



# 数据表 MTi 1-系列

## 3D AHRS/VRU/IMU 模块

文档 MT0512P, 版本 D, 2016 年 12 月 5 日

### 产品特性

- 12.1 x 12.1 mm 模块上全性能 AHRS
- 翻转/俯仰精确度（动态）1.0 度
- 航向精确度 2.0 度
- 对主处理器要求极低
- 产品全生命周期统一接口
  - 无硬件/软件接口变化
  - 不停产
- 始终是最佳内置惯性传感器
- 业界领先的带振动抑制功能信号处理流水线（AttitudeEngine™）
- 稳健且精准的姿态算法（XKF3™）
- 与所有 Xsens 运动跟踪器 API 兼容
  - ARM® mbed™ 驱动器和示例
- 低功率（3.0V 时为 45 mW）
- 兼容 PLCC28 PCB（12.1 x 12.1 x 2.6 mm）

### 应用

- 小型飞行器
- 重工业/农业
- 机器人，行人航位推算
- 工业级 VR/AR，HMD 和手持设备

### 相关资源

- [www.xsens.com/MTi-1-series](http://www.xsens.com/MTi-1-series)
- MTi 1-系列 DK 用户手册（MT0513P）
- MT 低级通信协议文档（MT0101P）
- MTi 白皮书：下一代工业用 Xsens 运动跟踪器

### 说明

MTi 1-系列是输出 3D 姿态，3D 角速度，3D 加速度，3D 磁场的模块，视产品配置而定。该模块可用作惯性测量装置（IMU）、垂直参考装置（VRU）和姿势与航向参考系统（AHRS）。

该全功能自含式模块可以通过添加有限的硬件组件进行简易设计。文档齐全的行业标准通信协议考虑到数据、频率、输出格式方面的数据消息的自定义。信号完全在板上进行处理，只占用主机很少的资源，非常适合简单 MCU 操作环境的应用。主机可以读出 SPI，I<sup>2</sup>C 或 UART 的数据。

在动态条件下，翻转俯仰准确度达到 1 度 RMS，偏转精确度达到 2 度 RMS，输出对于任何物体和导航如无人机的控制和稳定性非常优秀。

产品	MTi-1 IMU	MTi-2 VRU	MTi-3 AHRS
输出			
运动数据	•	•	•
磁场	•	•	•
俯仰/翻转		•	•
航向跟踪		•	•
有基准的偏航			•

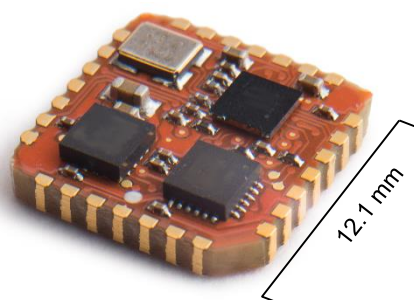


图 1：MTi 1-系列

# 1 目录

<b>2</b>	<b>一般信息</b>	<b>3</b>
2.1	订购信息	3
2.2	框图	3
2.3	典型应用	4
2.4	引脚布局	4
2.5	引脚图	5
2.6	引脚描述	6
2.7	外设接口选择	6
2.7.1	外设接口结构	7
2.7.2	Xbus 协议	7
2.7.3	MTSSP 同步串行协议	7
2.7.4	I <sup>2</sup> C	11
2.7.5	SPI	13
2.7.6	UART 半双工	15
2.7.7	带 RTS/CTS 流量控制的 UART 全双工	16
2.8	建议使用的外部元件	17
<b>3</b>	<b>MTi 1-系列结构</b>	<b>18</b>
3.1	MTi 1-系列配置	18
3.1.1	MTi-1 IMU	18
3.1.2	MTi-2 VRU	18
3.1.3	MTi-3 AHRS	18
3.2	信号处理通道	19
3.2.1	捷联式集成	19
3.2.2	XKF3™ 传感器融合算法	19
3.2.3	MTi 1-系列所采用的基准帧	20
<b>4</b>	<b>3D 姿态与性能规格</b>	<b>21</b>
4.1	3D 姿态规格	21
4.2	传感器规格	21
<b>5</b>	<b>传感器校准</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>系统与电气规格</b>	<b>24</b>
6.1	接口规格	24
6.2	系统规格	24
6.3	电气规格	25
6.4	绝对最大额定值	25
6.5	合规性	25
<b>7</b>	<b>MTi 1-系列设置和输出</b>	<b>26</b>
7.1	信息结构	26
7.2	输出设置	27
7.3	MTDATA2	28
7.4	同步与时序	29
<b>8</b>	<b>磁干扰</b>	<b>30</b>
8.1	磁场映射	30
8.2	运行罗盘校准 (ICC)	30
8.3	有效的航向稳定性 (AHS)	30
<b>9</b>	<b>封装与处理</b>	<b>31</b>
9.1	封装图纸	31
9.2	安装考虑	31
9.3	封装	32
9.3.1	托盘包装信息	32
9.3.2	卷轴包装信息	33
9.4	回流焊规格	34
<b>10</b>	<b>商标和修订</b>	<b>35</b>
10.1	商标	35
10.2	修订	35

## 2 一般信息

### 2.1 订购信息

器件编号	输出	封装	封装方法
MTI-1-8A7G6T	IMU；惯性数据	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	20 个一托盘
MTI-2-8A7G6T	VRU；惯性数据、俯仰/翻转（有基准）、偏航（无基准）	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	20 个一托盘
MTI-3-8A7G6T	AHRS；惯性数据、俯仰/翻转/偏航	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	20 个一托盘
MTI-1-8A7G6R	IMU；惯性数据	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	250 个一卷带
MTI-2-8A7G6R	VRU；惯性数据、俯仰/翻转（有基准）、偏航（无基准）	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	250 个一卷带
MTI-3-8A7G6R	AHRS；惯性数据、俯仰/翻转/偏航	PCB，兼容 JEDEC-PLCC-28	250 个一卷带
MTi-3-8A7G6-DK	MTi 1-系列开发套件，包括 MTi-3-8A7G6		单个

### 2.2 框图

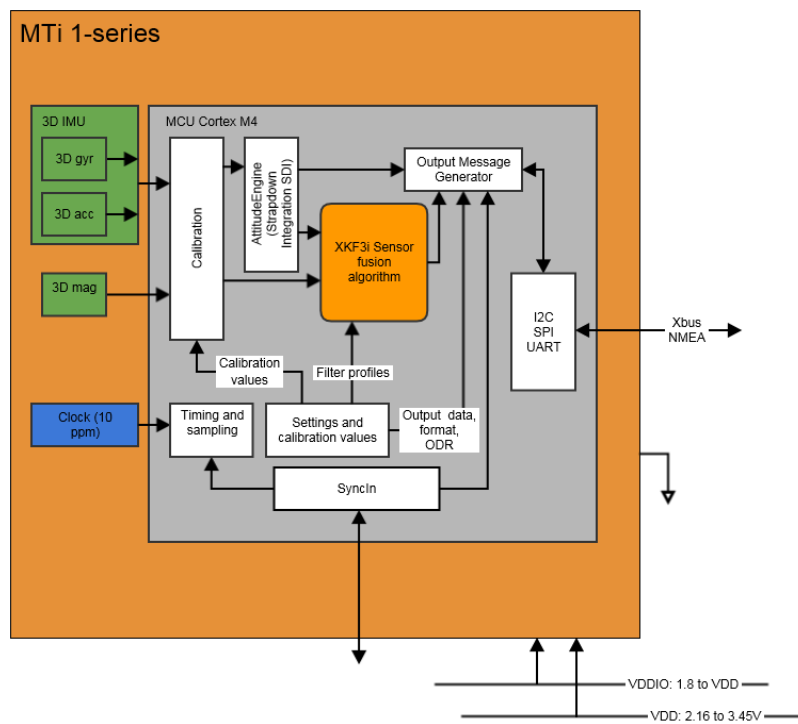


图 2：MTi 1-系列模块方框图

2.3 典型应用

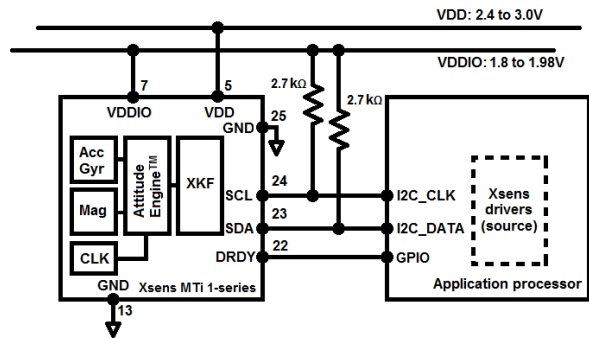


图 3：典型应用

2.4 引脚布局

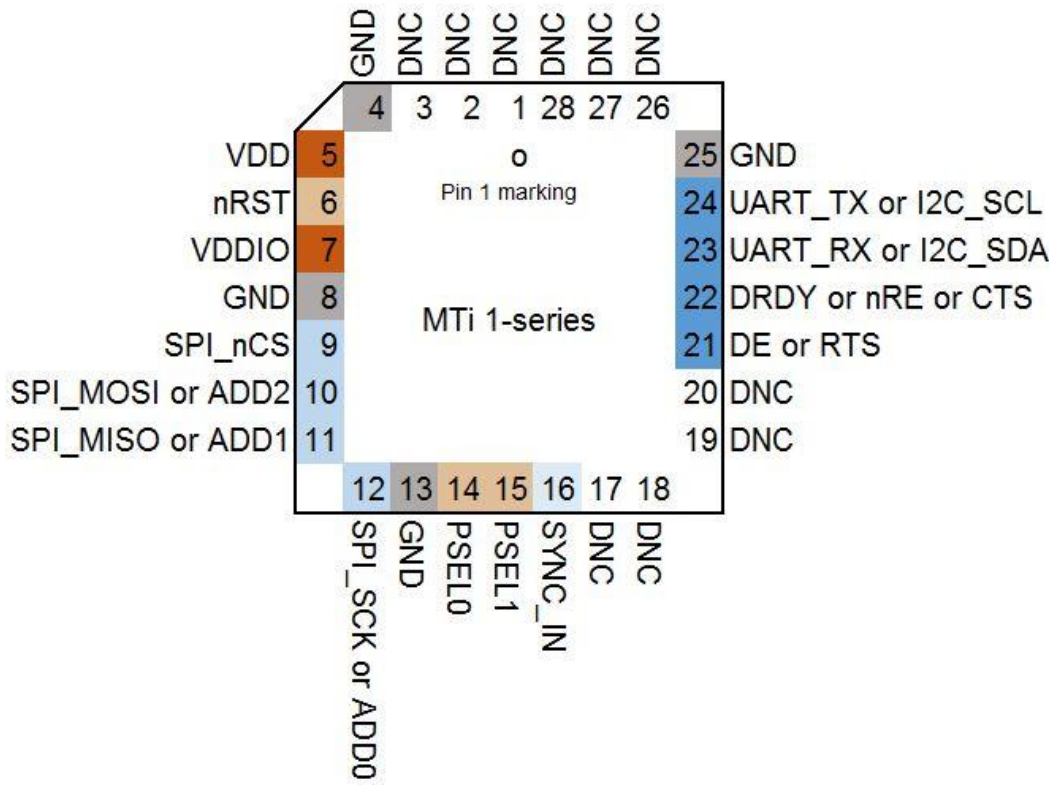


图 4：MTi-1 系列模块引脚配置（俯视图）

## 2.5 引脚图

引脚图视外设选择而异。如何设置外设参见 2.7。

	<b>PSEL: I<sup>2</sup>C</b>	<b>PSEL: SPI</b>	<b>PSEL: UART 半双工</b>	<b>PSEL: UART 全双工</b>
1	DNC	DNC	DNC	DNC
2	DNC	DNC	DNC	DNC
3	DNC	DNC	DNC	DNC
4	GND	GND	GND	GND
5	VDD	VDD	VDD	VDD
6	nRST	nRST	nRST	nRST
7	VDDIO	VDDIO	VDDIO	VDDIO
8	GND	GND	GND	GND
9	DNC	SPI_NCS	DNC	DNC
10	ADD2 <sup>1</sup>	SPI_MOSI	DNC	DNC
11	ADD1	SPI_MISO	DNC	DNC
12	ADD0	SPI_SCK	DNC	DNC
13	GND	GND	GND	GND
14	PSEL0	PSEL0	PSEL0	PSEL0
15	PSEL1	PSEL1	PSEL1	PSEL1
16	SYNC_IN	SYNC_IN	SYNC_IN	SYNC_IN
17	DNC	DNC	DNC	DNC
18	DNC	DNC	DNC	DNC
19	DNC	DNC	DNC	DNC
20	DNC	DNC	DNC	DNC
21	DNC	DNC	DE	RTS
22	DRDY	DRDY	nRE	CTS <sup>2</sup>
23	I2C_SDA	DNC	UART_RX	UART_RX
24	I2C_SCL	DNC	UART_TX	UART_TX
25	GND	GND	GND	GND
26	DNC	DNC	DNC	DNC
27	DNC	DNC	DNC	DNC
28	DNC	DNC	DNC	DNC

<sup>1</sup> I<sup>2</sup>C 地址，参见 表 2: I2C 地址表。

<sup>2</sup> 如果接口设置为 UART 全双工，那么 CTS 不能断开连接。如果未使用 HW 流量控制，则连接至 GND。

## 2.6 引脚描述

名称	类型	说明
电源接口		
VDD	供电	感测元件的电源电压
VDDIO	供电	数字输入/输出电源电压
控制		
PSEL0	选择引脚	这些引脚决定信号接口。见下表。注意当 PSEL0/PSEL1 断开连接时，其值为 1。将 PSEL0/PSEL1 连接至 GND 时，值是 0
PSEL1		
nRST		低电平有效复位引脚。仅可通过开漏输出，或瞬时（可触摸）切换至 GND 来驱动。因为此线路也用于内部复位，所以在正常运行时，该引脚必须处于浮置状态。该引脚对于 VDDIO 有内部的上拉作用。
ADD2	选择引脚	I <sup>2</sup> C 地址选择线路。
ADD1		
ADD0		
数字接口		
I2C_SDA	I <sup>2</sup> C 接口	I <sup>2</sup> C 串行数据
I2C_SCL		I <sup>2</sup> C 串行时钟
SPI_nCS	SPI 接口	SPI 芯片选择（低电平有效）
SPI_MOSI		SPI 串行数据输入（从）
SPI_MISO		SPI 串行数据输出（从）
SPI_SCK		SPI 串行时钟
RTS	UART 接口	UART 中硬件流控制全双工模式（准备发送）
CTS		UART 全双工模式（清除发送）中的硬件流量控制。如果未使用流量控制，则连接至 GND。
nRE		UART 接收器控制信号半双工模式
DE		UART 发射器控制信号半双工模式
UART_RX		接收器数据输入
UART_TX		发射器数据输出
SYNC_IN	同步接口	SYNC_IN 接受触发器，该触发器会对外发送最新的可用数据信息。该输入在软件中称为“ln 1”。
DRDY	数据就绪	数据就绪针显示有数据提供（SPI / I <sup>2</sup> C）

## 2.7 外设接口选择

MTi 1-系列的设计可使其能在嵌入式系统中作为外围装置来使用。该模块支持通用异步收发器（UART）、内置集成电路总线（I<sup>2</sup>C）与串行外设接口（SPI）协议。I<sup>2</sup>C 与 SPI 协议非常适合集成总线与板载外围设备之间的通信。MTi 1-系列系列模块有四个外设接口模式。一次只能使用一种模式。具体是哪种模式由外设选择引脚 PSEL0 与 PSEL1 在启动时所处的状态而决定。表 1 详述了 PSEL 线路是如何选择外设接口的。注意该模块具有内部上拉功能。值为 1 时不连接 PSEL；值为 0 时连接 PSEL 至 GND。请访问 <https://developer.mbed.org/teams/Xsens> 了解嵌入系统的通信示例。

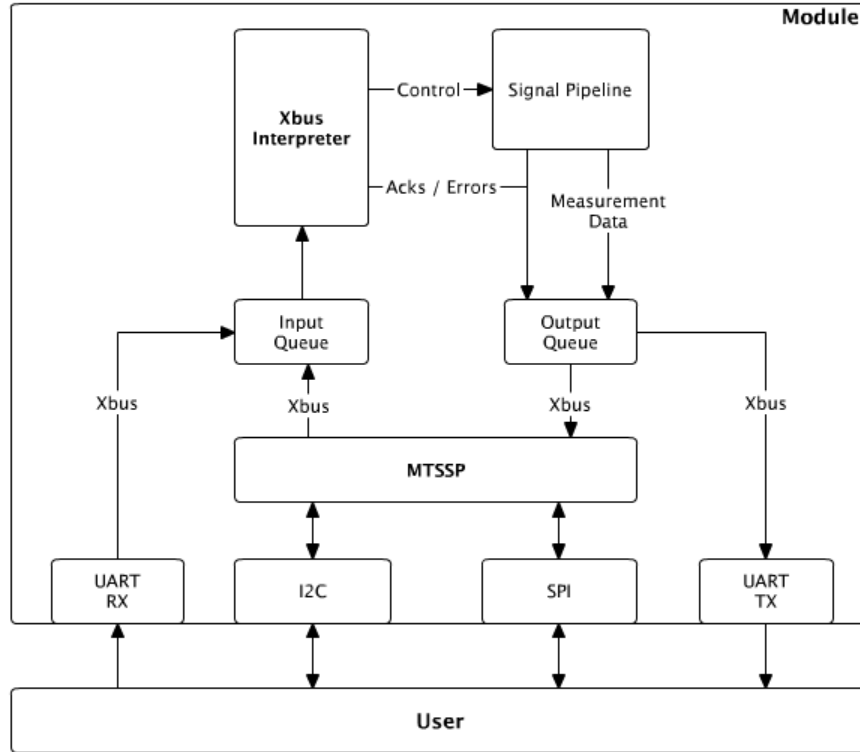
表 1. 外设接口选择

接口	PSEL0	PSEL1
I <sup>2</sup> C	1	1
SPI	0	1
UART 半双工	1	0
UART 全双工	0	0

### 2.7.1 外设接口结构

作为内核，该模块使用 Xsens 专有的 Xbus 协议，与所有 Xsens 运动跟踪器产品兼容。这个协议适用于所有接口、UART（异步串口接口）和 I<sup>2</sup>C 及 SPI 总线。I<sup>2</sup>C 与 SPI 总线与 UART 不同之处在于它们是异步的，并具有主从关系。在这种关系中，从处理器不能独立发送数据。它使得 Xbus 协议不能直接传输数据至这些总线。鉴于此，引入了 MTSSP 协议来实现 Xbus 标准协议与 I<sup>2</sup>C 与 SPI 总线之间的信息交流。

下图说明了 MTSSP 是如何置于模块（简化的）通信结构中的。模块具有通用输入与输出队列，用于 Xbus 协议信息。对于 I<sup>2</sup>C 与 SPI，这些信息将通过 MTSSP 层进行传输。而对于 UART 连接，这些信息以其固有形式传输。



### 2.7.2 Xbus 协议

Xbus 协议是一种专有协议，允许与 MTi 1-系列直接通过接口相连。可在低层通信协议文件中找到有关 Xbus 协议的信息。第 7 节对 Xbus 协议做了简短介绍。建议在了解 MTSSP 的释义前，先阅读 [这段介绍](#)。

### 2.7.3 MTSSP 同步串行协议

用于 I<sup>2</sup>C 与 SPI 两者的通信协议称之为 MTSSP（MT 同步串行协议）。同时也在 ARM® mbed™ 示例程序中执行（见 <https://developer.mbed.org/teams/Xsens>）。

#### 数据流

MTSSP 按主从模式进行通信。当模块的用户/集成器总是作为主处理器使用，MTi 1-系列模块将始终执行从处理器角色。

通信总是由主处理器发出并驱动；主处理器既可以写入数据至模块，也可以从模块中读取数据。主处理器向模块发出信息以对其进行控制。这些信息都是压缩的 Xbus 信息。一般情况下，一条压缩的 Xbus 信息等同于一条常规 Xbus 信息。仅当删除了报头与 BusID 以节省带宽时，两者才有差异。校验和的计算通过假定 BusID 值为 0xFF（主处理器装置）来完成。

模块处理所接收的控制信息需要时间。它将在准备就绪后发出确认信息。为在主处理器端获得这些确认信息，主处理器需要对其进行读取。

下图阐释了主处理器与模块之间的数据流：

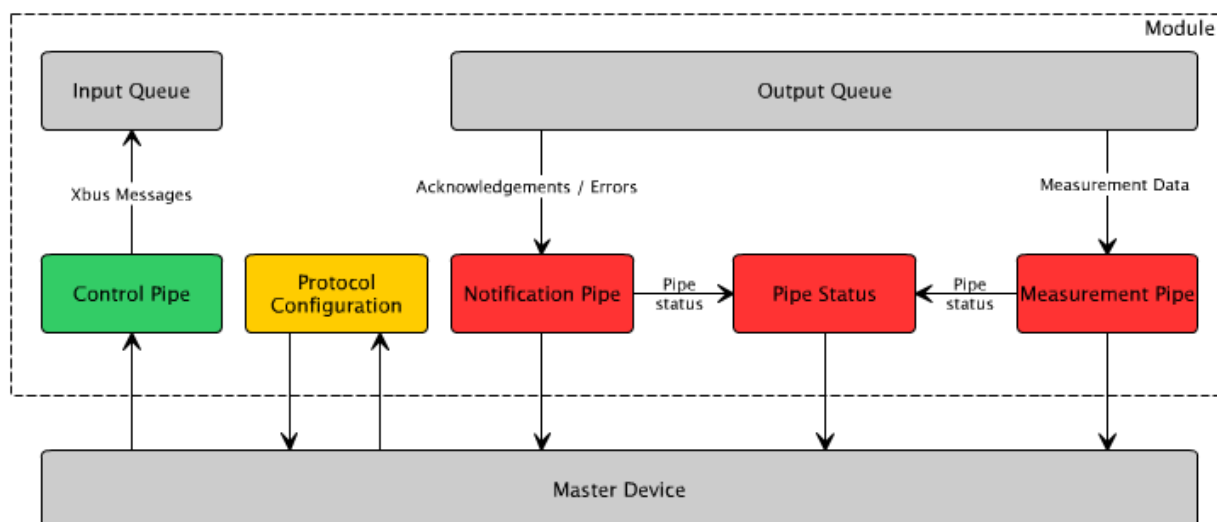


图 6：MTSSP 中的数据流

### 数据就绪信号

数据就绪信号（DRDY）是一条由模块驱动的通知线路。它的默认行为就是指示新数据的可行性。它既可以利用通知也可以通过测量通道执行。在默认设置中，线路处于空闲低电平状态，并在通道中含有内容时上升。当两条通道都为空时，DRDY 线路会再次回到低电平状态。主处理器可以改变 DRDY 信号的行为。

它可以将极性更改为高电平空闲，输出类型也可以在推-拉与开漏电路之间切换。特定通道状态可以忽略。例如，可以将其配置为此种形式：通知通道中存在数据但并不影响 DRDY 引脚的状态。

### 操作码

定义了如下操作码。

操作码	名称	读/写	说明
0x01	协议信息	读	协议行为的状态、协议版本
0x02	配置协议	写	改进协议，例如，DRDY 引脚的行为、通道的行为
0x03	控制通道	写	用于向模块发送控制信息
0x04	通道状态	读	为读取通道提供状态信息
0x05	通知通道	读	用于读取非测量数量：来自模块的错误确认与其他通知
0x06	测量通道	读	由模块生成的所有测量数据均适用于测量通道



### 协议信息 (0x01)

协议信息操作码允许主处理器读取有效的协议配置。该信息格式如下（所有数据均为均为小端序，字节对齐）：

```
struct MtsspInfo
{
    uint8_t m_version;
    uint8_t m_drdyConfig;
};
```

m\_version

7	6	5	4	3	2	1	0
版本 【7:0】							

m\_drdyConfig

位 7:4	保留供将来使用
Bit 3	<b>MEVENT</b> : 测量通道 DRDY 事件开启 0: DRDY 事件生成关闭 1: DRDY 事件生成开启
Bit 2	<b>NEVENT</b> : 通知通道 DRDY 事件开启 0: DRDY 事件生成关闭 1: DRDY 事件生成开启
Bit 1	<b>OTYPE</b> : DRDY 引脚输出类型 0: 推/拉 1: 开漏电路
Bit 0	<b>POL</b> : DRDY 信号的极性 0: 低电平空闲 1: 高电平空闲

### 配置协议 (0x02)

协议信息操作码允许主处理器变更有效的协议配置。该信息格式如下（所有数据均为均为小端序，字节对齐）：

```
struct MtsspConfiguration
{
    uint8_t m_drdyConfig;
};
```

m\_drdyConfig

位 7:4	保留供将来使用
Bit 3	<b>MEVENT</b> : 测量通道 DRDY 事件开启 0: DRDY 事件生成关闭 1: DRDY 事件生成开启
Bit 2	<b>NEVENT</b> : 通知通道 DRDY 事件开启 0: DRDY 事件生成关闭 1: DRDY 事件生成开启
Bit 1	<b>OTYPE</b> : DRDY 引脚输出类型 0: 推/拉 1: 开漏电路
Bit 0	<b>POL</b> : DRDY 信号的极性 0: 高电平空闲 1: 低电平空闲

**控制通道 (0x03)**

控制通道操作码允许主处理器将信息写入控制通道。紧随操作码之后的字节将解析为单条（压缩的）Xbus 信息

**通道状态 (0x04)**

通道操作码允许主处理器恢复模块的“通知与测量”通道的状态。该信息格式如下（所有数据均为小端序，字节对齐）：

```
struct MtsspConfiguration
{
    uint16_t m_notificationMessageSize;
    uint16_t m_measurementMessageSize;
};
```

**通知通道 DRDY (0x05)**

通知通道操作码用于从通知通道读取数据。读取的数据是单条压缩的 Xbus 信息

**测量通道 (0x06)**

测量通道操作码用于从测量通道端读取数据。读取的数据是单条压缩的 Xbus 信息

### 2.7.4 I<sup>2</sup>C

MTi 1-系列支持固件 1.0.6 的 I<sup>2</sup>C 传输层。注意，固件版本 1.0.3 及以下的设备不能升级以支持该协议。

MTi 1-系列模块作为 **I<sup>2</sup>C 从处理器**。主处理器定义为 MTi 1-系列模块的用户。

I<sup>2</sup>C 从处理器地址由 ADD0、ADD1 和 ADD2 引脚决定。这些引脚在内部均处于上拉状态，因而当它们没有连接时，默认地址选择为 ADD【0.2】= 111。

**注意：**当模块在开发套件中时，I<sup>2</sup>C 地址连接不能断连。

表 2. I<sup>2</sup>C 地址表

I <sup>2</sup> C 地址	ADD0	ADD1	ADD2
0x1D	0	0	0
0x1E	1	0	0
0x28	0	1	0
0x29	1	1	0
0x68	0	0	1
0x69	1	0	1
0x6A	0	1	1
0x6B (default)	1	1	1

表 3. 实现的 I<sup>2</sup>C 总线协议功能

功能	从处理器要求	MTi 1-系列
7 位从处理器地址	强制	是
10 位从处理器地址	可选	否
确认	强制	是
判优	不适用	不适用
时钟展宽	可选	是 <sup>3</sup>
器件 ID	可选	否
通用呼叫地址	可选	否
软件复位	可选	否
开始字节	不适用	不适用
开始条件	强制	是
停止条件	强制	是
同步	不适用	不适用

#### 将数据写入模块

写操作包括一个单独的 I<sup>2</sup>C 写传输。MTi 1-系列的主处理器地址以及发送的第一个字节被模块识别为操作码。后续的字节为实际消息。模块对收到消息的实际处理由操作码决定。

一个模块可接收的最大消息大小为 512 字节。如果主处理器发送超过 512 字节的消息，模块会重置其接收缓存，将接收到的消息减少到只保留多出的字节。

<sup>3</sup> MTi-1 系列模块依靠 I<sup>2</sup>C 时钟展宽功能来克服处理时间中的波动。要求主处理器支持此功能。

下图展示了写消息的操作：

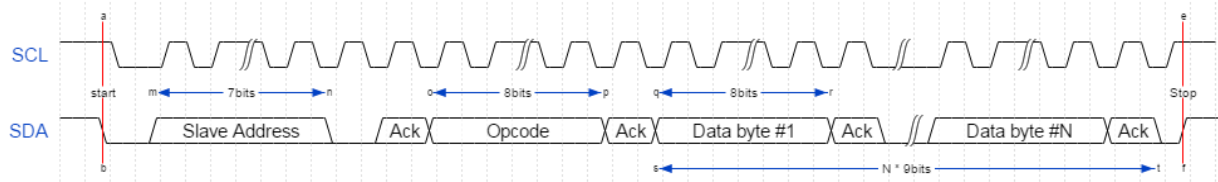


图 7：I<sup>2</sup>C 写消息操作

### 从模块端读取数据

要从模块端读取数据，应先编写操作码，告知模块主处理器所需读取的数据。

模块将根据该操作码准备有待传输的相关数据。然后主处理器可进行 I<sup>2</sup>C 读取传输来获取数据。在写完操作码后，即启动读取传输。读取传输也可利用重复的开始条件进行，如下图所示。

需要读取的字节数量由主处理器决定。主处理器将利用 MTSSP 协议的通道状态 (0x04) 操作码来实现。

如果主处理器所读字节超过必要的字节数，那么 MTi 1-系列将从头开始，重启所需的数据发送。

下图展示了一条读取信息是如何利用重复启动来传输的。

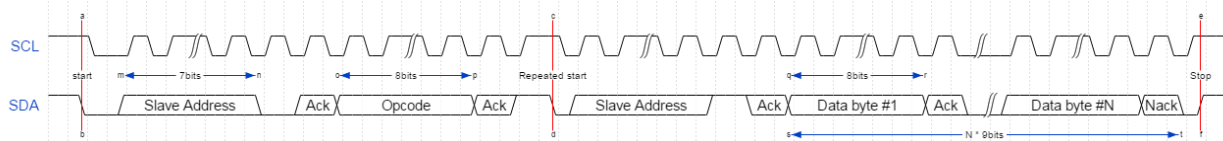


图 8：使用重复启动的读消息传输 (I<sup>2</sup>C)

下图显示了一条读取信息是如何利用完全写入传输来实现操作码的。紧随此操作码之后，有一个读取传输，以获得数据：

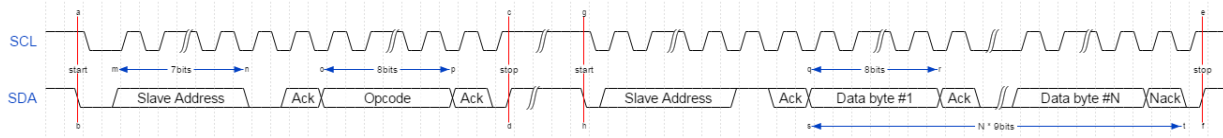


图 9：全写传输和全读传输 (I<sup>2</sup>C)

### 2.7.5 SPI

MTi 1-系列支持固件 1.0.6 的 SPI 传输层。注意，固件版本 1.0.3 及以下的设备不能升级以支持该协议。

MTi 1-系列模块作为 **SPI 从处理器**。主处理器定义为 MTi 1-系列模块的用户。

#### SPI 配置

MTi 1-系列支持 4 线模式的 SPI。使用的 4 线为：

- 芯片选择 (SPI\_nCS)
- 串行时钟 (SPI\_SCK)
- 主处理器数据进入，从处理器数据输出 (SPI\_MISO)
- 主处理器数据出来，从处理器数据输入 (SPI\_MOSI)

模块使用 SPI 模式 3；数据从时钟上升沿捕获并于下降沿锁存/传播 (CPOL=1 且 CPHA=1)；

起始数据为时钟输出 MSB。模块使用 8 位数据格式

#### 数据传输

一种 SPI 传输类型可用于各种通信。下图说明了基本传输。

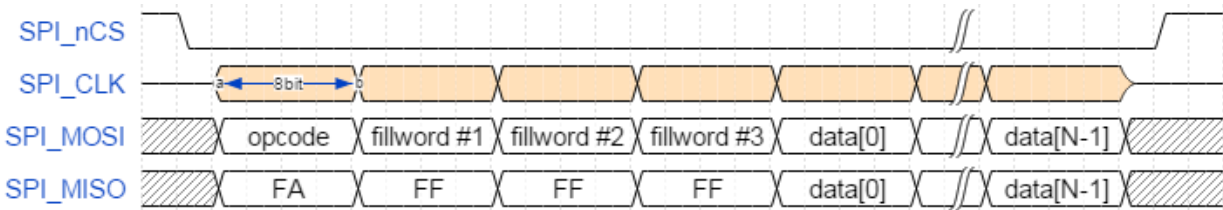


图 10: SPI 基础传输

传输从通过拉低 SPI\_nCS 电平选择从处理器开始。SPI\_nCS 线路保持低电平以实现传输的持续时间。传输结束后，从处理器将解析 SPI\_nCS 线路的上升沿。主处理器将其需发送的数据置于 SPI\_MOSI 线路上。从处理器将其数据置于 SPI\_MISO 线路。

主处理器发送的起始字节是操作码。该操作码可确定主处理器发送的是何种数据，以及主处理器想从从处理器（见 MTSSP）处读取何种数据。

第 2 至 4 字节发送的是赋值语句。赋值语句需给从处理器预留一些时间来准备传输的剩余数据。原则上，从处理器可自由选择赋值语句的值；并且其值也应因此被主处理器忽略。但是，最先由 MTi 1-系列模块发送的 4 个字节总是 0xFA、0xFF、0xFF、0xFF。

紧随其后的是传输的实际数据。决定需传输多少字节是主处理器的责任。主处理器将利用 MTSSP 协议的通道状态 (0x04) 操作码来实现。

计时

以下时序限制适用于 SPI 传输层。

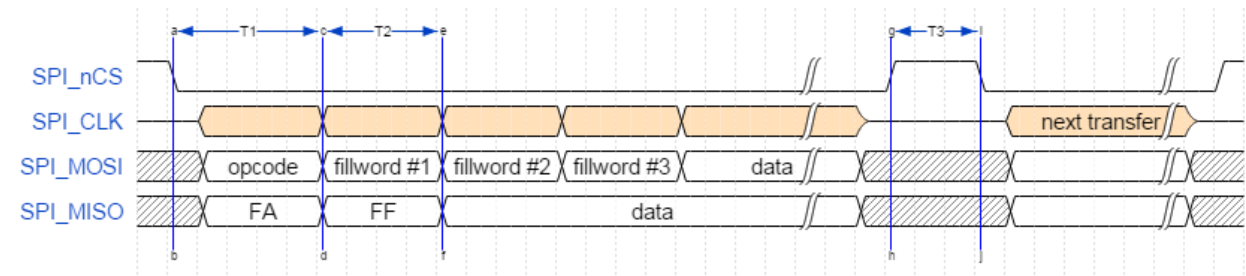


图 11: SPI 计时

符号	参数	工作条件	单位	最小值	典型值	最大值
T1	从处理器选择第一个完整的延时语句		μ s	4		
T2	字节时间		μ s	4		
T3	连续的 SPI 传输保护时间		μ s	3		
	SPI 位率最大值		Mbit			2

2.7.6 UART 半双工

MTi 1-系列模块可配置为利用 UART 以半双工模式通信。UART 帧配置为 8 数据位，无校验及 1 停止位（8N1）。除 RX 与 TX 引脚外，还需使用控制线路 nRE 与 DE。这些控制输出是用于驱动共享媒介上的 TX 信号，也用于驱动 RX 信号上的共享媒介信号。

这个模式的典型用例是直接驱动 RS45 收发器，其中的共享媒介是 RS485 信号。收发器内部的缓冲器由 nRE 与 DE 线路控制。

当 MTi 传输数据至其 TX 引脚时，它将抬高 nRE 与 DE 两条线路，同时拉低其他线路电平。



图 12 nRE 与 DE 线路的行为

应注意在此模式下，MTi 1-系列自身的 UART 仍以全双工模式运行。

## 2.7.7 带 RTS/CTS 流量控制的 UART 全双工

MTi 1-系列模块可配置为带 RTS/CTS 流量控制的 UART 全双工通信。UART 帧配置为 8 数据位，无校验及 1 停止位（8N1）。除用于数据通信的 RX 与 TX 信号外，还有用于硬件流量控制的 RTS 与 CTS 信号。

CTS 信号是 FMT 输入数据。MTi 每次在其开始发送字节时，都会检查 CTS 线路的状态。如果 CTS 处于低电平状态，就会发送字节。否则将推迟发送，直至 CTS 拉低。在发送一个字节时，CTS 信号会抬高，随后在进一步推迟输出之前，完成此字节发送。下一个字节将不予发送。该行为如下图所示：

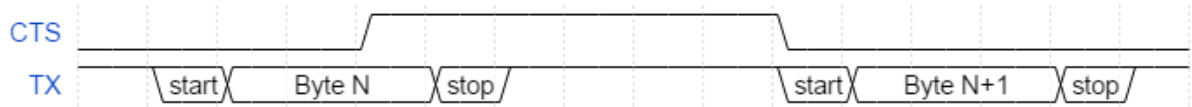


图 13 CTS 下的数据传输行为

RTS 信号是一种 MTi 输出。如果 RTS 线路处于高电平，那么 MTi 将处于繁忙状态，并不能接受新数据。否则，MTi-1 系列的 UART 将空闲，并准备接收。在接收到一个字节后，MTi 的 DMA 控制器会将此字节传输至其接收端 FIFO。在此传输过程中，将插入 RTS 信号。所以，每接收一个字节，RTS 线路都将短时抬高，如下图所示：



图 14 数据接收下的 RTS 行为

该通信模式可以在没有硬件流量控制的情况下使用。此时，CTS 线路需要保持低电平（接地）以实现 MTi 传输。



### 2.8 建议使用的外部元件

元件	说明	典型值
$R_{pu}$	I <sup>2</sup> C 负载电阻器	2.7 k $\Omega$

注意:

- 仅当 MTi-1 系列配置为 I<sup>2</sup>C 接口时, 才需要  $R_{pu}$ 。
- 仅当接口不是 I<sup>2</sup>C 时, 才需要  $R_{PSEL}$ 。

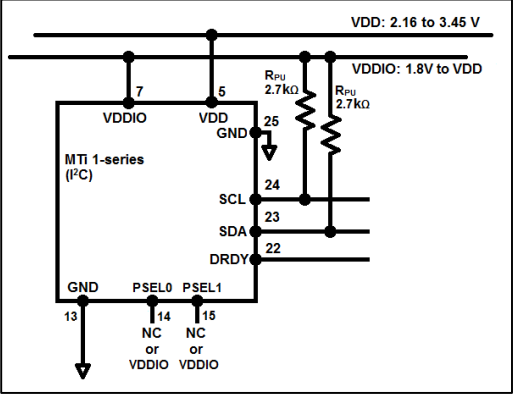


图 15: 外部组件 (I<sup>2</sup>C 接口)

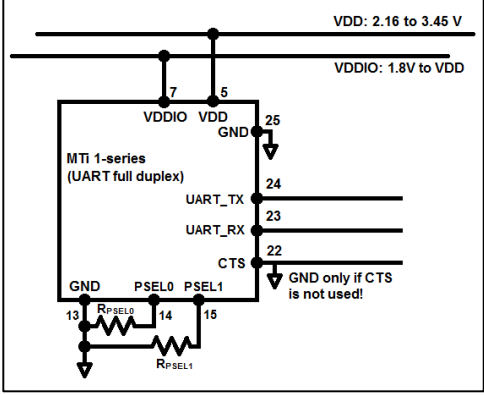


图 16: 外部组件 (UART 接口)

## 3 MTi 1-系列结构

本节将讨论 MTi 1-系列的架构，包括各种配置与信号处理通道。

### 3.1 MTi 1-系列配置

MTi 1-系列是经过充分测试的独立模块，能够输出 3D 姿态数据（欧拉角—俯仰、滚转和偏航、旋转矩阵（DCM）和四元素）、方向和速度增量（ $\Delta q$  和  $\Delta v$ ）和传感器数据（加速度、转速、磁场）。MTi 1-系列模块可用作惯性测量装置（IMU）、垂直参考装置（VRU）和姿势与航向参考系统（AHRS）。根据产品，输出选项限制于传感器数据和/或无基准偏航。

所有 MTi 的特征为 3D 加速计/陀螺仪复合传感器，磁力计，高精度晶体和低功率 MCU。MCU 协调各种传感器的同步和时间，应用校正模型（如温度模块）和输出设置，并运行传感器融合算法。MCU 还根据专有的 Xbus 通信协议生成输出消息。信息和数据输出均完全可配置，故 MTi 1-系列可限制负载，并进而控制应用处理器上的功耗。

#### 3.1.1 MTi-1 IMU

MTi 1 模块是惯性测量装置（IMU），可输出 3D 转速、3D 加速度和 3D 磁场。MTi 1 模块还能从其 AttitudeEngine™ 端输出圆锥及划船补偿的方向增量和速度增量（ $\Delta q$  和  $\Delta v$ ）。相较于陀螺仪加速计组合传感器的优势包括同步磁场数据、板载信号处理与使用方便的通信协议。而且，基于 Xsens 进行的测试与校准，所生产的传感器模块稳定、可靠，可在短时帧内集成。信号处理通道与输出选项组合可在任何输出数据率中达到最大可能的精度，还能限制应用处理器上的负载。

#### 3.1.2 MTi-2 VRU

MTi-2 是 3D 垂直参考装置（VRU）。它的姿态算法（XKF3™）可输出与重力参考帧相关的 3D 方向数据：无漂移俯仰、翻转与无基准偏航。此外，它还可输出校准的传感器数据：3D 加速度、3D 转速与 3D 磁场数据。MTi-1 的所有模块还能输出由捷联式集成算法（AttitudeEngine™ 输出方向与速度增量  $\Delta q$  与  $\Delta v$ ）所生成的数据。3D 加速度也可作为所谓的自由加速，其重力已扣减。尽管偏航无基准，但它仍胜过陀螺仪集成。利用有效的导航稳定性（AHS，见第 8.3 节）无基准偏航的漂移 60 分钟后可限制在 1 度以内，即使在有磁力干扰的环境中也是如此。

#### 3.1.3 MTi-3 AHRS

MTi-3 支持 MTi-1 与 MTi-2 的所有功能，此外也是一个充分提升的陀螺仪姿态与导航基准系统（AHRS）。它可以输出无漂移的俯仰、翻转与真实/北磁极基准偏航与传感器数据：3D 加速度、3D 转速以及 3D 方向与速度增量（ $\Delta q$  与  $\Delta v$ ），还有 3D 地磁场数据。MTi-3 AHRS 还可输出自由加速。

## 3.2 信号处理通道

MTi-1 系列是自含式模块，所以其所有计算与处理诸如取样、圆锥与划船补偿以及 XKF3™ 传感器融合算法在主板运行。

### 3.2.1 捷联式集成

优化的捷联式算法 (AttitudeEngine™) 以 1 kHz 的频率来执行高速的航位推测计算，可精确捕获高频运动。这个方法确保了高带宽。方向与速度的增量计算充分利用了锥度与划船补偿。以高达 100 Hz 的频率进行数据输出，可确保信息不丢失，同时其数据输出率也可以根据系统要求，采用恰如其分的低配置，节省带宽。这些方向与速度增量适合任何 3D 运动跟踪算法。增量与磁力计数据在内部实现了时间同步。

### 3.2.2 XKF3™ 传感器融合算法

XKF3 是传感器融合算法，也被称为“9D”，它以扩展卡尔曼滤波器结构为基础，采用 3D 惯性传感器数据（方向与速度增量）与 3D 磁力计，对 3D 方向进行与地面固定帧有关的优化评估。

XKF3 将方向与速度增量结合在一起，利用磁场对其进行更新与融合，最终形成与地面固定帧有关的稳定方向（俯仰、翻转与偏航）。

XKF3 传感器融合算法可以利用滤波器配置进行处理。这些滤波器配置包含预设的滤波器参数设置，适合不同用户的应用场景。所有滤波器配置文件均可与有效航向稳定性 (AHS) 配合使用，可显著降低磁扰动期间的航向漂移。运行罗盘校准 (ICC) 可用于补偿由 MTi 附带物引起的磁场畸变。参见第 8.3 节。

可提供以下滤波器配置：

- **通用** — 适合大部分应用。MTi-3 模块支持。
- **动态** — 假设处于高速运动动态。MTi-3 模块支持。
- **High\_mag\_dep** — 根据所测的磁场进行航向校正。适合在均匀磁场中使用。MTi-3 模块支持。
- **North\_reference** — 假定良好的 MFM 和均匀的磁场。假设陀螺仪偏差具有稳定的初始化程序和可观察性，在动态之后，该滤波器配置文件将更多地信任陀螺仪解决方案，并且航向将在一段时间内缓慢地收敛到扰动的磁场。MTi-3 模块支持。
- **VRU\_general** — 翻转和俯仰以垂直（重力）为参考，偏航通过航位推算确定。考虑将 VRU\_general 应用于磁场受到强烈干扰的环境中。VRU\_general 滤波器配置是唯一适用 MTi-2-VRU 的滤波器，也受 MTi-3 模块支持。

3.2.3 MTi 1-系列所采用的基准帧

MTi 1-系列模块采用右手坐标系作为帧频传感器的基础。

以下是对应的基准坐标系所输出的数据：

数据	符号	基准坐标系
加速度	$a_x, a_y, a_z$	传感器固定或物体框架
转速	$\omega_x, \omega_y, \omega_z$	传感器固定或物体框架
磁场	$m_x, m_y, m_z$	传感器固定或物体框架
速度增量	$\Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z$	传感器固定或物体框架
方向增量	$\Delta q_0, \Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3$	传感器固定或物体框架
自由加速	$a_x, a_y, a_z$	当地切平面坐标系统（LTP），默认为东北天坐标系（ENU）
方向	欧拉角、四元组或旋转矩阵	当地切平面坐标系统（LTP），默认为东北天坐标系（ENU）

当地切平面坐标系统（LTP）是当地椭圆坐标（维度、经度、海拔）在 WGS-84 椭圆体中的线性化。

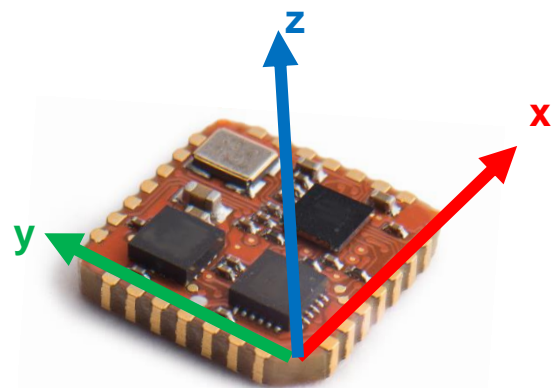


图 17：MTi 1-系列模块的默认传感器固定坐标系

在 MTi 中应用旋转矩阵相当简单。基于此，速度与方向增量、自由加速与方向输出都属于利用此坐标帧的输出。默认的基准坐标系为东北天坐标系（ENU）。另外，MTi-1 系列还预设北东地坐标系（NED）与北西天坐标系（NWU）的输出选项。可进行任意对齐。对这些方向进行重置会影响各种输出。这些输出全都默认为 ENU 基准坐标系输出。

## 4 3D 姿态与性能规格

### 4.1 3D 姿态规格

表 4. 姿态规格

参数		典型值	单位	备注
俯仰/翻转	静态	0.75	度	
	动态	1.0	度	
偏航（航向）	静态/动态磁场基准	2.0	度	仅对 MTi-3 AHRS；适合均匀磁场，具有利用磁场作为基准的滤波器配置。
	VRU_general 滤波器配置（无基准偏航）	<1	60 分钟后的度数	有效航向稳定性（AHS）特性。有关更多信息，请见第 8.3 节。
	输出数据速率	0-100	Hz	精度与延迟不受输出数据速率影响。数据输出速率可以为 100 Hz 的任何整除数，可由外部脉冲（SYNC_IN 线路上的“ln 1”）触发。

### 4.2 传感器规格<sup>4</sup>

表 5. 陀螺仪规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	备注
全量程	±2000			度/秒	
非线性		0.1		% of FS	
灵敏度变化		0.05		%	过温范围
噪音强度		0.01		°/s/√Hz	
g-敏感度		0.001		度/秒/g	
运行偏差稳定性		10		度/小时	
偏差重复性（1 年）		0.5		度/秒	偏差由 XKF3i 持续估算。
带宽		180		Hz	
自然频率		26		kHz	这是陀螺仪中质量的共振频率。
输出数据速率			1000	Hz	仅适用于 TurnHR DataID；Turn DataID 与速度增量的速率高达 100 Hz。

表 6. 加速计规格

参数	最小值	典型值	最大值	单位	备注
全量程	±16			g	
非线性		0.5		% of FS	
灵敏度变化		0.05		%	过温范围
噪音强度		200		μg/√Hz	
0 g-输出		±2		mg	
运行偏差稳定性		0.1		mg	
带宽		180		Hz	
输出数据速率			1000	Hz	仅适用于 AccelerationHR DataID；AccelerationHR DataID 与加速度增量高达 100 Hz

<sup>4</sup> Xsens 持续对模块上的传感器进行更新，因此这些规格可能会有变化。

**表 7. 磁力计规格**

参数	最小值	典型值	最大值	单位	备注
全量程	±0.8			高斯	XKF3 中不使用高于 0.8 高斯的磁场。实际全量程是 ±1.9 Gauss
非线性		0.1		% of FS	
噪音强度		200		μ G/ √ Hz	

**表 8. 对齐规格**

参数	典型值	单位	备注
非正交性（加速计）	0.05	度	
非正交性（陀螺仪）	0.05	度	
非正交性（磁力计）	0.05	度	
对齐（陀螺仪朝加速计）	0.05	度	
对齐（磁力计朝加速计）	0.1	度	
加速计朝模块主板的对齐	0.2	度	

## 5 传感器校准

MTi 均按温度范围逐个校准与测试。陀螺仪、加速计与磁力计（简化）的传感器型号说明如下：

$$s = K_T^{-1}(u - b_T)$$

- s = 陀螺仪、加速计与磁力计的传感器数据，单位分别为弧度/秒（rad/s）、米/秒 m/s<sup>2</sup> 和 a.u.。
- $K_T^{-1}$  = 增益矩阵与失调矩阵（温度补偿）
- u = 校准前的传感器值（源自传感器的 16 位无正负整数）
- $b_T$  = 偏差（温度补偿）

Xsens 的校准程序涵盖很多参数，包括偏差（偏离）、传感器与模块 PCB 之间以及相互之间的对齐，以及增益。所有校准值都与温度有关，均为温度校准。MTi 系列的校准值均保存在非易失性的内存中。

## 6 系统与电气规格

### 6.1 接口规格

表 9. 通信接口

接口		最小值	典型值	最大值	单位
I <sup>2</sup> C	主处理器 I <sup>2</sup> C 接口速度			400	kHz
SPI	主处理器 SPI 接口速度			2	MHz
	时钟工作周期	30	50	70	%
UART	波特率		921.6	4000	kbps

表 10. 辅助接口

接口		最小值	最大值	单位	备注
SYNC_IN	V <sub>IL</sub>		0.3 * VDDIO	V	数字输入电压
	V <sub>IH</sub>	0.45 * VDDIO + 0.3		V	数字输入电压
	V <sub>HYS</sub>	0.45 * VDDIO + 0.3		V	
nRST	V <sub>IL</sub>		0.3 * VDDIO	V	仅短暂驱动
	R <sub>PU</sub>	30	50	kΩ	负载电阻器
	所生成的复位脉冲的持续时间	20		μs	

### 6.2 系统规格

表 11. 系统规格

接口		最小值	典型值	最大值		备注
尺寸	宽度/长度	12.0	12.1	12.2	mm	PLCC-28 兼容
	高度	2.45	2.55	2.65	mm	
重量			0.66		克	
温度	工作温度	-40		+85	°C	环境温度, 无冷凝
	规定的性能运行温度	0		+60	°C	
耗能			44		mW	VDD 3.0V; VDDIO 1.8V
时序精确度			10		ppm	
MTBF		225,000			小时	



### 6.3 电气规格

表 12. 电气规格


	最小值	典型值	最大值	单位	备注
VDD	2.16		3.45	V	
VDD 噪音			50	mVpp	
VDDIO	1.8		VDD	V	
V <sub>IL</sub>			0.3 * VDDIO	V	数字输入电压
V <sub>IH</sub>	0.45 * VDDIO + 0.3			V	数字输入电压
V <sub>HYS</sub>	0.45 * VDDIO + 0.3			V	数字输入电压
V <sub>OL</sub>			0.4	V	数字输出电压
V <sub>OH</sub>	VDDIO - 0.4			V	数字输出电压


### 6.4 绝对最大额定值

	最小值	最大值	单位	备注
存储温度	-40	+125	°C	
工作温度	-40	+85	°C	
VDD	0.3	4.0	V	
VDDIO	0.3	VDD + 0.5	V	
SYNC_IN		5	V	
加速度 <sup>5</sup>		10,000	g	任意轴，无功率，持续 0.2 ms。
ESD 保护 <sup>6</sup>		±2000	V	人体模型

### 6.5 合规性

所有的 Xsens 产品，包括 MTi-1 系列模块和 DK 都是 RoHS 兼容的。MTi 1-系列符合 CE/FCC 认证要求。

<sup>5</sup>  它属于机械振动（g）敏感器件。需小心持握以免损坏零件。

<sup>6</sup>  它属于静电放电敏感器件。需小心持握以免损坏零件。

## 7 MTi 1-系列设置和输出

作为内核，该模块使用 Xsens 专有的 Xbus 协议，与所有 Xsens 运动跟踪器产品兼容。

### 7.1 信息结构

根据标准结构创建信息来完成其与 MT 之间的通信。信息有两个基本结构：一个具有标准长度，一个具有扩展长度。标准长度信息的最大字节量为 254 个。它的利用率最高。而有时，数据字节数会超过 254 个字节，此时需用到扩展长度信息。

一条 MT 信息（标准长度）包含以下字段：

Xbus 头域				数据	校验和
报头	BID	MID	长度		

一条 MT 信息（扩展长度）包含以下字段：

报头	BID	MID	LEN <sup>ext</sup>	长度	数据	校验和
----	-----	-----	--------------------	----	----	-----

字段	字段宽度	说明
报头	1 个字节	数据包启动指示信号 → 250 (0xFA)
BID	1 个字节	总线识别符或地址 → 255 (0xFF)
MID	1 个字节	信息识别符
长度	1 个字节	对于标准长度信息： 数值等于数据字段中的字节数。 最大值为 254 (0xFE) 对于扩展长度信息： 字段值总为 255 (0xFF)
扩展长度	2 个字节	16 位数值，表示扩展长度信息的数据字节数。最大值为 2048 (0x0800)
IND ID	1 个字节	已收到的指示类型
数据（标准长度）	0 - 254 字节	数据字节（可选）
数据（扩展长度）	255 - 2048 字节	数据字节
校验和	1 个字节	信息校验和

可查阅 MT 底层通信协议文件以获取有关 Xbus 协议信息结构的详情。

## 7.2 输出设置

以下章节仅对 MTData2 数据信息的重要设置做了说明。如需了解 MTi 1-系列支持的所有信息，请参考 MT 低层通信协议文件（LLCP）。

输出配置信息用于设置装置的输出。每个数据信息都有一个 DataID，由数据类型和数字格式组成。下表显示了最重要的 MTData2 Data 标识符。信息设置输出配置包含 DataID 与输出频率。

### 设置输出配置

MID 192 (0xC0)  
数据 输出配置 (N\*4 个字节)  
设置装置的输出配置。

数据是一个最多包含 32 个数据识别符的列表，它综合了所需的输出频率。应答信息也包含一个格式相同的列表，但其值却是装置使用的实际值。  
列表中的每个条目均包含：

偏离	数值
0	数据识别符（2 个字节）
2	输出频率（2 个字节）

组别名称	类型名称	XDA 类型名称 <sup>7</sup>	Hex 值
时间戳		<b>XDI_TimestampGroup</b>	
	数据包计数器	XDI_PacketCounter	1020
	采样时间精度	XDI_SampleTimeFine	1060
方向数据		<b>XDI_OrientationGroup</b>	
	四元数	XDI_Quaternion	201y
	旋转矩阵	XDI_RotationMatrix	202y
	欧拉角	XDI_EulerAngles	203y
加速度		<b>XDI_AccelerationGroup</b>	
	Delta V (dv)	XDI_DeltaV	401y
	加速度	XDI_Acceleration	402y
	自由加速	XDI_FreeAcceleration	403y
	加速度 HR	XDI_AccelerationHR	404y
角速度		<b>XDI_AngularVelocityGroup</b>	
	转速	XDI_RateOfTurn	802y
	Delta Q (dq)	XDI_DeltaQ	803y
	RateOfTurnHR	XDI_RateOfTurnHR	804y
磁性		<b>XDI_MagneticGroup</b>	
	磁场	XDI_MagneticField	C02y
状态		<b>XDI_StatusGroup</b>	
	状态语句	XDI_StatusWord	E020

y: 格式位数的十六进制数值（见下表）。通过对可行字段执行逐位运算组成数值。

<sup>7</sup> XDA: Xsens 设备 API C 中的通信协议，用于外部处理器。

字段	格式	说明	简称
精度			
	0x0	单精度 IEEE 32 位浮点数	Float32
	0x1	12.20 32 位定点数	Fp1220
	0x2	16.32 48 位定点数	Fp1632
	0x3	双精度 IEEE 64 位浮点数	Float64
坐标系			
	0x0	东北天坐标系	ENU
	0x4	北东地坐标系	NED
	0x8	北西天坐标系	NWU

示例：NED 坐标系中的四元组 DataID 采用固定点 16.32 数字格式如 0x2016 结构。

### 7.3 MTData2

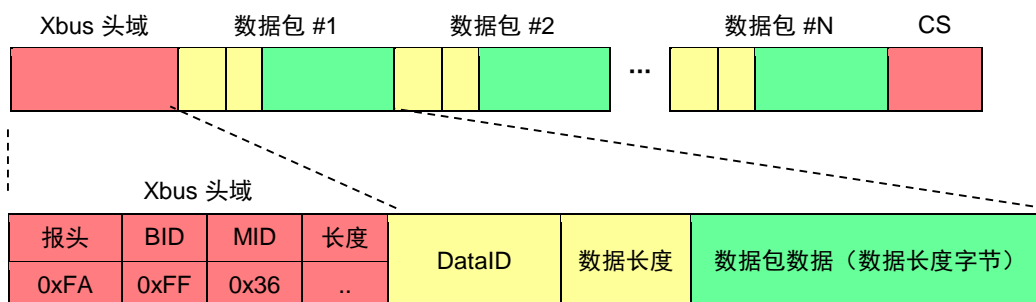
数据构成 MTData2 信息。

#### MTData2

MID 54 (0x36)

数据 数据（长度变化）

MTData2 信息包含按当前输出配置所输出的数据。MTData2 信息由一个或多个数据包组成，每个数据包均包含一种特定的输出。MTData2 信息分布图如下所示：



数据信息示例如下（分几部分对信息进行说明，均在表中列出）：

FA FF 36 35 10 20 02 51 BC 10 60 04 00 21 49 AF 40 10 0C 39 B9 D8 00 B7 DD 80 00 3C C9 26 98 80 30 10 3F 80 00 01 B6 ED 60 01 36 94 A0 00 36 1E 60 00 E0 20 04 00 00 00 87 A0

信息部分 (0x)	含义
FA FF 36 35	Xbus 头域及总信息长度 (0x35)
10 20 02 51 BC	DataID 0x1020 (数据包计数器)、长度 0x02、数据 (0x51 BC)
10 60 04 00 21 49 AF	DataID 0x1060 (采样时间精度)、长度 0x04、数据
40 10 0C 39 B9 D8 00 B7 DD 80 00 3C C9 26 98	DataID 0x4010 (速度增量)、长度 0x0C、数据
80 30 10 3F 80 00 01 B6 ED 60 01 36 94 A0 00 36 1E 60 00	DataID 0x8030 (方向增量)、长度 0x10、数据
E0 20 04 00 00 00 87	DataID 0xE020 (状态语句)、长度 0x04、数据
A0	校验和

### 7.4 同步与时序

MTi 1-系列模块易与其他传感器或传感器系统同步。MTi 接受 SYNC\_IN 上的脉冲（在软件中称为“ln 1”），然后可以发送最新的可用数据。因为 MTi 1-系列在内部持续以最大频率对方向进行估算，所以这种 SYNC\_IN 功能并不会影响数据精度。加速度数据与转速数据也会尽可能以最短延迟时间进行输出。

利用设置同步设置（SetSyncSettings）信息进行同步设置。

#### 设置同步设置

MID        44（0x2C）  
数据        设置清单（N\*12 字节）

设置器件的同步设置。

#### 设置

每种设置都是对系统事件的说明，要么是需要的事件中触发同步，要么是触发系统动作。

#### SyncIn 设置

偏离 （字节）	设置	大小 （位数）	说明
0	功能	1	值 8：发送最新数据。
1	线路	1	值 0（硬件线路 SYNC_IN 上为“ln 1”）或 6（ReqData）。
2	极性	1	回应哪条线路传输其中之一：上升沿（1）、下降沿（2）或两者（3）。
3			MTi 1-系列忽略。
4	初次跳过	2	采取行动前待跳过的初始事件数。
6	跳过因素	2	再次采取行动前待跳过的事件数。
8			MTi 1-系列忽略。
10	延迟	2	接收到同步脉冲后延迟采取行动（100 $\mu$ s 单位，范围【0..60000】）。

## 8 磁干扰

对于任何姿态导航基准系统（AHRS）而言，磁干扰可能是最主要的错误源。因为 AHRS 利用磁场作为水平面上航位推测方向的基准，它与北磁场有关，所以如果在这个磁场中出现严重持久的畸变，就会导致磁基准出现错误。MTi 1-系列模块采取了几种方法来应对这种畸变，以期将估算方向方面所受的影响降到最低。

### 8.1 磁场映射

当畸变确定后，如畸变与 MTi 共同移动，MTi 可以为了该畸变进行校准。该类误差通常指硬铁和软铁畸变。磁场映射程序能对硬铁与软铁两种畸变进行补偿。

简而言之，磁场映射（校准）是通过 FMT 随引起畸变的物体/平台一起移动来实现的。结果在一台外部电脑（Windows 或 Linux）上进行处理，更新后的磁场校准值写入 MTi-1 系列模块的永久性内存。磁场映射器用户手册中对磁场映射程序进行了详尽的描述，可从 MT 软件套装中获得。

### 8.2 运行罗盘校准（ICC）

运行罗盘校准是一种使用板载算法来校准传感器操作环境中存在的磁场畸变的方法，不需要使用像 PC 这样的主机处理器。它对软硬铁效应进行预估，并提供新的磁力计校准参数。当不能使用磁场映射算法时，ICC 具有可用性。

虽然 ICC 是一个很强大的机制，但它只对与 MTi 一起移动的对象引起的畸变进行估算。表、结构、其他车辆等产生的外部畸变将损害 ICC 结果。

为了加快磁力计校准参数的估算速度，存在代表性运动特征。MT 管理器、XDA 和底层通信协议（Xbus 协议）中均存在代表性运动。

更多信息，请参阅 BASE：

<https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/213588029>

### 8.3 有效的航向稳定性（AHS）

一般不太可能或愿意将 MTi 1-系列模块连接到一个高级处理器或主机系统上，因此磁场映射过程并不是一个选择。同时，当畸变不确定时，磁场映射程序也无法产生令人满意的结果。鉴于上述种种原因，板载 XKF3 传感器融合算法就集成了一种名为有效航向稳定性的算法（AHS）。

AHS 算法带来极高的航向跟踪准确性。大部分时候，MTi 1-系列的航向跟踪漂移可低至每小时 1 度，同时完全屏蔽磁场畸变。

所有滤波器配置文件的 AHS 均可用。在默认情况下，固件版本 1.0.18 中的 AHS 将关闭。若要启用 AHS，请使用 SetOptionFlags（请参阅底层通信协议文档）。启用 AHS 的消息是“FA FF 48 08 00 00 00 10 00 00 00 00 A1”。或者，在 MT Manager 4.6.3 及更高版本中启用。

## 9 封装与处理

注意它为机械振动（g）敏感装置。需小心持握以免损坏零件。  
注意它为静电放电敏感装置。需小心持握以免损坏零件。

确保不要用力压 MTi 1-系列模块的元件，尤其是在将 MTi 1-系列模块放置在 IC 插座中时。

### 9.1 封装图纸

MTi-1 系列模块与 JEDEC PLCC28 集成电路插孔兼容。

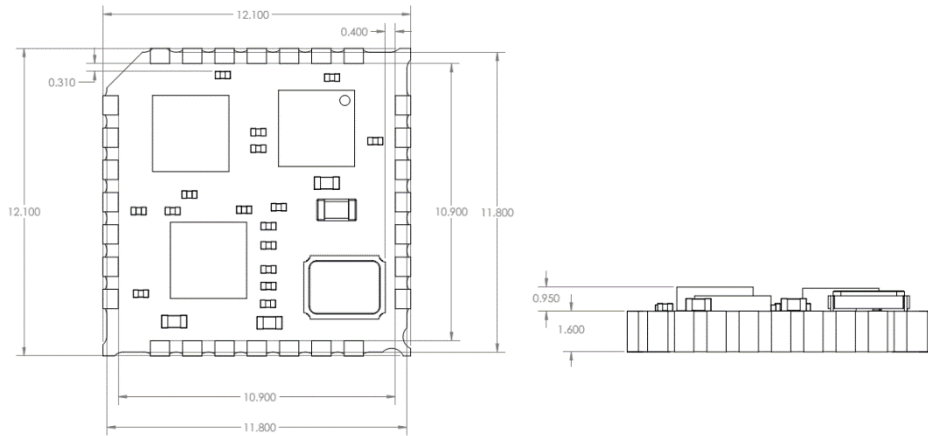


图 18：一般公差为  $\pm 0.1$  mm

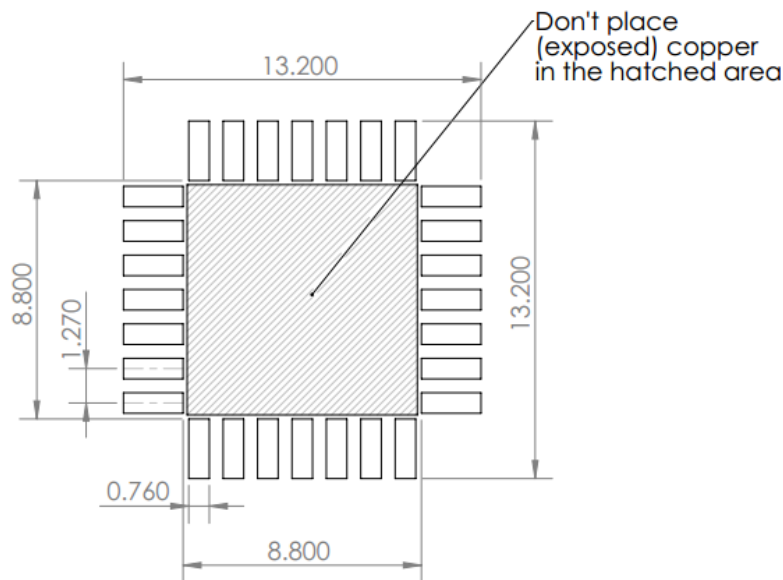


图 19：推荐 MTi 1-系列模块覆盖

### 9.2 安装考虑

模块包含微机电系统（MEMS）芯片，所以它对 PCB 所受应力极为敏感。为减少应力，PCB 与外壳应遵循以下设计规则。

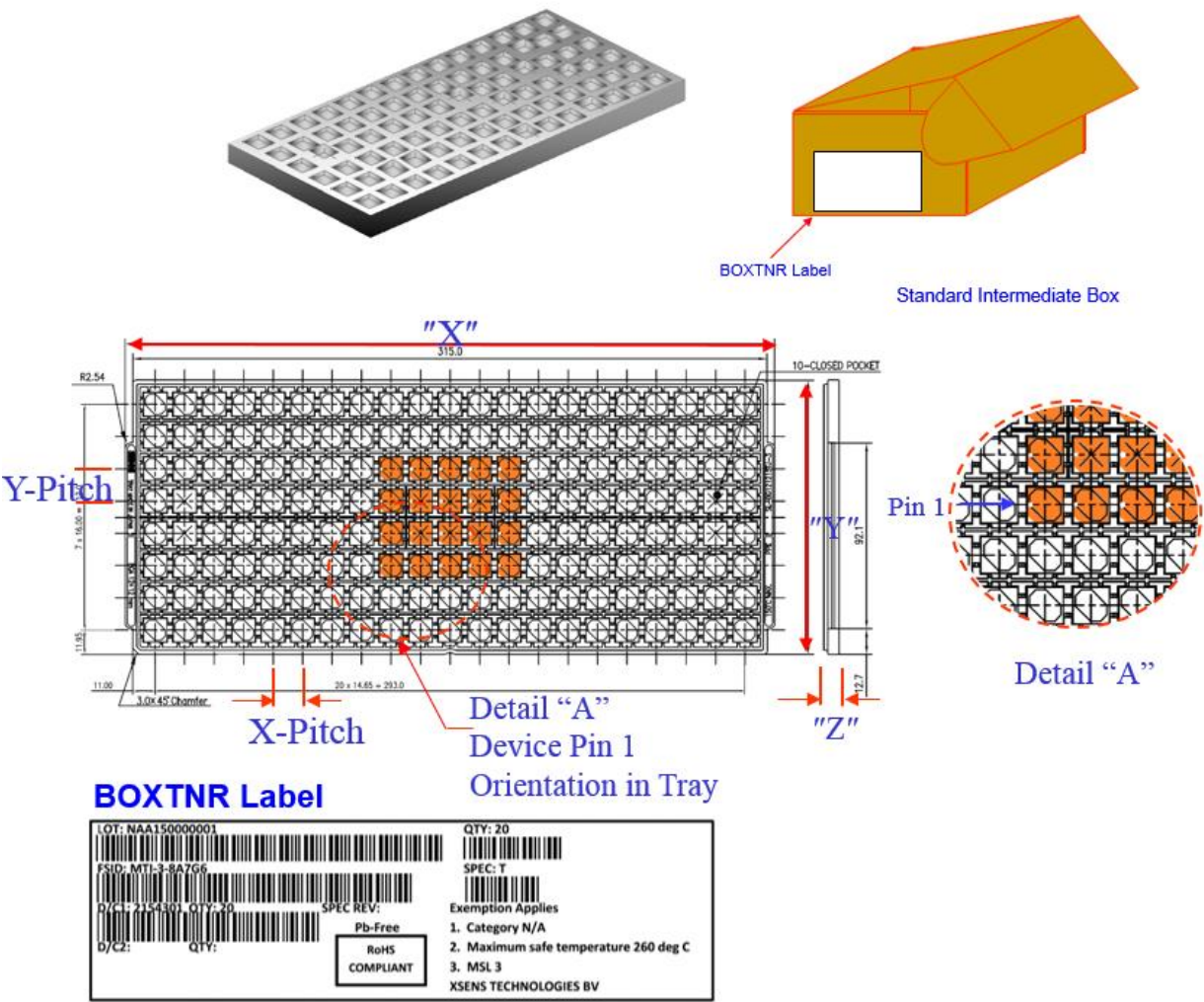
用螺丝或其他方式将其固定在外壳中，在固定位置集中用力，避免 PCB 受力。PCB 最好能利用机械减震器安装。

- 避免 MTi 1-系列模块附近的按钮、连接器等对 PCB 施加的力量。
- 避免 MTi 1-系列靠近热源。
- 避免扬声器、蜂鸣器等产生振动。

9.3 封装

MTi 1-系列模块以 20 个模块—托盘或 250 个模块—卷带的方式进行运输。

9.3.1 托盘包装信息

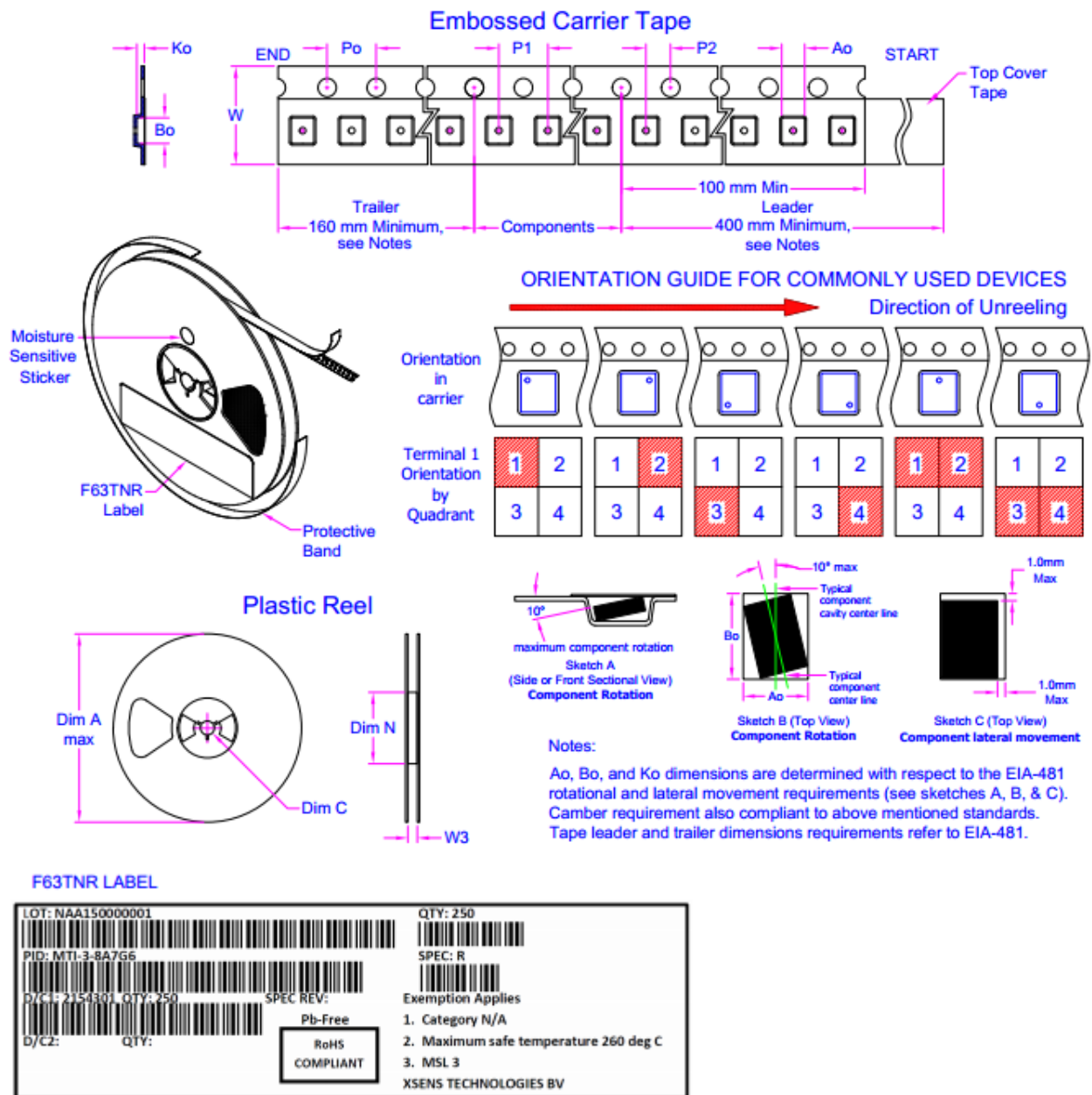


托盘尺寸 (mm)						托盘包装信息		引脚 1
长度 X	宽度 Y	高度 Z	袋 X-间距	袋 Y-间距	袋 X-Y 阵列	数量/托盘	数量/盒	
322.60	135.90	7.62	14.65	16.00	12 x 12	20 单元	20 单元	详情 A 标记

- 注意:
- 尺寸以毫米表示。
  - 图上的托盘只是图示，实际托盘可能会不同。



### 9.3.2 卷轴包装信息



承载带 (mm)							卷轴 (mm)				引脚 1	包装
Ao	Bo	Ko	W	Po	P1	P2	A	N	C	W3	象限定位	QTY/卷
12.6	12.6	2.9	23.70	3.90	15.90	1.90	177.80	55	12.80	23.90	1 & 2	250
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.8	12.8	3.10	24.30	4.10	16.10	2.10	-	-	13.50	27.40	-	-

注意:

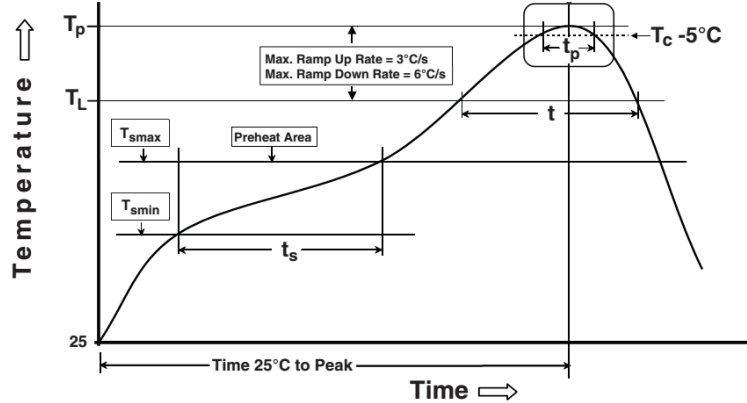
- 除非另有说明, 尺寸以毫米表示。

## 9.4 回流焊规格

MTi 1-系列模块的湿度敏感等级符合 JEDEC MSL 3 级要求，也可参见：

- IPC/JEDEC J-STD-020E 《联合工业标准：非密封固态表面贴装元器件的湿度/回流焊敏感度分类》。
- IPC/JEDEC J-STD-033C 《联合工业标准：湿度/回流焊敏感表面贴装器件的搬运、搬运、包装、运输和使用》。

传感器满足上述所提及 IPC/JEDEC 标准的无铅锡焊要求，例如回流锡焊的温度峰值达到 260°C。推荐预热区为 ( $t_s$ ) 80-100 秒。锡焊回流后的最小高度至少为 50  $\mu\text{m}$ 。这些要求可保证 MTi 1-系列模块与其所在 PCB 之间的机械解耦具备良好性能。组装好的 PCB 不可用超声波清洗。



IPC-020e-5-1

## 10 商标和修订

### 10.1 商标

© 2005-2017, Xsens Technologies B.V. 版权所有。我司有权事先未通知而对此文档信息进行变更。Xsens、MVN、MotionGrid、MTi、MTi-G、MTx、MTw、Awinda 和 KiC 为 XSens 技术公司及其母公司、子公司和分支机构在荷兰、美国和其他国家的注册商标。所有其他商标均为其各自所有者的财产。

### 10.2 修订

修订	日期	修订者	变更
A	2015 年 7 月 8 日	MHA	初始版
B	2015 年 12 月 12 日	MHA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 增加了 I<sup>2</sup>C, SPI 接口</li><li>• 旋转了托盘中的模块</li><li>• 增加了安装考虑事项</li><li>• 更正了针图中的 ADD0 针</li><li>• 变更了 nRST 针的说明</li><li>• 更正了 R<sub>PSEL</sub> 的说明</li><li>• 增加了封装信息</li><li>• 增加了卷带</li><li>• 调整了订购代码</li><li>• 增加了 RateOfTurnHR 和 AccelerationHR 输出</li></ul>
B1	2016 年 5 月 4 日	MHA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 增加了 MTBF</li><li>• 更正了 accel / gyro 的偏向规范</li></ul>
C	2016 年 8 月 11 日	MHA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 更正了磁场的整个范围</li><li>• FW 1.0.18 中的默认 AHS 关闭</li></ul>
C1	2016 年 9 月 7 日	MHA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 增加了 VDD 噪声要求</li><li>• 更新了滤波器配置清单</li><li>• 更正了典型应用图</li></ul>
D	2016 年 12 月 5 日	MHA	<ul style="list-style-type: none"><li>• 更正了 dq/dv 的坐标系</li><li>• 增加了运行罗盘校准 (ICC)</li></ul>