

DFR1179 ZL9NSQ
无线姿态传感器芯片
数据手册 (V1.05)

ZL9NSQ Data Sheet

目录

1 功能描述:	5
2 硬件功能:	6
2.1 ZL9NSQ 引脚	6
2.1.1 引脚描述	7
2.2 性能规格	8
2.3 传感器规格	8
2.4 数据接口	9
2.4.1 无线数据接口	9
2.4.2 UART 数据接口	10
2.4.3 SPI 数据接口	10
2.4.4 I ² C 数据接口	11
2.4.5 接口配置	11
2.5 安装和对准	11
2.5.1 芯片坐标系	11
2.5.2 姿态坐标系 (NED 坐标系)	12
2.5.3 安装坐标系调整	14
3. 传感器数据:	14
3.1 传感器数据输出	14
3.1.1 加速度计数据输出	14
3.1.2 陀螺仪角速度数据输出	15
3.1.3 磁力计磁强度数据输出	15
3.2 姿态数据输出	15
3.2.1 磁辅助旋转矢量模式	15
3.2.2 旋转矢量模式	15
3.2.3 稳定旋转矢量模式	16
3.3 姿态输出格式	16
3.3.1 四元数	16
3.3.2 欧拉角	16
4. 数据通讯协议	17
4.1 ZLBUS 数据包结构	17
4.2 ZLBUS 命令模式子指令 ID 列表	18
4.3 ZLBUS 数据流模式子指令 ID 列表	19
4.3.1 IMU 及姿态数据上报子指令 ID 列表	19
4.3.2 电池电量上报子指令 ID 列表	19
5. 芯片校准	20
5.1 校准效果	20
5.1.1 校准指令	20
5.1.2 加速度计	20
5.1.3 陀螺仪	21
5.1.4 磁力计	21
5.2 校准过程	21

ZL9NSQ Data Sheet

6. 电气特性	22
6.1 极限值	22
6.2 推荐工作条件	22
6.3 功耗特性	22
6.4 RF 发射特性	22
6.5 RF 接收特性	23
7. 推荐设计	24
7.1 原理图	24
7.2 PCB Layout	27
8. 封装信息	29
8.1 封装图	29
8.2 焊接指导	30
9 基础知识	31
销售联系方式:	32

图片

图 1 ZL9NSQ 功能框图	5
图 2 ZL9NSQ 引脚图	6
图 3 ZL9NSQ UART 配置	10
图 4 ZL9NSQ SPI 时序图	10
图 5 ZL9NSQ 坐标系方向 (右手)	12
图 6 北东地坐标系	13
图 7 ZL9NSQ 安装坐标定义	14
图 8 ZL9NSQ 内部天线原理图	24
图 9 ZL9NSQ 外部天线原理图	24
图 10 ZL9NSQ 模式配置原理图	25
图 11 ZL9NSQ I ² C 配置原理图	25
图 12 ZL9NSQ 蓝牙呼吸灯配置原理图	25
图 13 ZL9NSQ 电池电量检测原理图	26
图 14 ZL9NSQ 稳压电源原理图	26
图 15 ZL9NSQ 内部天线参考 PCB 设计图 (Top)	27
图 16 ZL9NSQ 内部天线参考 PCB 设计图 (Bottom)	27
图 17 ZL9NSQ 外部天线参考 PCB 设计图 (Top)	28
图 18 ZL9NSQ 外部天线参考 PCB 设计图 (Bottom)	28
图 19 ZL9NSQ 封装尺寸图	29
图 20 ZL9NSQ 焊接指导图	30

ZL9NSQ Data Sheet

表格

表格 1 引脚描述.....	7
表格 2 性能规格.....	8
表格 3 传感器规格.....	8
表格 4 接口配置.....	11
表格 5 ZLBUS 数据包结构.....	17
表格 6 ZLBUS 数据包结构.....	17
表格 7 ZLBUS 数据包结构.....	18
表格 8 ZLBUS 命令模式子指令 ID 列表.....	19
表格 9 IMU 及姿态数据上报子指令 ID 列表.....	19
表格 10 电池电量上报子指令 ID 列表.....	19
表格 11 校准过程列表.....	21
表格 12 极限值列表.....	22
表格 13 推荐工作条件列表.....	22
表格 14 功耗特性列表.....	22
表格 15 RF 发射特性列表.....	22
表格 16 RF 发射特性列表.....	23

手册修订历史

版本号	说明	日期
1.04	初版	2024-01-17

ZL9NSQ Data Sheet

1 功能描述:

ZL9NSQ 是一款集成了三轴加速计、三轴陀螺仪、三轴磁力计的 3D 姿态传感系统级芯片。芯片内部集成 32 位 ARM® Cortex™-M4f+ 微处理器运行 IMU Motion Engine 算法, 2.4G 无线收发器及封装天线。利用先进的信号处理算法来处理高速采样的内部传感器数据, 以提供准确可靠的 四元数、欧拉角、校准加速度和校准角速度等精确三维姿态信息。

ZL9NSQ 的核心是 IMU Motion Engine 软件。IMU Motion Engine 软件为一套完整的复合数据融合算法, 包含姿态解算、干扰判断、在线校准等算法及数据通讯软件。数据通讯软件基于天墨科技 ZLBUS 统一通讯协议实现电源管理、参数配置、数据通讯等功能, 用户无需编程既可通过天墨科技标准调试软件与系统主机通信获取所需的 3D 姿态信息, 同时用户亦可通过提供的 SDK 使用 Python/C++ 等编程语言实现与 ZL9NSQ 的数据交换, 大幅降低三维姿态应用的开发难度。

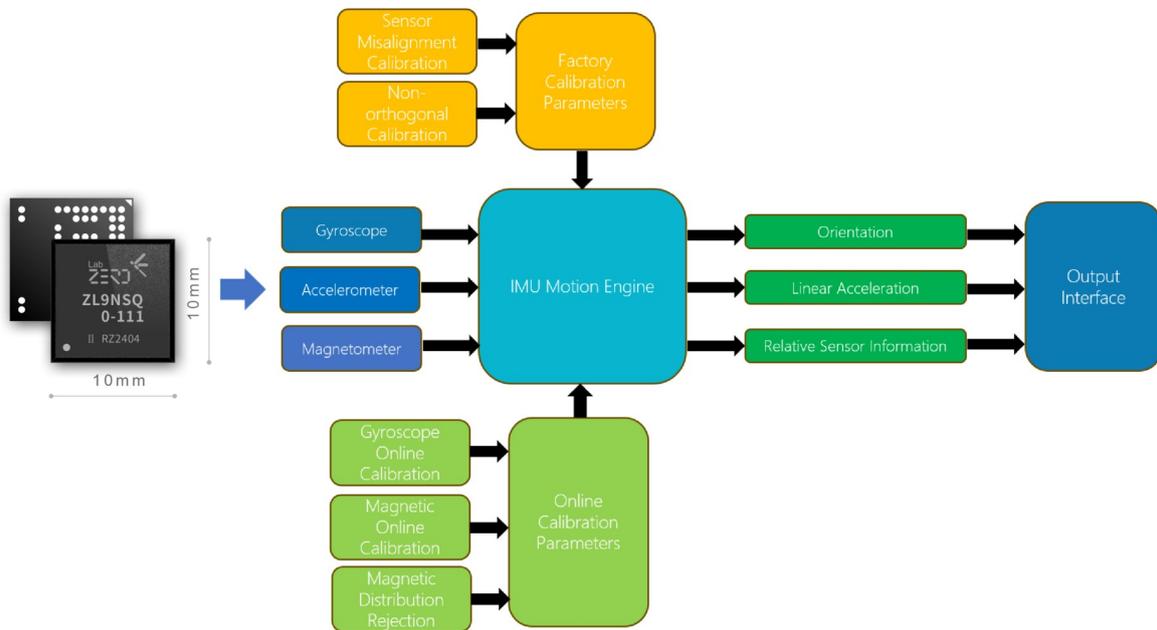
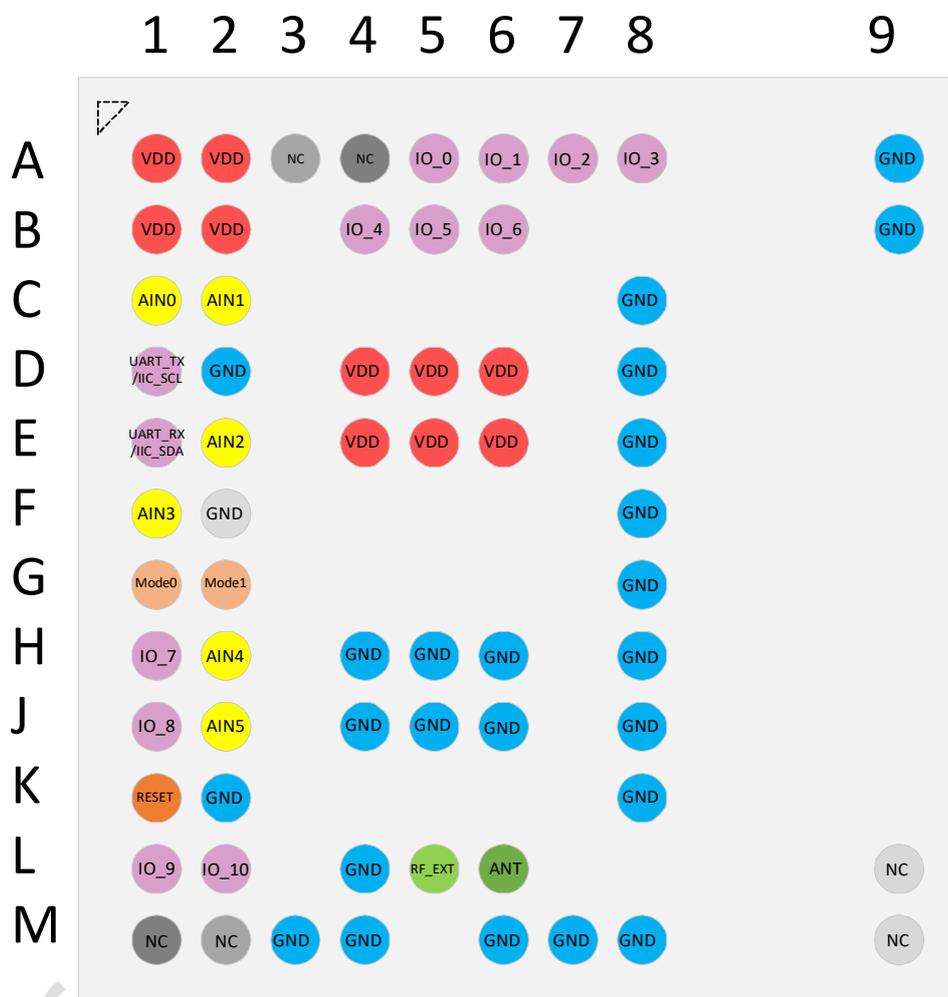


图 1 ZL9NSQ 功能框图

ZL9NSQ Data Sheet

2 硬件功能:

2.1 ZL9NSQ 引脚



Top View

图 2 ZL9NSQ 引脚图

ZL9NSQ Data Sheet

2.1.1 引脚描述

Pin IO	名称	I/O	描述
A1 A2 B1 B2 D4 D5 D6 E4 E5 E6	VDD	Power	供电电源
A9 B9 C8 D2 D8 E8 F8 G8 H4 H5 H6 H8 J4 J5 J6 J8 K2 K8 L4 M3 M4 M6 M7 M8	GND	Power	电源地
F2	NC	/	内部无连接，可外接 GND
A5	IO_0	IO	SPI_MOSI (master)
A6	IO_1	IO	SPI_CS (master)
A7	IO_2	IO	SPI_CLK (master)
A8	IO_3	IO	SPI_MISO (master)
B4	IO_4	IO	RGB_B
B5	IO_5	IO	RGB_G
B6	IO_6	IO	RGB_R
H1	IO_7	IO	Btn_Input
J1	IO_8	IO	Power_En
L1	IO_9	IO	PA_RxEn
L2	IO_10	IO	PA_TxEn
D1	UART_TX / I ² C_SCL	IO	I ² C Slave
E1	UART_RX / I ² C_SDA	IO	I ² C Slave
C1	AIN_0	I	模拟输入 (ADC) (默认电池检测 IO)
C2	AIN_1	I	模拟输入 (ADC)
E2	AIN_2	I	模拟输入 (ADC)
F1	AIN_3	I	模拟输入 (ADC)
H2	AIN_4	I	模拟输入 (ADC)
J2	AIN_5	I	模拟输入 (ADC)
G1	Mode_0	I	硬件模式配置
G2	Mode_1	I	硬件模式配置
K1	RESET	I	Chip Reset
L5	RF_EXT	O	RF 天线 PIN 输出端
L6	ANT	I	IC 内部 RF 天线端
A3 A4 M1 M2 L9 M9	NC	/	外部必须悬空，NC 间禁止短接

表格 1 引脚描述

ZL9NSQ Data Sheet

2.2 性能规格

参数	典型值
俯仰/横滚精度 (静态)	0.05°
俯仰/横滚精度 (动态)	0.1°
航向精度误差 (磁力计辅助)	0.5°
相对航向误差 (静态)	<1° /hr
相对航向误差 (动态)	5° /hr
角度分辨率	<0.01°
角度重复性	<0.1°
传感器原始数据输出速率	最高 250 Hz
导航数据输出速率	最高 250 Hz

表格 2 性能规格

2.3 传感器规格

参数	加速度计	陀螺仪	磁力计
量程	±16 g	±2000 °/s	±4900uT
零偏稳定性	2 mg	5°/hr	20nT
初始零偏	40 mg	0.2°/s	
比例因子误差	±0.06%	±0.05%	±0.09%
非线性	±0.1%	±0.1%	±0.3%
轴对齐误差	±0.05°	±0.05°	±0.05°
噪声密度	75ug/VHz	0.0028 °/s/VH	0.14 nT/VHz
带宽	260 Hz	256 Hz	200 Hz

表格 3 传感器规格

ZL9NSQ Data Sheet

2.4 数据接口

ZL9NSQ 芯片数据通讯遵循 ZLBUS 通讯协议，用户可通过蓝牙 BLE、UART、SPI、I²C 接口实现 ZL9NSQ 芯片与其他设备之间的数据通讯。具体请参见第 4 章数据通讯协议。

2.4.1 无线数据接口

ZL9NSQ 芯片采用先进 AiP (Antenna In Package) 进行封装，内部已包含天线并进行了匹配。用户在 PCB 设计中应按照 PCB 参考设计进行净空处理，以避免对 ZL9NSQ 芯片内部天线造成干扰进而影响数据传输性能，同时用户可按照设计需求在设计中增加外部天线。

ZL9NSQ 出厂固件已实现了标准蓝牙 BLE5.2 通讯协议，以及对应的 Zerolab Universal Service 蓝牙通讯服务。用户无需额外开发即可直接透过电脑或手机及其他支持蓝牙 BLE5.2 的终端设备与 ZL9NSQ 进行数据交换。ZUS 服务包含三个数据特征属性分别用于配置和读取 ZL9NSQ 参数、读取芯片姿态的数据流和温度服务及自定义服务。

尽管 ZL9NSQ 出厂提供的 Zerolab Universal Service 蓝牙通讯服务没有连接限制，但由于主机硬件和操作系统限制，最多可同时连接的设备数量是有限的。对于安卓、MacOS 和 Windows 系统最多可连接 6 个基于 ZL9NSQ 的设备，在 iOS、Linux PC 或 Raspberry Pi 中，最多可连接 10 个基于 ZL9NSQ 的设备。在实际使用中受限于不同硬件及蓝牙同步速率，实际能连接的设备数量可能小于理论数值，或达到理论数值但伴随大量的丢包和连接不稳定。此时用户应考虑减少连接设备的数量以改善通讯质量。

为满足大连接低延时的通讯需求，天璽科技还为 ZL9NSQ 开发了基于 2.4G 收发器的专有无线通讯协议，实现了超低延时、多芯片时间同步、最高 20 设备高速连接等功能；该专有无线通讯协议需配合天璽科技专用数据收发器使用。如需使用该专有无线通讯协议，请咨询天璽科技以获取更多的信息。

ZUS (Zerolab Universal Service):

- ZUS 服务 UUID: AEC90000-6E7A-4BC2-9A4C-4CDA7A728F58
- 数据特征值: AEC91000-6E7A-4BC2-9A4C-4CDA7A728F58
 - 包含数据属性 1、数据属性 2、数据属性 3
 - 数据属性 1: AEC91001-6E7A-4BC2-9A4C-4CDA7A728F58
 - ◆ 配置 ZL9NSQ 与读取 ZL9NSQ 配置参数
 - ◆ 权限: 写 (Write)、通知 (Notify)
 - 数据属性 2: AEC91002-6E7A-4BC2-9A4C-4CDA7A728F58
 - ◆ 获取 ZL9NSQ 芯片姿态相关数据
 - ◆ 权限: 通知 (Notify)
 - 数据属性 3: AEC91003-6E7A-4BC2-9A4C-4CDA7A728F58
 - ◆ 获取 ZL9NSQ 自定义服务、系统状态等
 - ◆ 权限: 通知 (Notify)

ZL9NSQ Data Sheet

2.4.2 UART 数据接口

UART，即通用异步收发传输器 (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)，是常用的一种异步串行通信方式，传输速率最高可达 1Mbps。ZL9NSQ 提供了 UART_TX、UART_RX 两个引脚使用，UART 引脚与 I²C 引脚复用，默认参数为 115200bps，8 位数据位，1 位停止位，无奇偶校验位。

ZL9NSQ 芯片采用 UART 数据通讯时，遵循 ZLBUS 通讯协议，UART 默认波特率为 115200 bps，数据为二进制。具体串口调试工具配置可参考图 3，UART 端口默认开机打印芯片 MAC 地址和蓝牙设备名称。用户可通过该信息通过蓝牙端口连接芯片设备。

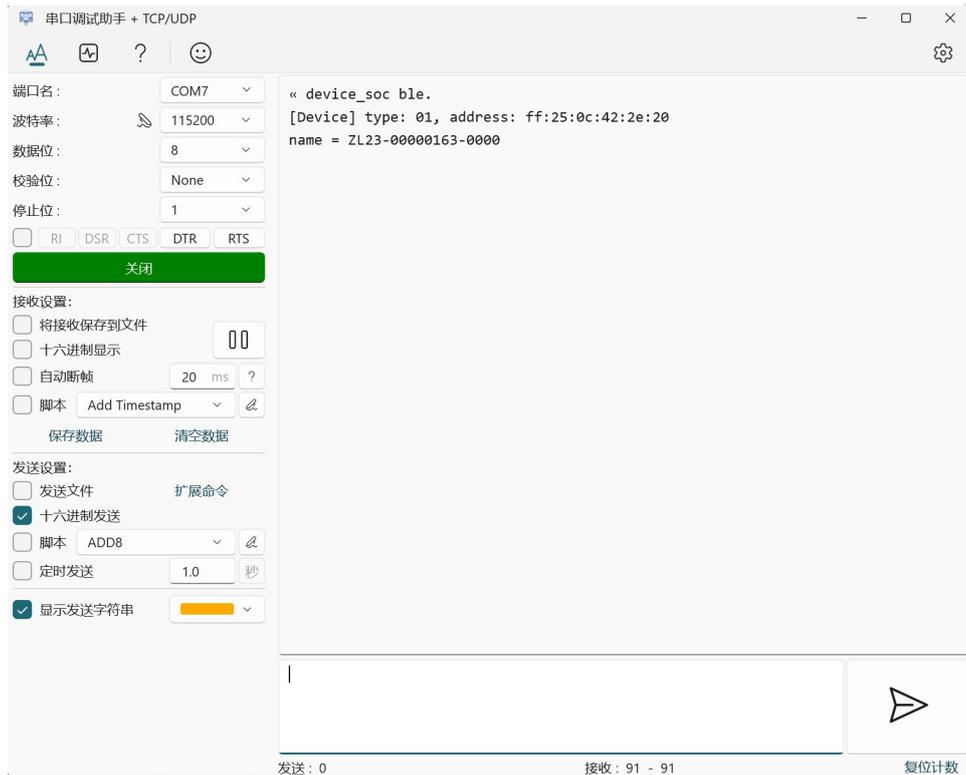


图 3 ZL9NSQ UART 配置

2.4.3 SPI 数据接口

SPI(serial peripheral interface)是串行外设接口的缩写，是一种高速的、全双工、同步的串行通信总线。ZL9NSQ 芯片支持主 master SPI 模式，数据采用固定包长 251 字节，251 字节中，第一个字节表示后续 250 字节中有效数据长度，其中无效的数据采用 0 填充。

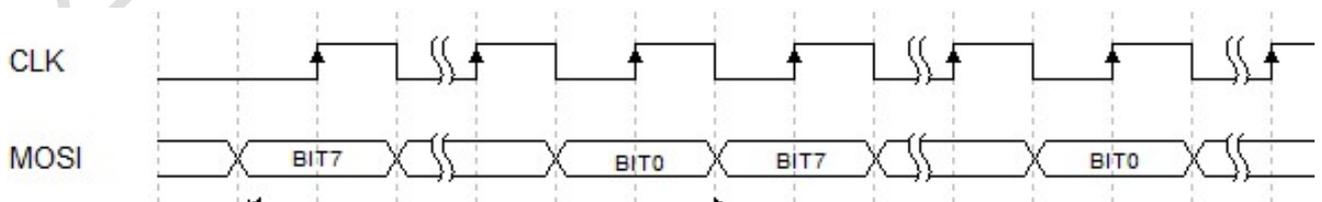


图 4 ZL9NSQ SPI 时序图

ZL9NSQ 芯片采用 SPI 数据通讯，遵循 ZLBUS 通讯协议。

ZL9NSQ Data Sheet

2.4.4 I²C 数据接口

I²C(Inter-Integrated Circuit)总线是一种两线式串行总线，用于连接微控制器及其外围设备。它是由数据线 SDA 和时钟线 SCL 构成的串行总线，可发送和接收数据。最高支持 I²C 总线波特率为 400kHz。ZL9NSQ 芯片作为从设备(Slave)使用。

- I²C Slave Address 0x4E (Bit 6 – Bit0)
- I²C 仅作为 ZL9NSQ 配置用途，I²C 不支持数据流输出
- I²C 数据交互采用固定包长 201 字节，201 字节中，第一字节表示后续 200 字节中有效数据长度，无效数据部分采用 0 填充

2.4.5 接口配置

Mode0、Mode1 为接口配置管脚（芯片内部下拉到低电平，上电锁存一次），下表定义了接口模式。如用户需要使用其他数据输出接口，可使用 ZL9NSQ 协议动态配置。用户通过电阻上下拉 Mode0、Mode1 电平来改变指令配置接口与数据输出接口。

Mode1	Mode0	指令配置接口	数据输出接口
X	X	UART	RF
Low (default)	Low (default)	UART	RF
Low	High	I ² C	RF
High	Low	UART	SPI
High	High	I ² C	SPI

表格 4 接口配置

注：UART、SPI、RF 接口同时兼容指令配置与数据输出，I²C 仅可用于指令配置无法获取实时数据流。

2.5 安装和对准

ZL9NSQ 输出的芯片数据和姿态数据都是基于图 2 芯片坐标系，用户在使用 ZL9NSQ 应尽可能将芯片与载体坐标系对准。正确的安装和对准对于实现良好的性能至关重要，ZL9NSQ 提供八种不同坐标系的对准方式，如不能严格按提供的八种方式对齐，用户应按实际安装方式对坐标系进行手动调整以保证输出姿态的准确性。

2.5.1 芯片坐标系

ZL9NSQ 芯片数据输出为机体坐标系，用户需根据芯片焊接方向调整外壳与芯片之间的对齐关系。

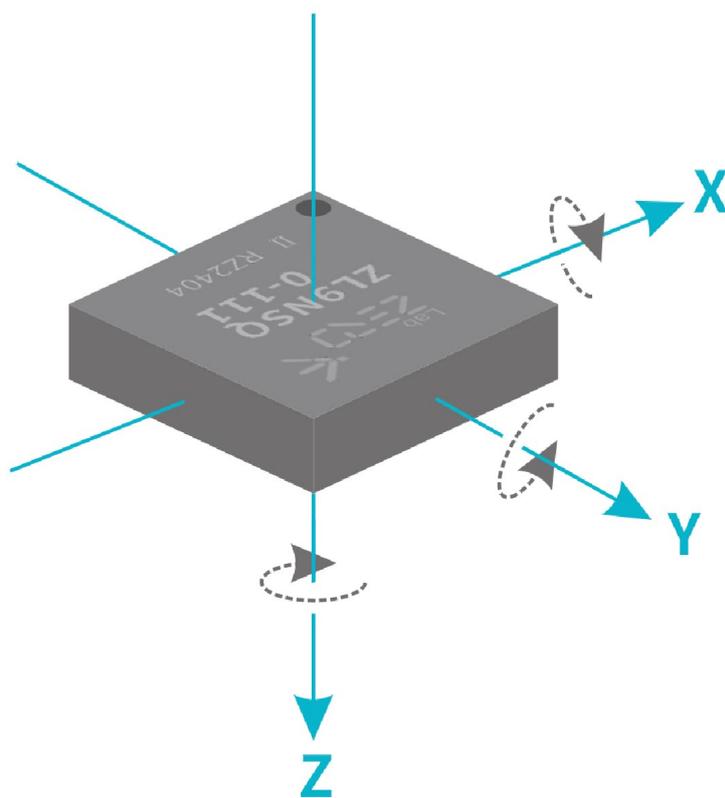


图 5 ZL9NSQ 坐标系方向（右手）

2.5.2 姿态坐标系（NED 坐标系）

NED（北东地）坐标系也被称为导航坐标系，通常被用于描述物体的位置、速度、姿态。坐标系的原点可以视为当前位置；从原点开始，北轴指向地理北，并与那里的纬度线平行；东轴指向垂直于北轴，平行于过该点的经线；地轴直接向下指向地球的中心。ZL9NSQ 姿态数据输出基于标准的 NED 坐标系，输出格式为四元数或欧拉角。

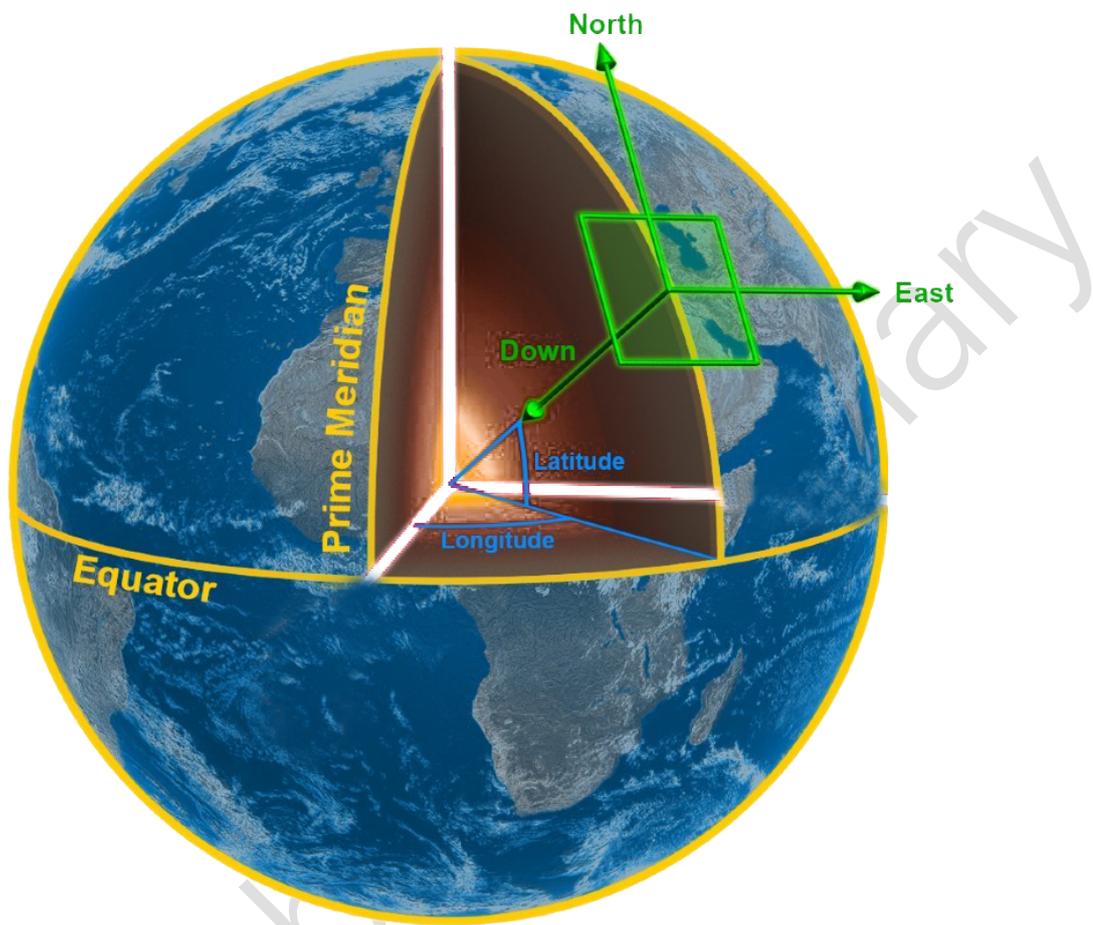
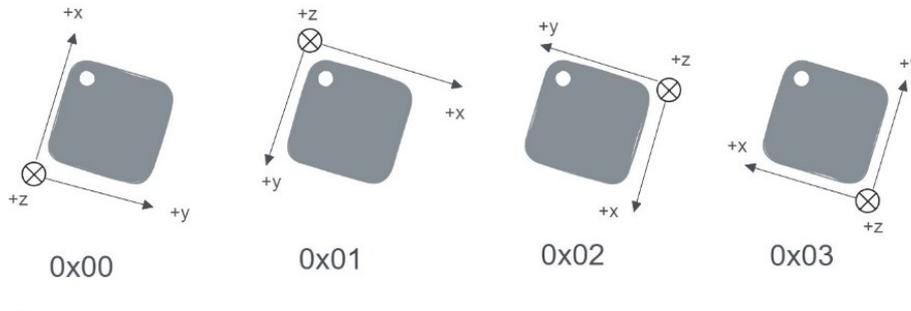


图 6 北东地坐标系

2.5.3 安装坐标系调整

1、IC焊接正面与外壳正面一致

注：坐标轴从正视角标注



2、IC焊接正面与外壳正面不一致

注：坐标轴从正视角标注

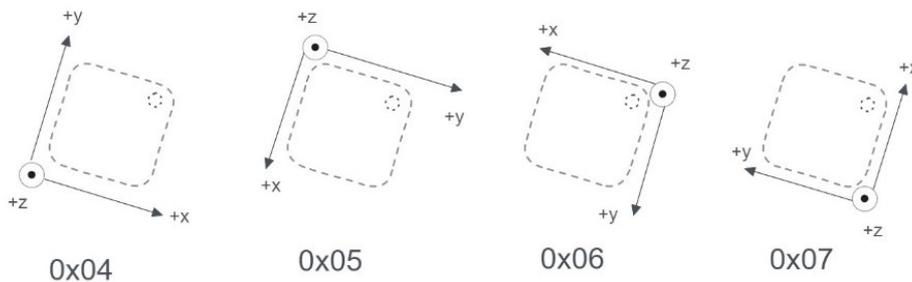


图 7 ZL9NSQ 安装坐标定义

3. 传感器数据:

ZL9NSQ 内部微处理器高速采集三轴加速计、三轴陀螺仪和三轴磁力计的原始数据，在线校准程序会对原始数据进行自动校准并输出校准以后的传感器数据。同时姿态解算程序会按用户的配置高速解算校准后的三轴加速计、三轴陀螺仪和三轴磁力计数据以保证三维姿态的准确性，用户配置姿态数据输出频率不会对三维姿态的精度造成影响。

3.1 传感器数据输出

ZL9NSQ 可输出经过内部在线校准程序校准后的三轴加速计、三轴陀螺仪和三轴磁力计数据，该数据基于 ZL9NSQ 芯片坐标系。如用于根据 2.3.3 调整坐标系则该输出为调整以后的坐标系数据。

3.1.1 加速度计数据输出

三轴加速度计用于测量物体的加速度（加速度计将地球重力作为加速度进行测量），由于地球重力的存在加速度计的输出并不

ZL9NSQ Data Sheet

能用于直接描述物体的加速度状态变化。ZL9NSQ 通过姿态解算算法将重力从加速度计数据中分离出来，获得基于芯片坐标系的线性加速度，从而为 ZL9NSQ 提供以下加速度输出：

- 校准后的加速度数据 (g)
- 线性加速度数据 (g)

请注意，以上数据必须通过单独的设置功能请求启用。

3.1.2 陀螺仪角速度数据输出

三轴陀螺仪用于测量物体的旋转角速度，ZL9NSQ 将报告与设备坐标系 X、Y、Z 轴的旋转，为右手坐标系。ZL9NSQ 内部在线校准程序对陀螺仪实时校准，以保证输出数据的准确性从而为 ZL9NSQ 提供以下角速度输出：

- 校准后的角速度数据 (deg/s)

请注意，以上数据必须通过单独的设置功能请求启用。

3.1.3 磁力计磁强度数据输出

磁力计测量环境磁场，用于确定绝对方位以实现和其他传感器的融合滤波。绝对方位可以理解为确定地球磁北极方向，并评估传感器相对于地球磁北极的方位。

测量磁场的复杂性在于环境磁场会因靠近铁质或磁性材料及电子设备而发生扭曲被称为磁场畸变，相对于室外环境室内环境中的磁场畸变尤为严重。通常由附近铁质或磁性材料造成的扭曲被称为硬铁效应，而由电子设备造成的扭曲被称为软铁效应。为了消除磁场畸变对传感器的影响，需对磁力计进行校准，ZL9NSQ 提供磁场校准指令，为保证芯片的正常工作应在使用磁力计数据前保证磁力计的良好校准，具体参见第 5 章“芯片校准”。ZL9NSQ 提供以下磁力计输出：

- 校准后的磁力计数据 (uT)
- 未校准的磁力计数据 (uT)

请注意，以上数据必须通过单独的设置功能请求启用。

3.2 姿态数据输出

三维姿态数据为 ZL9NSQ 姿态解算程序根据校准后的加速度计、陀螺仪和磁力计的数据解算得到的芯片三维姿态。用于估计姿态的方法历史悠久算法种类繁多，ZL9NSQ 复合数据融合算法提供用户配置指令可灵活调整滤波算法参数以满足不同应用需求。

3.2.1 磁辅助旋转矢量模式

磁辅助旋转矢量模式提供了基于 NED 坐标系（导航坐标系）的姿态输出，它以地球磁北极和地球重力为基准，为四元数形式表示的旋转矢量。它由加速度计、陀螺仪和磁力计的输出通过融合滤波算法合成。由于磁力计提供偏航角校正，磁辅助旋转矢量模式的绝对精度是各种模式中最高。（注：磁力计的正确校准是精度保证的前提。）

3.2.2 旋转矢量模式

与磁辅助旋转矢量模式不同旋转矢量模式不使用磁力计，由于没有磁力计的参与偏航角由初始时刻的设备姿态所决定，为四元数形式表示的旋转矢量。它由加速度计、陀螺仪的输出通过融合滤波算法合成。由于没有磁力计提供偏航角 (Yaw) 校正，

ZL9NSQ Data Sheet

长时间使用会存在偏航角 (Yaw) 方向的累积漂移。

3.2.3 稳定旋转矢量模式

磁辅助旋转矢量模式和旋转矢量模式由于融合滤波算法地球磁北极和地球重力会对滤波算法合成的旋转矢量进行实时修正。进而输出数据可能存在突然或者缓慢跳变进而造成对（增强或虚拟现实及其他人机交互）应用的干扰。典型问题为设备已处于静止状态，但设备输出的姿态信息仍在变化。稳定旋转矢量模式仅在运动时提供修正，从而在保证长时间三维姿态精度的同时改善用户体验。

3.3 姿态输出格式

3.3.1 四元数

四元数最早于 1843 年由 Sir William Rowan Hamilton 发明，作为复数(complex numbers)的扩展。直到 1985 年才由 Shoemake 把四元数引入到计算机图形学中。任意一个三维空间中的旋转都可以被表示为一个绕某个特定轴的旋转；给定旋转轴及旋转角度，很容易把其它形式的旋转表示转化为四元数或者从四元数转化为其它形式。同时四元数可以用于稳定的、经常性的旋转和插值，而这在其它形式姿态表达中是很难实现的。鉴于上述优点 ZL9NSQ 的默认姿态输出为四元数形式表达的旋转矢量。

3.3.2 欧拉角

磁辅助旋转矢量模式、旋转矢量模式、稳定旋转矢量模式除四元数形式表示的旋转矢量亦可输出基于欧拉角姿态描述方式：偏航角 (Yaw)，俯仰角 (Pitch)，横滚角 (Roll)。相对于四元数欧拉角姿态描述更为直观，但是旋转顺序对欧拉角有不可忽视的影响，同一姿态可由多组不同旋转顺序的欧拉角来描述，同时欧拉角描述旋转还面临万向节死锁问题。在实际使用中建议用户使用四元数形式表示的姿态，而欧拉角形式表示的姿态仅用于调试用途。

ZL9NSQ Data Sheet

4. 数据通讯协议

ZLBUS 数据通讯协议是天璽科技（上海）有限公司为满足不同通讯接口下对 ZL9NSQ 进行数据读取和配置的统一数据通讯协议。用户可通过 Mode0、Mode1 引脚对数据通讯接口进行选择，并使用 ZLBUS 数据通讯协议与 ZL9NSQ 实现数据交换。

ZL9NSQ 芯片具有数据流模式 (Streaming Mode) 和命令模式 (Command Mode) 两种通信模式。数据流模式下，ZL9NSQ 芯片以设定好的频率不断往外发送数据（发送的数据类型和格式可进行设置）。命令模式下，需通过发送指令与传感器进行通信，对 ZL9NSQ 芯片的参数进行设置。

4.1 ZLBUS 数据包结构

ZLBUS 通讯协议的每一个数据包的结构如下表所示：

命令模式 (Command Mode) 数据包结构

发送指令 (主机->芯片)

字节	名称	描述
0	帧头	0xAA
1	指令 ID	0xD5
2	数据长度 (低位字节)	包含所要传输的数据长度的低位字节
3	数据长度 (高位字节)	包含所要传输的数据长度的高位字节
4	子指令 ID	需要写入或读取的子指令 ID 号
5	RF_ID	0x3F
6	DOT_ID	0xFF
x	数据 (n 个字节)	数据 n 为数据长度-2
7+n	CheckXor	Xor 校验位

表格 5 ZLBUS 数据包结构

数据包中的数据部分，以下端格式传输，即低位字节在前，高位字节在后。

发送指令 (芯片->主机)

字节	名称	描述
0	帧头	0xAA
1	指令 ID	0xD5
2	数据长度 (低位字节)	包含所要传输的数据长度的低位字节
3	数据长度 (高位字节)	包含所要传输的数据长度的高位字节
4	应答 ID	操作成功返回应答 ID=子指令 ID; 如操作错误返回应答 ID=子指令 ID+0x80 (如操作子指令 ID 0x00,操作成功返回 0x00; 操作失败返回 0x80)
5	RF_ID	0x3F
6	DOT_ID	0xFF
7	错误码	仅操作错误返回错误码，如操作成功无错误码字段 (参见错误码表)
8	CheckXor	Xor 校验位

表格 6 ZLBUS 数据包结构

ZL9NSQ Data Sheet

数据流模式 (Streaming Mode) 数据包结构

字节	名称	描述
0	帧头	0xAA
1	指令 ID	0x10 (IMU 及姿态数据上报)、0x11(状态上报)、0x14(电池电量上报)
2	数据长度 (低位字节)	包含所要传输的数据长度的低位字节
3	数据长度 (高位字节)	包含所要传输的数据长度的高位字节
4	子指令 ID	需要写入或读取的子指令 ID 号
5	RF_ID	0x3F
6	DOT_ID	0xFF
7	流水号	数据流水号 0-255 循环 (默认)
x	数据 (n 个字节)	数据 n 为数据长度-2
8+n	CheckXor	Xor 校验位

表格 7 ZL9NSQ 数据包结构

4.2 ZL9NSQ 命令模式子指令 ID 列表

子指令 ID	名称	描述
0x00	设置数据上传格式	用户可根据需要, 选择上报的数据流数据格式
0x01	读取数据上传格式	读取当前数据流数据格式
0x02	设置采样频率	内部加速度计、陀螺仪的采样频率; IMU Motion Engine 依据采样频率进行解算
0x03	读取采样频率设置	读取内部加速度计、陀螺仪的采样频率
0x04	设置上报频率	设置数据流上报频率
0x05	读取上报频率	读取数据流上报频率
0x06	启动磁力计校准	启动磁力计校准
0x08	设置滤波参数	设置滤波参数
0x0A	清除滤波参数	清除滤波参数 (默认为)
0x0B	读取滤波参数	读取滤波参数设置
0x0C	配置芯片安装方向	配置芯片安装方向
0x0D	读取芯片安装方向	读取芯片安装方向
0x0E	配置 RF 设备名称	配置 RF 设备名称
0x0F	读取 RF 设备名称	读取 RF 设备名称
0x10	配置 RF 功率	配置 RF 功率
0x11	读取 RF 功率	读取 RF 功率
0x12	断开 RF 连接	断开 RF 连接
0x14	开启数据输出	开启数据输出
0x15	关闭数据输出	关闭数据输出
0x60	进入 LED 交互	进入 LED 交互
0x61	退出 LED 交互	退出 LED 交互
0x62	设置 LED 颜色	设置 LED 颜色

ZL9NSQ Data Sheet

0x63	读取 LED 颜色	读取 LED 颜色
0x64	设置串口波特率	设置串口波特率
0x65	读取串口波特率	读取串口波特率
0x77	获取 MAC 地址	获取 MAC 地址
0x79	获取设备完整序号	获取设备完整序号
0x7B	获取硬件版本号	获取硬件版本号
0x7D	获取固件版本号	获取固件版本号
0x7E	设备关机（或重启）	设备关机
0x7F	恢复出厂参数	恢复出厂参数

表格 8 ZLBUS 命令模式子指令 ID 列表

4.3 ZLBUS 数据流模式子指令 ID 列表

4.3.1 IMU 及姿态数据上报子指令 ID 列表

子指令 ID	名称	描述
0x00	9 轴数据	IC 姿态由加速度计、陀螺仪、磁力计融合组成
0x01	6 轴数据	IC 姿态由陀螺仪、磁力计融合组成
0x02	6 轴数据	IC 姿态由加速度计、陀螺仪融合组成
0x03	3 轴数据	IC 姿态由陀螺仪融合组成

表格 9 IMU 及姿态数据上报子指令 ID 列表

4.3.2 电池电量上报子指令 ID 列表

子指令 ID	名称	描述
0x00	电量+电压	百分比，范围 0x00 - 0x64（0% - 100%），电压值 单位 mv
0x01	电压	电压值 单位 mv
0x02	电量	百分比，范围 0x00 - 0x64（0% - 100%）

表格 10 电池电量上报子指令 ID 列表

注：具体参数可参考《ZLBUS 通讯协议用户使用手册》

ZL9NSQ Data Sheet

5. 芯片校准

ZL9NSQ 内部高性能 MCU 读取传感器数据，并根据设备运动学模型进行计算，最终确定设备的空间姿态。该模型的准确性取决于传感器提供数据的质量。

任何类型的传感器都不可避免有轻微缺陷，ZL9NSQ 使用的加速计、陀螺仪、磁力计也无法避免这些缺陷。用户需要根据应用场景对传感器进行校准从而保证 ZL9NSQ 能够提供满足应用需求的高质量姿态数据。加速计、陀螺仪、磁力计的缺陷通常表现为偏移 (Bias)、比例误差(Scale)、非正交误差 (Non-Orthogonality)、非线性误差 (Non-Linear) 等。

传感器数据的校准分为两类：

- 静态校准
- 动态校准

静态校准是对传感器结构性误差进行参数校正，静态误差表示不随时间或温度变化的偏移和比例误差。

静态校准参数参考如下：

- 加速度计（或陀螺仪或磁力计）非线性误差
- 加速度计（或陀螺仪或磁力计）比例误差
- 相对于设备参考框架的非正交误差

动态校准是对传感器随机性误差进行参数校正，动态误差表示随时间或温度的变化的误差。ZL9NSQ 内部动态校准算法会在传感器使用过程中持续运行，并根据需要实时调整校正参数。

动态校准参数参考如下：

- 陀螺仪零速率偏移

磁场校准是 ZL9NSQ 的一项附加功能。使用磁力计的主要目的是测量地球磁场，磁力计测量到的磁场会因附近存在铁质、磁性材料、电源电流等影响而造成环境磁场的失真。这些扭曲分别称为软铁效应和硬铁效应。ZL9NSQ 内部动态监控和校准算法可在设备运动过程中持续测量磁场的偏移和失真并不断估计和补偿,尽可能消除这些畸变对地球磁场的估计影响。但由于不同使用场景下特别是室内环境磁场环境的复杂程度，远离干扰源依然是提高地球磁场估计精度的最佳方法。

5.1 校准效果

5.1.1 校准指令

ZL9NSQ 内部算法允许用户通过数据通讯接口启用或禁用加速度计、陀螺仪和磁力计的动态校准。具体指令请参考《ZL9NSQ 用户指令参考手册》。

5.1.2 加速度计

加速度计的动态校准是消除加速度计零点偏移，当加速度计处于静止状态时的加速度测量值应仅为重力加速度，任何与重力加速度的偏差都是视为零重力偏移。这种现象最容易发现为当加速度计的一个轴垂直于地球时，另两个轴的读数应非常接近于零。当使用 ZL9NSQ 作为倾角仪使用时，加速度计的动态校准可能影响倾角测量的精度，用于应使用指令关闭动态校准并

ZL9NSQ Data Sheet

进行手动校准以保证倾角测量的准确性。

5.1.3 陀螺仪

陀螺仪的动态校准是消除陀螺仪零点偏移，当加速度计处于静止状态时的陀螺仪三个轴的测量值应非常接近于零值 0dps/sec。任何与零值的偏差都是视为陀螺仪零点偏移，陀螺仪零点偏移是一个非常重要的误差因素，会导致持续的漂移；其表现为设备处于静止状态但是算法输出的姿态仍在持续的变化。ZL9NSQ 会自动判断设备是否处于静止状态并在静止状态不断修正陀螺仪零点偏移，以保证陀螺仪零点偏移不会在静止状态产生持续漂移现象。

5.1.4 磁力计

磁力计可以测量设备周围的磁场，其典型用途是确定地球磁场北极的位置。但是在日常使用中设备周围的磁场会因扬声器、磁铁等（硬铁效应）或其他铁质材料的铁磁效应造成的磁场（软铁效应）而使得对失真。ZL9NSQ 可以动态校准磁力计的读数，以补偿这些失真。

5.2 校准过程

为获得最佳运动跟踪性能，建议对 ZL9NSQ 进行校准；由于每个 MEMS 传感器部件具有不同的特性，因此使用 ZL9NSQ 的每个设备都必须进行单独校准。

传感器	校准过程
加速度计	设备需被移动至 6-12 个不同的姿态并保持 12 秒钟以完成加速度计的校准
陀螺仪	设备需被放置在静止的水平面 10~20 秒钟以完成陀螺仪的校准
磁力计	设备需按沿设备的三个坐标轴做反复的旋转，每个轴的旋转不少于 10 秒钟

表格 11 校准过程列表

ZL9NSQ Data Sheet

6. 电气特性

6.1 极限值

	最小	最大	单位
工作电压			
VDD	-0.3	3.9	V
GND		0	V
环境			
存储温度	-40	125	°C

表格 12 极限值列表

6.2 推荐工作条件

Symbol	参数	最小	典型	最大	单位
VDD	工作电压	3.0	3.3	3.6	V
TA	工作温度	-40	25	85	°C

表格 13 推荐工作条件列表

6.3 功耗特性

参数	最小	典型	最大	单位
待机模式		3.3		uA
500hz 内部采样、250hz SDI 计算、50hz 蓝牙数据上报、+4dBm		15		mA
250hz 内部采样、250hz SDI 计算、50hz 蓝牙数据上报、0 dBm		13		mA
50hz 内部采样、50hz SDI 计算、10hz 蓝牙数据上报、-4dBm				mA

表格 14 功耗特性列表

6.4 RF 发射特性

参数	最小	典型	最大	单位
RF 输出功率	-40	0	4	dBm
频率范围	2400		2480	mHz

表格 15 RF 发射特性列表

ZL9NSQ Data Sheet

6.5 RF 接收特性

参数	最小	典型	最大	单位
RF 接收灵敏度		-93		dBm
最大输入信号强度		0	10	dBm

表格 16 RF 发射特性列表

Zerolab Preliminary

7. 推荐设计

7.1 原理图

如用内部蓝牙天线，L5 与 L6 需短接。

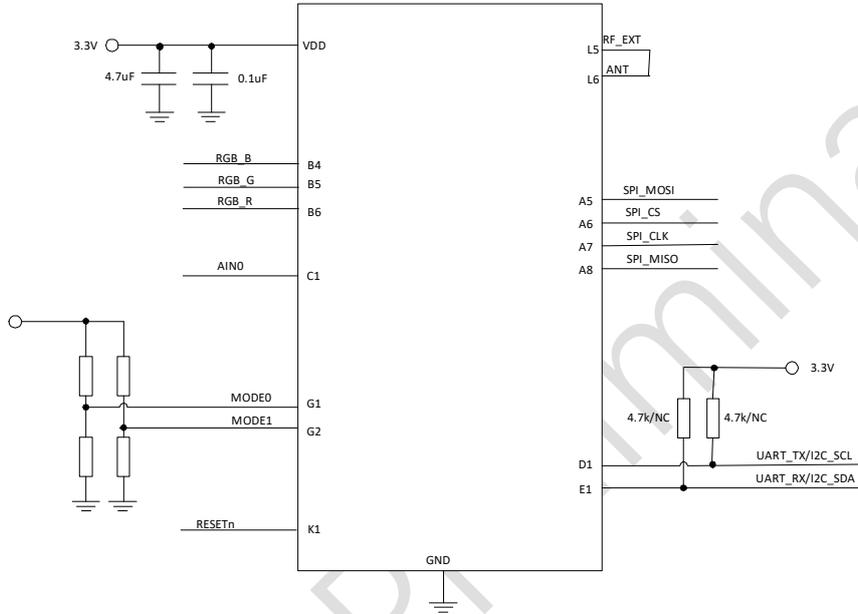


图 8 ZL9NSQ 内部天线原理图

外接天线，内部蓝牙天线 L6 ANT 管脚接 GND，参考原理图如下：

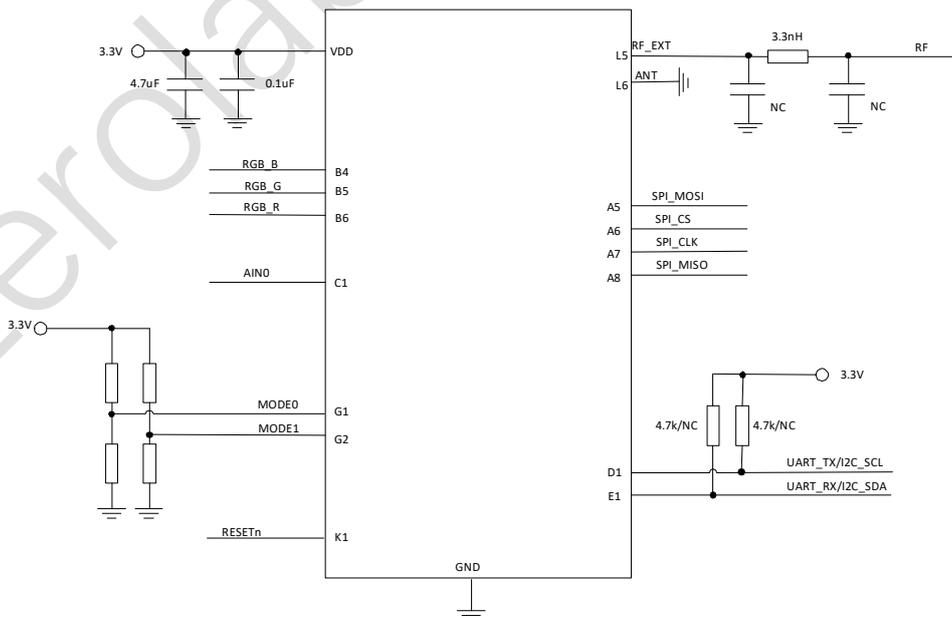


图 9 ZL9NSQ 外部天线原理图

ZL9NSQ Data Sheet

关于 MODE0,MODE1, 其接法要根据功能要求上拉电阻到 3.3V 或下拉电阻到地。

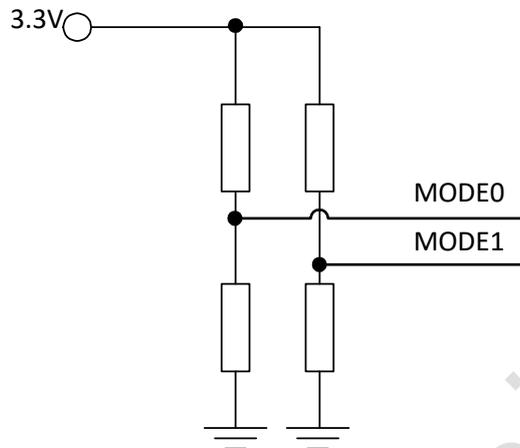


图 10 ZL9NSQ 模式配置原理图

参考 2.2.5 接口配置

如用到 I²C 配置, 则 I²C 信号需上拉 4.7K 电阻到 3.3V.

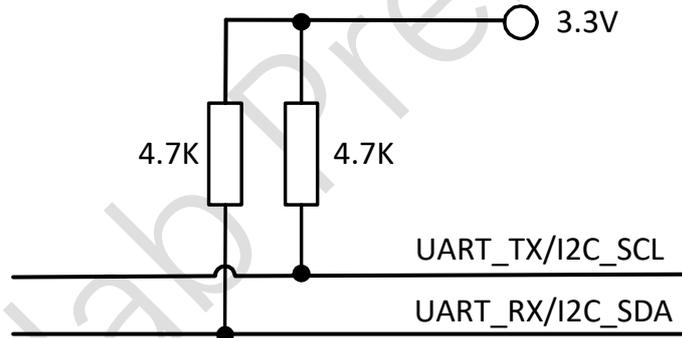


图 11 ZL9NSQ I²C 配置原理图

复位管脚 K1, 内部已经上拉, 如不用, 可以不接, 直接 NC

蓝牙呼吸灯参考电路, 采用三色 LED 灯, 可以根据需要闪烁不同颜色的灯光指示:

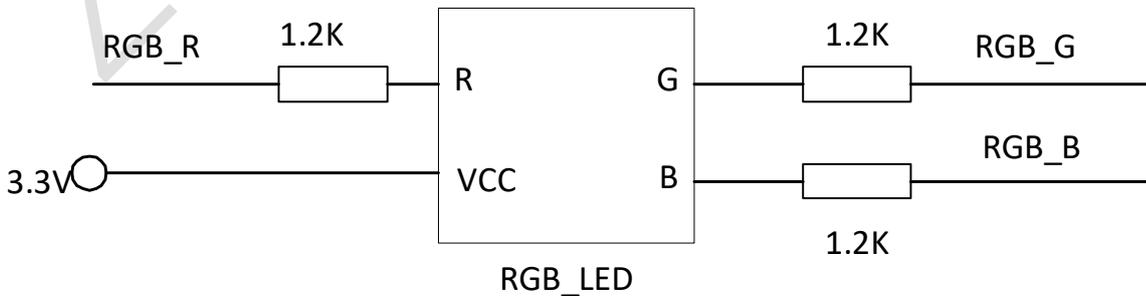


图 12 ZL9NSQ 蓝牙呼吸灯配置原理图

ZL9NSQ Data Sheet

电池检测，如用户用到电池，需要检测电池的电量，可以用模拟输入管脚 AIN0，电池电量采用电阻分压的方式，参考电路如下：

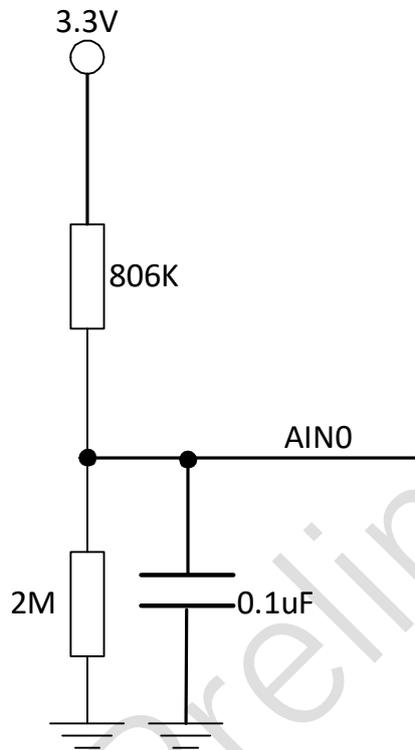


图 13 ZL9NSQ 电池电量检测原理图

供电电源 3.3V，建议供电 3.3V 的噪声电压不高于 50uVrms，参考电压设计电路如下：

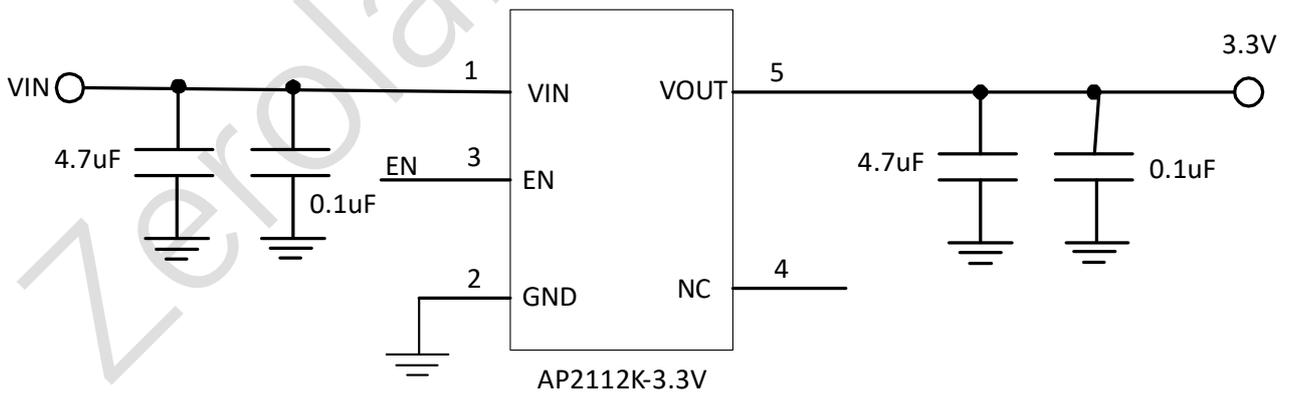
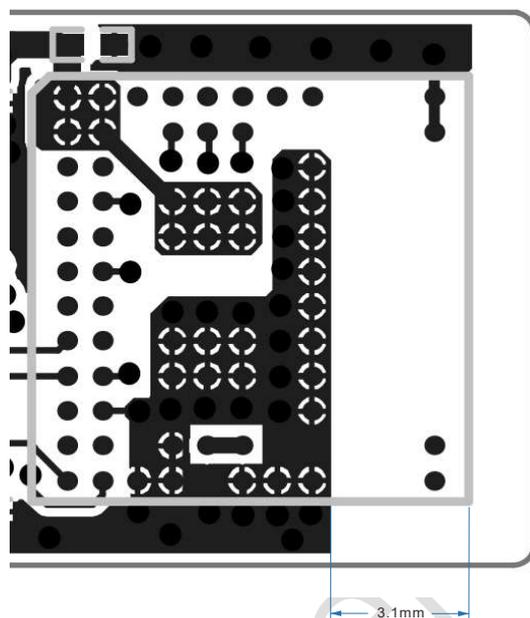


图 14 ZL9NSQ 稳压电源原理图

7.2 PCB Layout

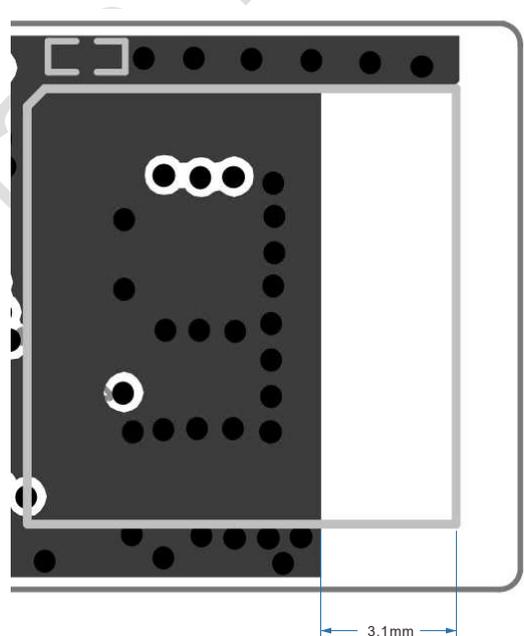
内部蓝牙天线，ZL9NSQ 芯片需放置在 PCB 的角落边沿，PCB Layout 参考示例，



Top Layer

图 15 ZL9NSQ 内部天线参考 PCB 设计图 (Top)

内部蓝牙天线下面的禁空区域，如图所示，GND 地线与芯片的边框距离为 3.1mm。



Other Layer

图 16 ZL9NSQ 内部天线参考 PCB 设计图 (Bottom)

ZL9NSQ Data Sheet

外接蓝牙天线，PCB Layout 参考示例如下图所示，LC 匹配电路后的 RF 走线需保证 50 欧姆阻抗射频走线。

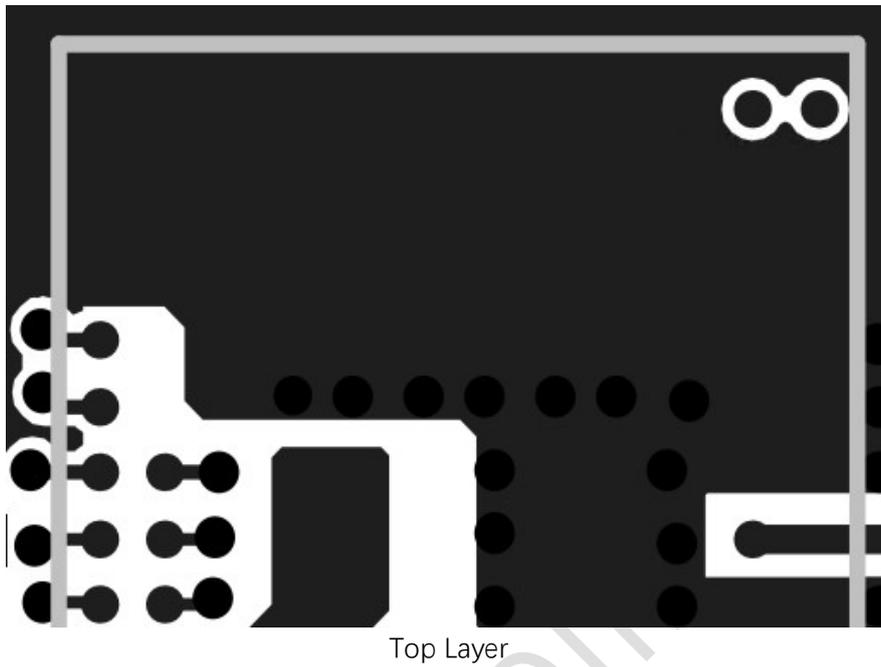


图 17 ZL9NSQ 外部天线参考 PCB 设计图 (Top)

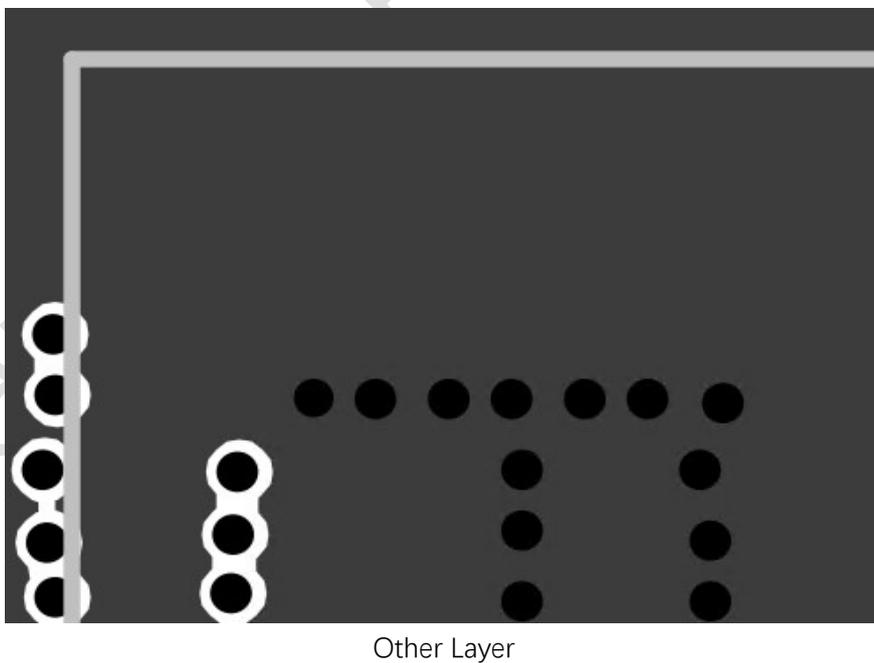


图 18 ZL9NSQ 外部天线参考 PCB 设计图 (Bottom)

ZL9NSQ Data Sheet

8.封装信息

8.1 封装图

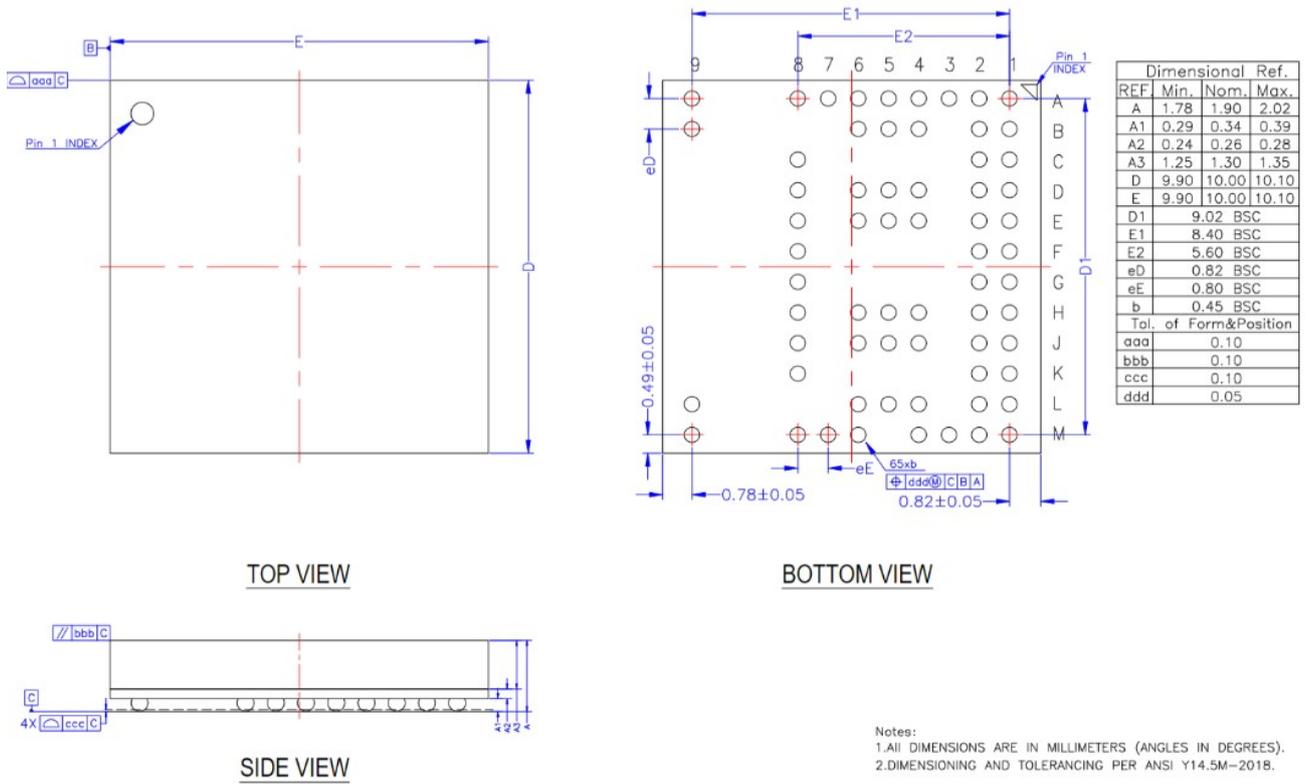


图 19 ZL9NSQ 封装尺寸图

ZL9NSQ Data Sheet

8.2 焊接指导

Process parameter	
Pre-heat	Ramp up rate to T_{SMIN}
	T_{SMIN}
	T_{SMAX}
	t_s (from 25 °C)
	t_s (Pre-heat)
Peak	T_L
	t_L (time above T_L)
	T_p (absolute max)

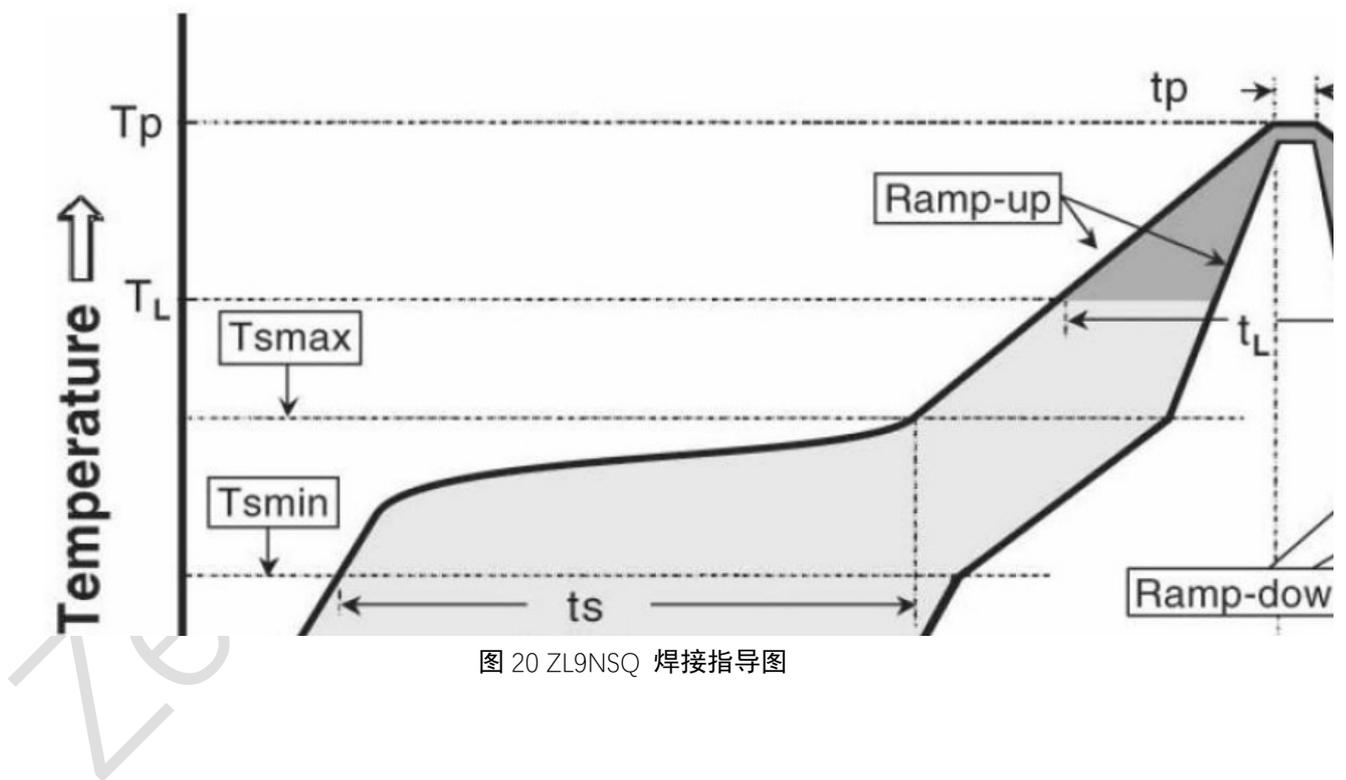


图 20 ZL9NSQ 焊接指导图

9 基础知识

本章是一个学习参考文献，方便您了解使用 ZL9NSQ 产品的必要知识。它用简单的术语解释了这些概念，这样不熟悉该技术的人就可以理解它。

INS:

INS 代表惯性导航系统：惯性导航系统可以提供类似于 GPS 全球定位系统的位置和速度，但有一些很大的差异。惯性导航的原理是利用加速度计测量加速度。然后将这个加速度积分得到速度。然后，将速度积分得到位置；同时陀螺仪积分得到姿态角，通过姿态角将前面得到的速度和位置转换到指定的坐标系下。由于测量中的噪声和通过积分对噪声的混合，惯性导航的误差随着时间的推移呈指数级增长。惯性导航系统在短时间内的相对误差较低，但在长时间后，误差会显著增加。

AHRS:

AHRS 代表姿态航向参考系统。一个 AHRS 使用加速度计、陀螺仪和磁力计结合在一个数学算法中来提供方向但不提供速度和位置。方向由横滚角 (Roll)、俯仰角 (Pitch) 和偏航角 (Yaw) 组成。

横滚、俯仰和偏航:

方向可以用绕三轴旋转的角度：横滚、俯仰和偏航来描述，这些都被称为欧拉角。横滚、俯仰和偏航的旋转轴如图 1 所示。横滚是围绕 X 轴的角度，当芯片完全水平时为零，取值范围为 $[-\pi, \pi]$ 。俯仰是围绕 Y 轴的角度，当芯片完全水平时为零，取值范围为 $[-\pi/2, \pi/2]$ 。偏航是围绕 Z 轴的角度，当 X 轴指向真北时为零，取值范围为 $[0, 2\pi]$ 。

旋转顺序:

当将多个轴旋转时，要得到最终方向，三个旋转必须先按顺序进行，首先是偏航，然后俯仰，最后是横滚。要推导出最终方向，应首先考虑芯片水平放置的情况，X 轴指向北，Z 轴指向向下。首先应用偏航，然后应用俯仰，最后应用横滚，给出最终的方向。使用欧拉角表示的旋转时，相同的旋转可由不同顺序的不同旋转角度表示；故应确保用户在使用芯片是遵循芯片定义的旋转顺序。

万向节死锁:

万向节死锁 (Gimbal Lock) 是用欧拉角定义旋转时，产生的在某一情况下旋转轴重合导致的系统丢失自由度的情况。