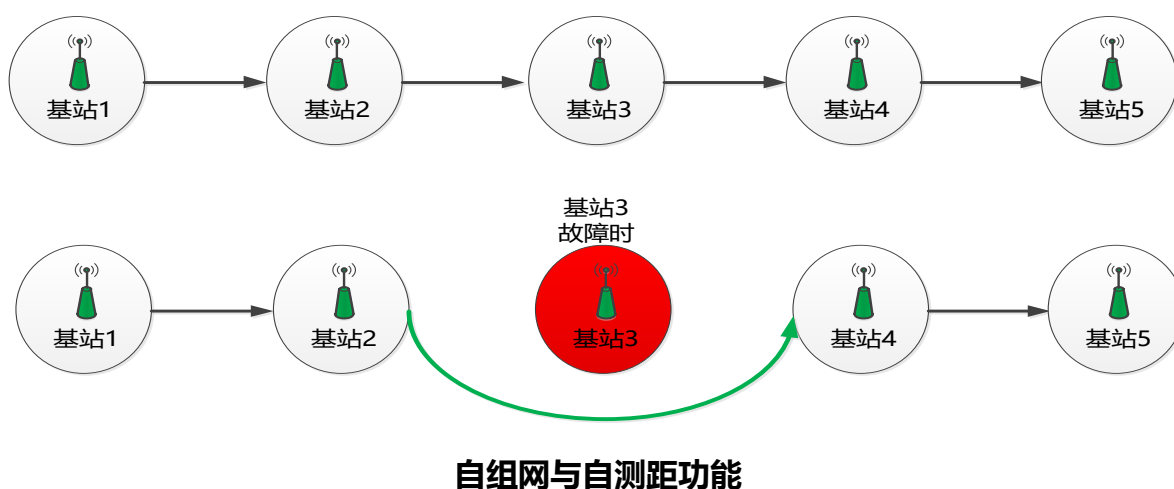
定自身的位置。

从原理分析，采用 R-TDOA 具有自动抵消基站、标签的晶振差异的特点。尤其是与标签延迟参数无关的特性，在标签批量生产、标签一致性保证方面很有意义。

12.2 SUN209x 工作流程与运行方式

12.2.1 基站自组网、自动测距

考虑到煤矿井下的实际情况，可以近乎认为基站呈线性排布状态。为了便于管理，相邻的基站自动组网运行。



基站网络在发生节点增删时，会自动重新组网并重新测距，组网过程耗时<5000ms。

12.2.2 系统时钟同步

在一个组网区域，为了精确地控制时间窗口，保证收发的一致性，所有的基站时钟精确同步；并且所有进入该网络区域的标签，也与就近的基站保持时钟同步，即变相地与整个网络同步。时钟同步以后，不同设备按约定规则可以同时收发而互不干扰。

12.2.3 基站分时工作

根据 UWB 的通讯特点，若在空中同时存在相互干扰的信息，将可能导致接收异常，所以在 R-TDOA 信息发送时，采用分时操作，在时间轴上错开，使系统处于充分稳态；另外，针对标签接收，也是进行分时轮值收发，从原理上保证标签与标签之间发送不会冲突。

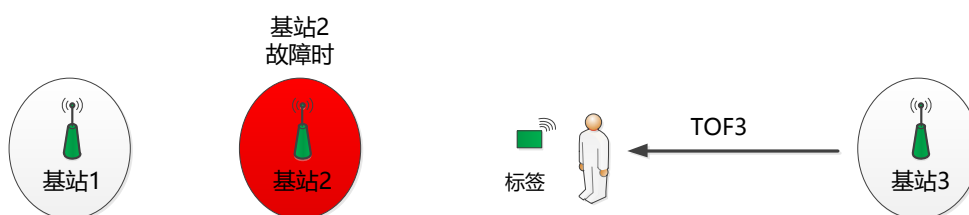
12.2.4 标签定位与上报

通常意义下，标签位于网络中的 2 个基站之间：



在此位置下，标签会接收两侧基站的 R-TDOA 信息，以得知与相邻的基站的距离，并可得知和基站之间的距离，测距完成以后，上报到附近基站。

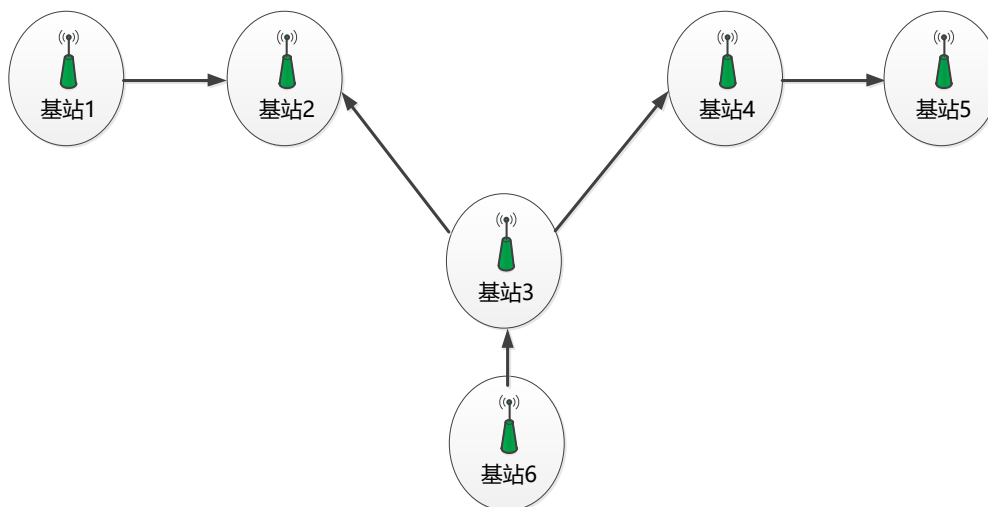
若如下图中基站 2 若故障被摘除：



当处于某个基站故障/失效状态时，如果基站 1 和基站 3 因距离太远，无法建立通讯，将进入到单点运行模式。单点模式下，标签与基站之间按 TOF 方式进行测距，基站接收容量不变，但由于 TOF 原理的问题，精度和稳定度会有下降。

12.3 网络分支

通常情况下，组网的可以近乎认为基站呈一维线性排布状态，其依序排列，但也会有巷道分支情况：



目前基站支持左右两侧天线，如果在模块天线端加功分器，可最多同时支持四块天线，基本上可以满足绝大多数要求。

12.4 系统容量

当前单个基站的并发接收容量是 120 张标签（2 秒以内）

基站地址和标签地址均采用双字节，其最大编码容量为 65535。

12.5 防遮挡

由于现场环境、人体遮挡等原因，射频通讯不一定稳定。导致偶尔测距或数据上报失败。鉴于人员定位系统重要性，其与安全生产密切相关，所以充分考虑了在通讯不完全可靠的情况下，能够具有容错和修复能力。

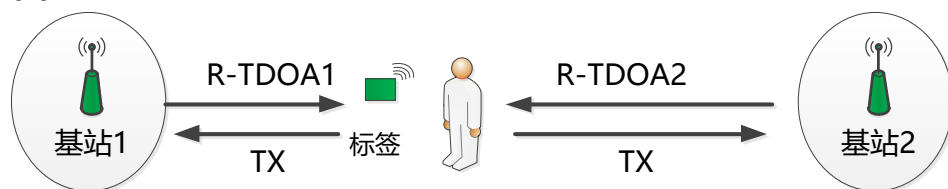
由于标签佩戴于身上，不可避免在不同朝向时，与附近的基站通讯时会产生遮挡现象。产生遮挡时，如果不作相应处理，则会有以下问题：

- (1) 会产生一定的非视距效应(NLOS)，导致测量结果不正确。
- (2) 导致标签发射信号过于衰减，基站无法接收，从而无法定位。

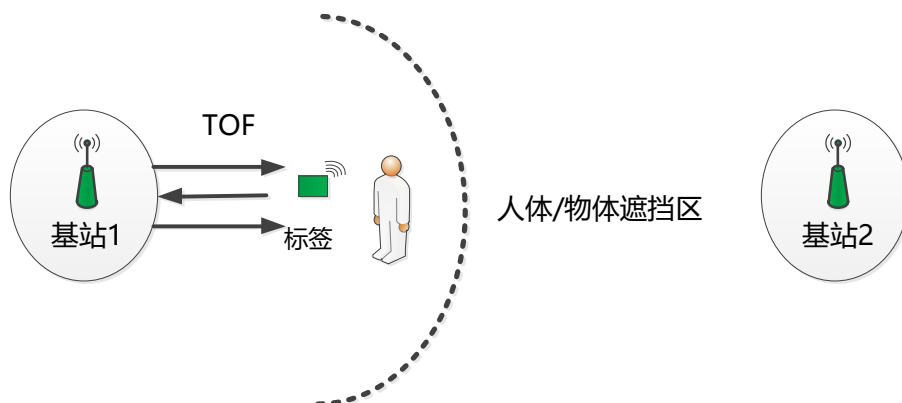
以上两点若频繁出现，是人员定位系统所不能接受的。

SUN2091 UWB 标签模块运行时根据当前环境情况，作针对性选择：如果 R-TDOA 流程正常，则按标准上报，两侧均可接收（至少有一单边可以成功接收）；如果 R-TDOA 步骤中出错，则根据遮挡情况判断分析进行针对性测试。

(1) 左右两侧同时接收



(2) 与通讯良好一端单独测距

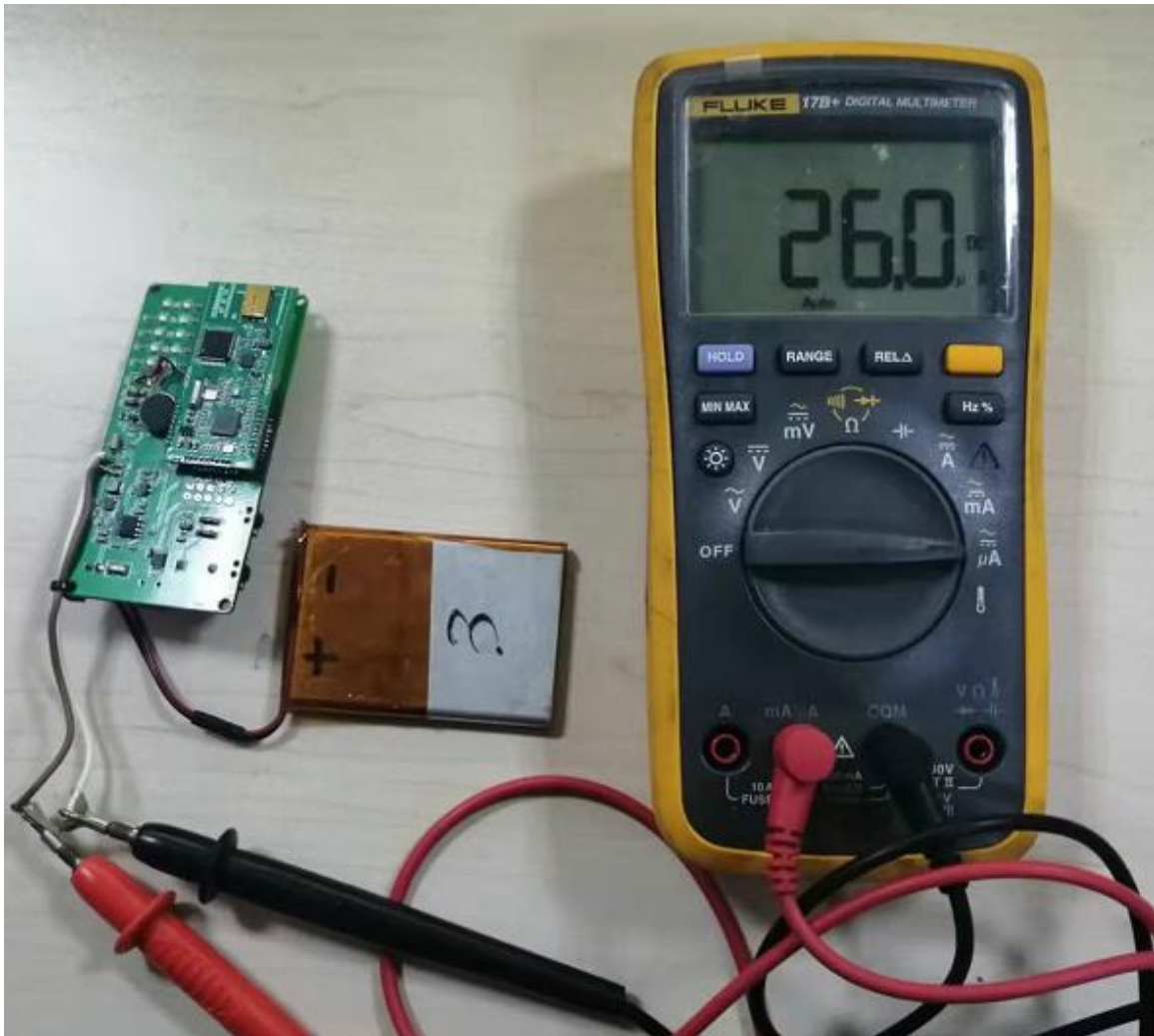


12.6 标签功耗分析

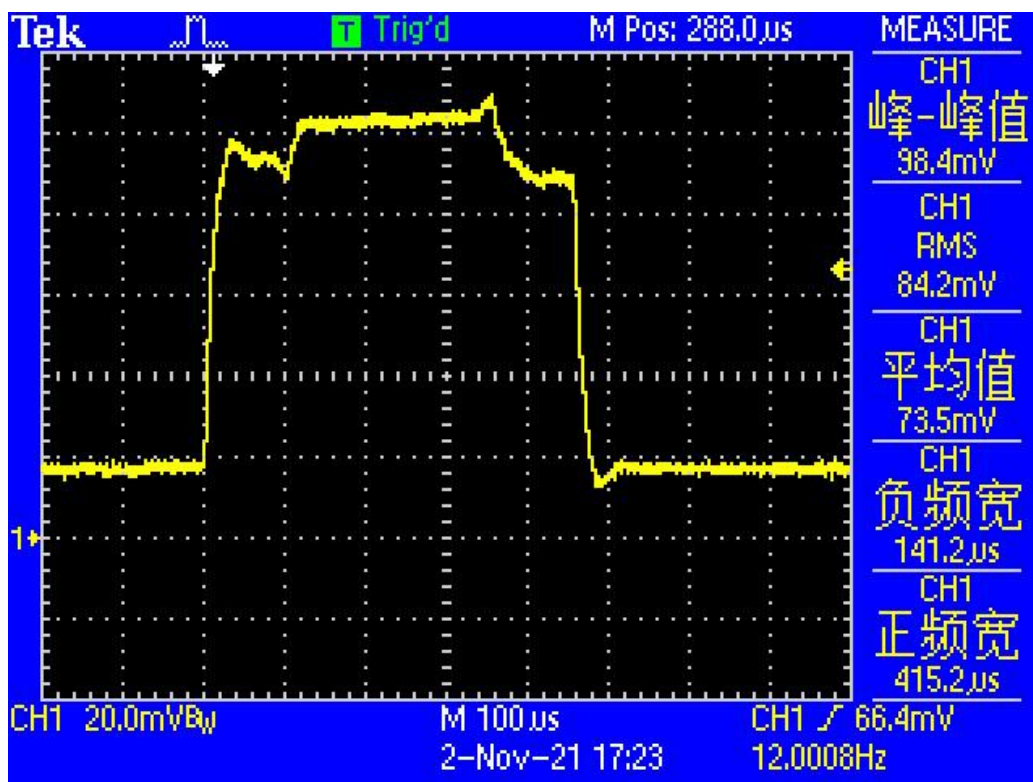
12.6.1 基本参数:

定位周期	1990000us
电池容量	2 x 2200mAh
能效系数	80%
工作时长	10h/天
休眠功耗	26uA

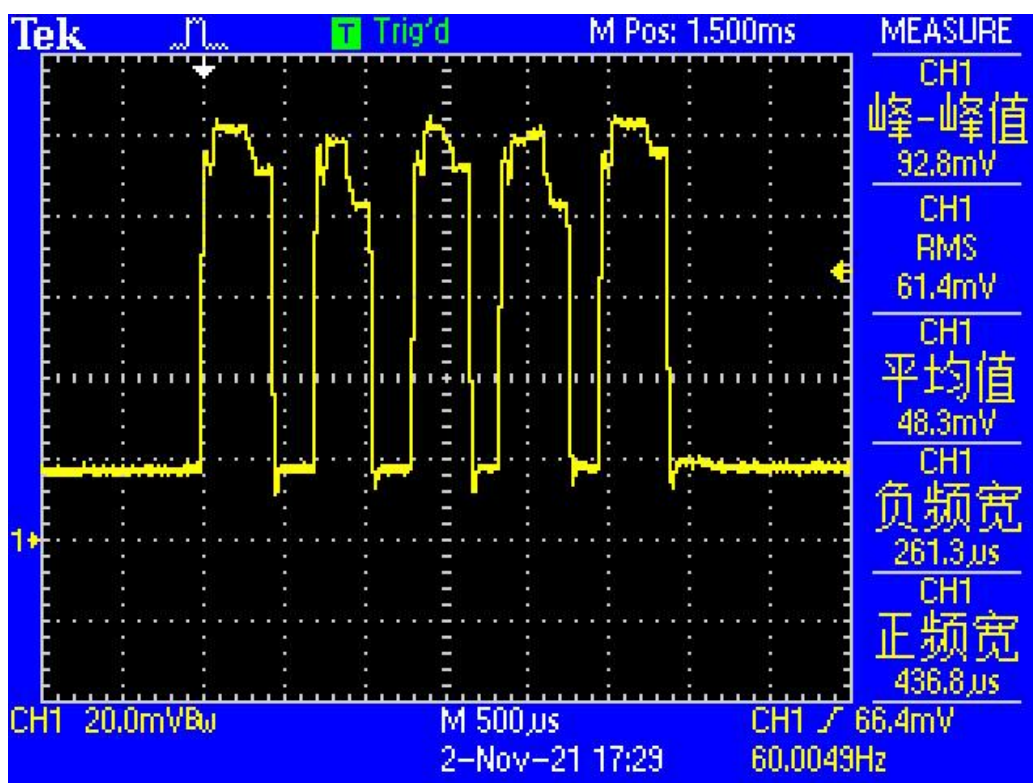
12.6.2 功耗曲线:



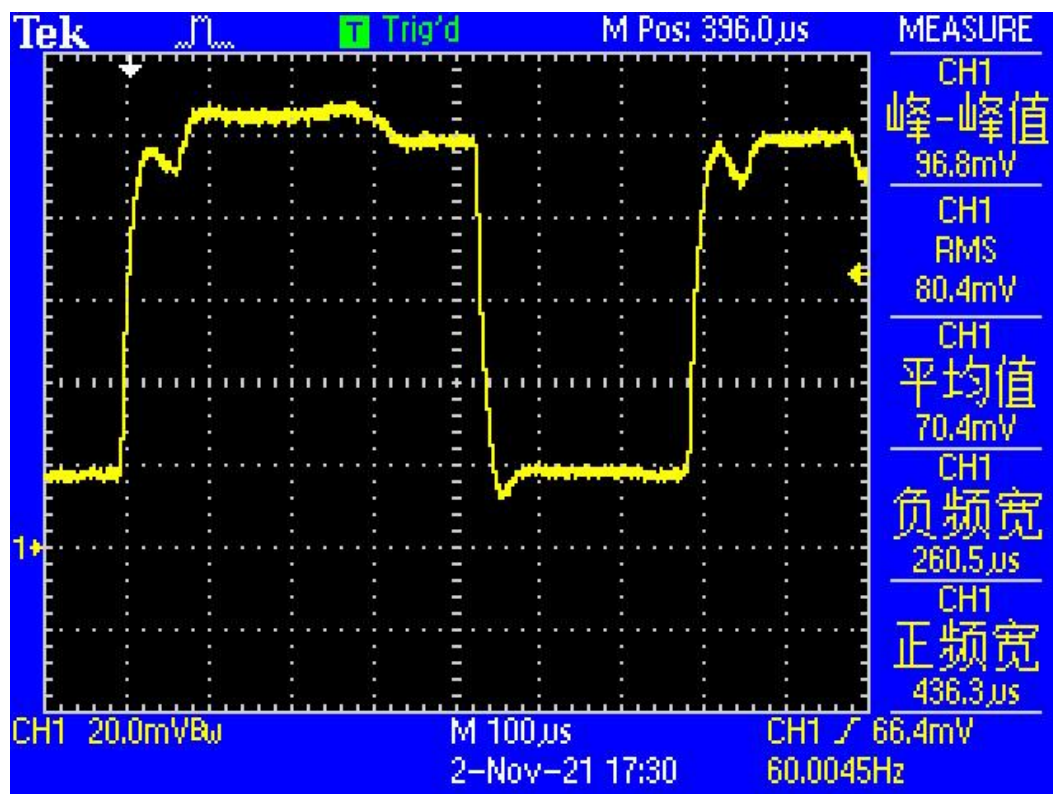
休眠功耗



发送功耗--0.5 欧姆电流取样



接收功耗--0.5 欧姆电流取样



接收功耗--0.5 欧姆电流取样 (细节)

12.6.3 计算结果: >400 天

根据分析以及实测,在以上工况情况下,标签电池可以使用 400 天以上(@2 x 2200mAh)。

12.7 测试环境

本产品在地面和井下均可运行,为了接近于真实的应用场景,在测试时,我们选取成都的环球中心地下停车场进行测试,这个建筑地下停车场长度约 600 米,基本可以达到测试要求;地面测试点选取成都科学城兴隆湖附近天府大道辅道。

实测结果: 基站与基站之间稳定通讯距离 650 米以上, 标签与基站之间稳定通讯距离为 530 米以上。

在这里的稳定通讯的判定方法是 2 秒之内, 往复 720 个数据帧, 不掉帧, 认为是稳定的。

12.8 测距误差

从 UWB 测距原理可以得知，理想情况下，可以控制其测距误差在 10cm，但是结合具体情况，需要选取传输距离更远、更加低功耗的通讯参数，并且标签一般处于移动状态，此时误差会有加大，一般在 30cm 以内摆动，但是呈现正态分布特性。

在采用 TOF 测距方式时，标签在测距过程，需要进行发送和接收测时，这就意味着这种方式下，测距的精度和稳定性和标签的晶振特性是相关，由于标签一致性差异，所以测距摆动误差会大。

采用 R-TDOA 方案时，标签只是负责接收基站信息，与自身晶振特性无关，这样就可以从原理上避免由于晶振差异导致的测距偏差，并且数据的稳定性和一致性要好。

由于电磁波的直线传输特性，在非视距 (NLOS) 情况下，可能会误收到反射而来的信号，TOF 方式下，此时若以此时间戳进行距离计算，会产生很大的误差。而 R-TDOA 是采用差分方式，可以很大程度上自动抵消这种反射效应，从而能够给出准确的结果。

实测表明，在同等的 NLOS 情况下，R-TDOA 方式发生错误概率为 TOF 的 15%左右。

13 Additional Information2: 配套定向平板天线

3600-4200MHz 定向天线 3600-4200MHz Directional Wall Mount antenna



13.1特点 Feature:

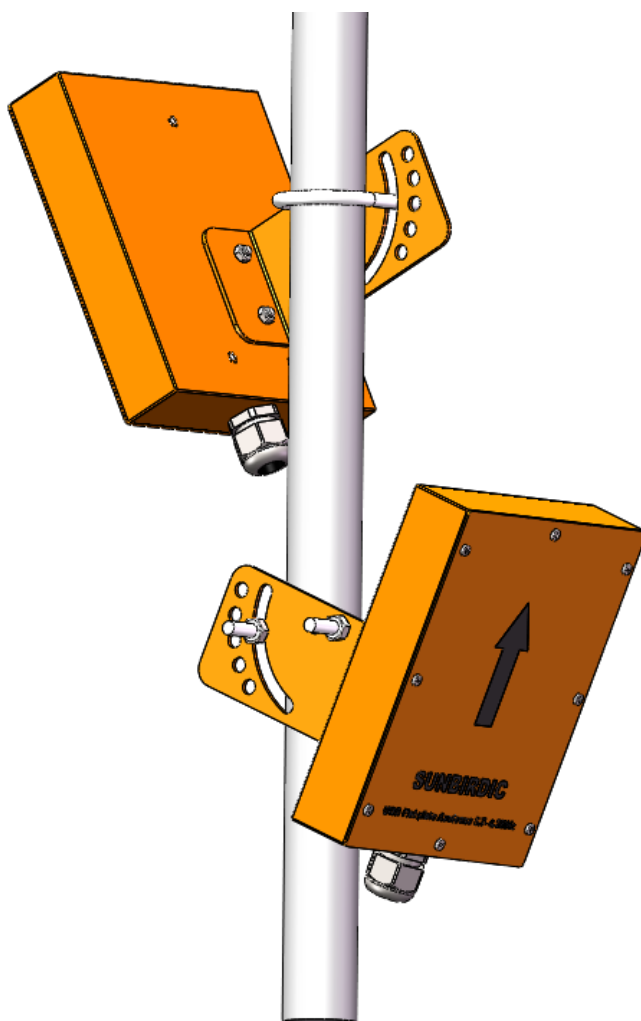
- 高增益、抗干扰能力强 High gain, strong anti-interference ability
- 防护能力强 Good defense system
- 全天候工作 Full day working
- 外观精美 Exquisite appearance
- 优化的尺寸 Optimized dimension

13.2应用 Application:

- 通信系统 communication system

电气参数 Electrical Specifications	
频率范围 Frequency range (MHz)	3600-4200
带宽 Bandwidth (MHz)	600
增益 Gain (dBi)	14
半功率波瓣宽度 Half-power beam width (°)	H: 35 V: 35
驻波比 VSWR	≤2.0
输入阻抗 Input Impedance (Ω)	50
极化方式 Polarization	垂直 Vertical
最大功率 Maximum input power (W)	50
雷电保护 Lightning protection	直流接地 DC Ground
接头型号 Input connector type	RP-SMA 公头或用户指定 SMA male or Requested
机械参数 Mechanical Specifications	
天线尺寸 Dimensions-mm (Height/Width/Depth)	155*135*31
天线重量 Antenna weight (kg)	0.58
工作温度 Operating temperature (°C)	-40 ~ 60
极限风速 Rated Wind Velocity (m/s)	60
天线罩颜色 Radome color	橙 e
安装方式 Mounting way	壁挂式或抱杆式 Wall-hanging or pole-holding
抱杆直径 Mounting hardware (mm)	φ 24 ~ φ 36

13.3 安装示意图



13.4 安装说明

如图所示, 按以下步骤把天线架设在抱杆上, 注意调节好天线的倾斜角度, 拧紧连接螺丝、螺母。

1. 把 L 形夹码孔位对准天线上的螺钉, 依次放上平垫、弹垫及螺母, 拧紧螺母。
2. 将天线有接头的一端朝下, 用 M6 的 U 形螺杆穿过 L 形夹码, 把天线抱在外径大约为 $\phi 24 \sim 32\text{mm}$ 的抱杆上, 放上平垫及螺母, 然后拧紧螺母。

通过 L 形夹码上的孔位调节天线的俯仰角, 使其接收的信号为最好, 然后拧紧所有螺母, 并把天线的接头连接端密封好。

14 Additional Information3: 标签电池选型推荐

14.1 一次性电池

锂亚柱式电池 ER14505/ER14505M

型 号:	ER14505
大 小:	AA
标称容量:	2200mAh (在 1mA, +20°C/2.0V 终止电压时的放电容量)
工作电压:	3.6V
开路电压:	3.66V
放电截止电压:	2.0V
尺 寸:	14.5(D)*50.5(H)mm
重 量:	17g
最大持续放电电流:	100mA
最大脉冲放电电流:	200mA
存储温度 (建议) :	Max.30°C

14.2 可充电电池

矿用单体电池, 3.0/3.7V 1000-1500mAh

注：最好选择有矿用检测报告的厂家

15 联系我们

SUNBIRDIC

太阳神鸟智能控制有限公司

SUNBIRD INTELLIGENT CONTROL CO., LTD.

地址: 成都市天府大道高新孵化园 5 号楼 邮编: 610041

Add: No.5 Building, Chengdu Hi-tech Business Incubator,
Tianfu Avenue, Chengdu, China 610041

Tel: +86-28-85336001 85336002 **Fax:** +86-28-85336003

咨询与交流:

Mobile: 13408605688

Email: xgm@sunbirdic.com

Wechat: 徐光明

