

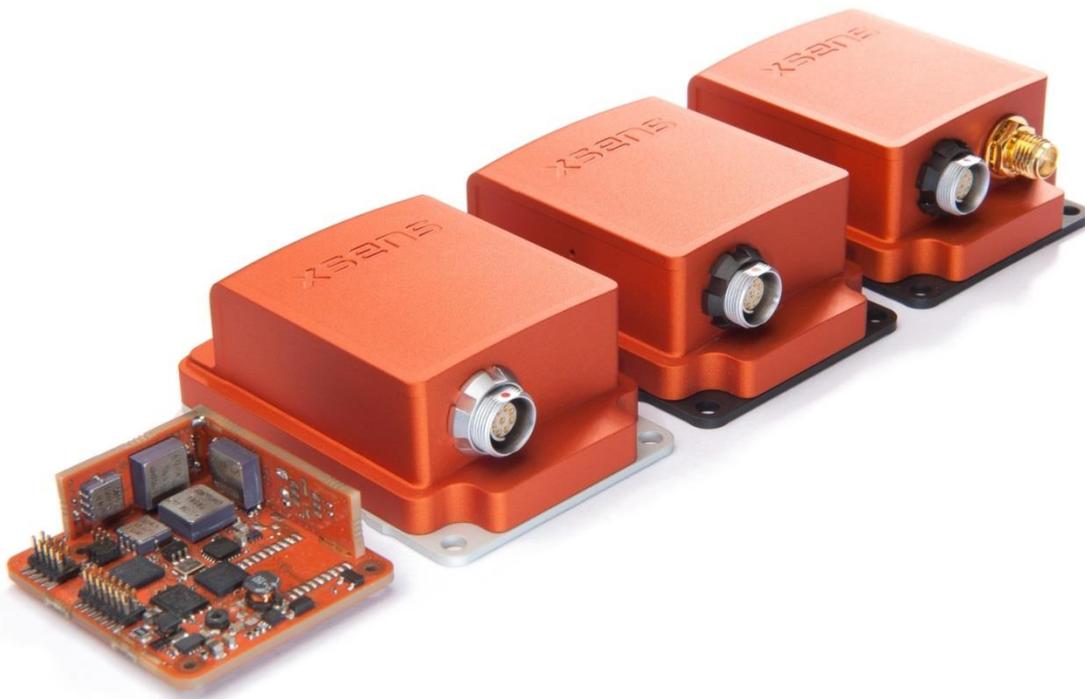


xsens

MTi 用户手册

MTi 10-系列和 MTi 100-系列

文档 MT0605P, 修订 I, 2016 年 12 月 20 日



Xsens Technologies B.V.

Pantheon 6a
P.O. Box 559
7500 AN Enschede
The Netherlands

电话 +31 (0)88 973 67 00
传真 +31 (0)88 973 67 01
电子邮箱 info@xsens.com
网址 www.xsens.com

Xsens North America, Inc.

10557 Jefferson Blvd,
Suite C
CA-90232 Culver City
USA

电话 310-481-1800
传真 310-416-9044
电子邮箱 info@xsens.com
网址 www.xsens.com

修订

修订	日期	修订者	变更
A	2012 年 9 月 26 日	MHA	初始版
...
E	2014 年 1 月 17 日	MHA	增加了产品代码、3V3 和终端电阻附注
F	2015 年 2 月 27 日	MHA	增加了 RS485 针接口，更正了 OEM 机械图 增加了公共接地图 增加了电缆规格 增加了 SetNoRotation 说明 增加了 ECEF 固定点说明附注 更正了 100-系列陀螺仪的带宽 增加了 MTi-G-710
G	2016 年 1 月 12 日	MHA	在第 5.9 节中增加了所有数据 ID 更正了 A/B 定义 RS485 接口 删除了旧模式 更正了 GNSS MTi-G-710 敏感度 添加了 MTi-G 的 SBAS 支持 变更了 CA-MP2-MTI 的电缆规格，包括 AWG 值 1-系列增加了产品代码和设备 ID 明确了参考框架
G1	2016 年 2 月 22 日	MHA	更正了 Samtec 连接头部件编号
G2	2016 年 3 月 22 日	MHA	印刷错误 变更了 GNSS 天线的最大电源电压
H	2016 年 7 月 12 日	MHA	将图版和文字说明分开（第 4.2 节） 更新了 CE 符合性说明 更新了开发套件内容 更新了 SW 套件概览 放宽了 SW 套件授权条款 增加了 RoHS 认证 增加了帮助中心
I	2016 年 12 月 20 日	MHA	更正了 Y 轴的完全约束 重新安排了 BASE 天线信息 重新安排了 BASE 同步章节 增加了 AHS 布林值 增加了 ICC 增加了 NMEA 字符串（GPZDA 和 XSVEL） 滤波器配置增加了 HighPerformanceEDR

© 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。



目录

1	参考文献	2
2	XSENS 帮助中心和用户社区	3
3	引言	4
3.1	MTi 10-系列.....	4
3.1.1	MTi-30 AHRS	4
3.1.2	MTi-20 VRU	4
3.1.3	MTi-10 IMU	4
3.2	MTi 100-系列.....	5
3.2.1	MTi-G-710 GNSS/INS	5
3.2.2	MTi-G-700 GPS/INS	5
3.2.3	MTi-300 AHRS	5
3.2.4	MTi-200 VRU.....	5
3.2.5	MTi-100 IMU.....	5
3.2.6	使用唯一设备标识符确定设备功能.....	6
3.2.7	产品代码.....	7
3.3	MTi 产品演化.....	8
3.4	MTi 开发套件概述.....	9
3.4.1	目录.....	9
3.5	安装.....	10
3.5.1	瞬时加速.....	10
3.5.2	振动.....	10
3.5.3	磁性材料和磁体.....	11
3.6	典型用户场景.....	12
3.6.1	MT 软件套件.....	12
3.6.2	MT 管理器入门.....	13
3.6.3	使用软件开发套件 (SDK)	14
3.6.4	与 MTi 进行直接底层通信.....	16
3.6.5	MT 软件套件使用条款.....	16
4	MTi 系统概述.....	17
4.1	校准.....	17
4.2	供 MTi 10-系列使用的 XSENS 卡尔曼滤波器 (XKF3i).....	17
4.2.1	使用重力加速来稳定倾角 (俯仰/翻转)	17
4.2.2	使用地磁场稳定偏航	18
4.2.3	在磁场干扰环境中估算陀螺仪偏差.....	18
4.2.4	初始化	18
4.2.5	XKF3i 滤波器配置文件.....	19
4.3	MTi 100-系列适用的 XSENS 传感器融合算法	21
4.3.1	MTi 100-系列滤波器.....	21
4.3.2	瞬时加速.....	21
4.3.3	磁场畸变.....	21
4.3.4	GNSS 丢失.....	21
4.3.5	MTi 100-系列滤波器配置文件.....	21
4.3.6	MTi-G-700/710 滤波器配置文件.....	22
4.4	有效的航向稳定性 (AHS).....	23
4.5	运行罗盘校准 (ICC)	23



xsens

5	输出规格	24
5.1	数据输出概述	25
5.1.1	XBus 协议中的MTData2 输出	25
5.1.2	ASCII 输出 (NMEA)	27
5.2	坐标系	28
5.2.1	校准惯性数据和磁场数据	28
5.2.2	Delta_angle 和 delta_velocity	28
5.2.3	方向数据	29
5.2.4	速度数据	30
5.2.5	位置数据	31
5.3	方向性能规格	34
5.4	位置和速度性能规格 (MTi-G-700/710)	35
5.5	方向输出模式	35
5.5.1	四元数方向输出模式	36
5.5.2	欧拉角方向输出模式	37
5.5.3	旋转阵列方向输出模式	37
5.6	传感器数据性能规格	39
5.6.1	陀螺仪	39
5.6.2	加速计和磁力计	40
5.6.3	气压计	40
5.6.4	GPS/GNSS 接收器	41
5.7	内置自测	42
5.8	测试和校准 参数	43
5.9	传感器数据输出	44
5.9.1	物理传感器模型	44
5.9.2	校准 delta_q 和 delta_v 输出	45
5.9.3	校准惯性和磁力数据输出	45
5.9.4	自由加速	45
5.9.5	未校准原始输出模式	46
5.10	传统输出信息	47
5.11	输出或基准坐标系重置	48
5.12	时间戳和数据包计数器输出	51
5.12.1	数据包计数器	51
5.12.2	UTC 时间	51
5.12.3	时间戳 (精确采样时间)	51
5.12.4	在无 GNSS MTi 上设置 UTC 时间	51
5.13	状态字节	52
6	基本通信	54
6.1	引言	54
6.2	状态	54
6.3	信息	55
6.3.1	信息结构	55
6.3.2	信息用途	56
6.3.3	普通信息	58
6.4	通信时机	59
6.5	触发和同步	61
6.6	内部时钟准确性	62
6.6.1	无 GNSS 接收器的 MTi 的时钟	62
6.6.2	MTi-G-700/710 的时钟	62



Xsens

6.7	默认串行连接设置.....	62
6.7.1	二进制数据一般定义.....	63
6.7.2	串行或 USB 通信.....	63
6.7.3	RS232 等级.....	63
7	物理规格.....	64
7.1	物理属性概述.....	64
7.2	电源.....	64
7.2.1	替换 3V3 电源.....	65
7.3	机械和电接口规格.....	66
7.3.1	包装 MTi 连接器概述.....	66
7.3.2	OEM 连接概述.....	68
7.3.3	其他接口规格.....	70
7.3.4	线缆规格.....	70
7.3.5	使用带外部 USB 转换器的 MTi MkIV.....	71
7.4	外壳机械规格.....	72
7.4.1	外壳的环境保护.....	72
7.4.2	尺寸 MTi.....	72
7.4.3	安装 MTi-OEM.....	72
7.4.4	MTi 10-系列技术图纸.....	73
7.4.5	MTi 100-200-300 技术图纸.....	74
7.4.6	MTi-G-700/710 技术图纸.....	75
7.4.7	MTi-OEM 技术图纸.....	76
8	重要事项.....	77
8.1	安全指示.....	77
8.2	绝对最大额定值.....	77
8.3	维护.....	77
8.4	CE MT 设备一致性声明.....	78
8.5	FCC MT 设备一致性声明.....	79
8.6	符合 RoHS 标准.....	80
8.7	保证和责任.....	81
8.8	客户支持.....	81



1 参考文献

参考 ID	文档描述
[LLCP]	“MT 底层通信协议文档.pdf”，文档编号 MT0101P
[MTM]	“MT 管理器用户手册.pdf”，文档编号 MT0216P
[XDA_DOC]	XDA Doxygen HTML 文档 在 Xsens 文件夹结构中找到
[MTI_TD]	“MTi 技术资料.pdf”，文档编号 MT0503P
[MTI_1]	“MTi 1-系列资料.pdf”，文档编号 MT0512P



2 Xsens 帮助中心和用户社区

Xsens 设有一个大型帮助中心，以便 Xsens 用户与 Xsens 员工（支持人员、现场应用工程师、销售人员和研发工程师）进行交流。知识库包含提示和技巧、常见问题的指导和解答。此外，可以在知识库中分享新闻，还可以提出其他问题（需要注册）。

用户社区是一个答疑解惑之处。答案可能由其他用户或 Xsens 员工提供。用户社区中的响应时间明显短于 Xsens 支持人员的响应时间。

可同时搜索知识库和用户社区。因此，搜索查询结果与来源无关。

请访问 <https://base.xsens.com> 完成注册，只需 1 分钟即可完成（通过电子邮件、Twitter、Google+ 或 Facebook）。

3 引言

Xsens MTi 产品家族目前包括 11 位成员，功能覆盖惯性测量单元 (IMU's) 到完全集成的 GNSS/INS 解决方案。所有产品都内置 3D 惯性传感器组件 (ISA: 陀螺仪和加速计) 和 3D 磁力计，可选配气压计和 GNSS 接收器。

MTi 产品分为三个系列：MTi 1-系列、MTi 10-系列和 MTi 100-系列。MTi 10-系列是 Xsens 的入门级型号，具有极高准确性和有限的 IO 选项。MTi 100-系列是 MEMS IMU 的革命性新产品，方向和位置传感器模块提供前所未有的准确性和各种 IO 接口。MTi 1-系列是用于 SMD 组装的低成本模块。有关 MTi 1-系列的更多信息，请参阅 [MTI_1]。本用户手册将特别适用于 MTi 10-系列和 MTi 100-系列，但大多数一般信息也适用于 MTi 1-系列。

所有 MTi 都具有强大的多处理器核设计，能够以极低时延处理俯仰、翻转和偏角，同时输出校准过的 3D 线性加速、转速（陀螺仪）、（地）磁场和气压（仅 100-系列支持）数据。MTi-G-700 GPS/INS 和 MTi-G-710 GNSS/INS 还提供 3D 位置和 3D 速度。MTi 接口可直接提供超过 50 种不同的输出格式。每个产品支持的输出格式详见 5.1 节。

本文档介绍了 MTi 10-系列和 MTi 100-系列中所有 8 个 MTi 的使用、基本通信接口和规范。明确指出了它们的不同点。所有产品的设计都是从机械和软件接口上可互换的。

3.1 MTi 10-系列

MTi 10-系列是 MTi 产品家族中的基础产品，以合理的价格提供惯性数据和方向数据。MTi 10-系列包括具备不同集成等级的三种产品。

MTi-10 系列可以简单地通过银制基板识别出来。除了标签，MTi-10 IMU、MTi-20 VRU 和 MTi-30 AHRS 在视觉上没有差别。



3.1.1 MTi-30 AHRS

MTi-30 AHRS 是一个全增强型陀螺仪姿态航向参考系统 (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 转速与 3D 地磁场数据。MTi-10-系列的所有产品还能输出由捷联式集成算法（方向与速度增量 Δq 与 Δv ）所生成的数据。

3.1.2 MTi-20 VRU

MTi-20 VRU 是 3D 垂直基准装置 (VRU)，除了基准偏角外，其输出的数据与 MTi-30 完全相同。偏角无基准，虽然它仍胜过陀螺仪集成。MTi-20 具有有效航向稳定性（参见第 4.2.3 节）。

3.1.3 MTi-10 IMU

MTi-10 IMU 是 3D 惯性测量单元，输出 3D 加速度、3D 转速和 3D 地磁场数据，因此它不处理方向数据。MTi-10-IMU 还能输出由捷联式集成算法（方向与速度增量 Δq 与 Δv ）所生成的数据。

3.2 MTi 100-系列

MTi-100 系列是 MTi 产品家族中的高性能产品，使用了更高级的陀螺仪和性能超越卡尔曼滤波器的新型优化滤波器，比传统 MEMS AHRS 更准确。另外，其使用了更高等级的陀螺仪，使工厂校准更加精确。

MTi 100-系列可以通过深灰色基板和包装盒一边的孔进行识别。这些孔用来使内部气压适应大气压，需要气压计正常工作。注意，内部的电子元件通过通风口进行 IP67 等级的防护。除了标签，MTi-100 IMU、MTi-200 VRU 和 MTi-300 AHRS 在视觉上没有差别。MTi-G-700/710 有额外的 SMA 连接器，可以接入 GPS/GNSS 天线。



3.2.1 MTi-G-710 GNSS/INS

MTi 产品家族的旗舰产品是 MTi-G-710 GNSS/INS，是包括车载 GNSS 接收器（GPS、GLONASS、北斗、Galileo 和 QZSS）的完全集成解决方案。因此，MTi-G-710-GNSS/INS 不仅能够输出 GNSS 增强 3D 方向，还能输出 AHRS 增强 3D 位置和速度，这样，位置和速度准确性能极大地改善 GNSS 接收器的准确性。此外，它还提供 3D 传感器数据，如加速、转速、磁场、GNSS 接收器导航解决方案和静压。可获得在 400 Hz 频率下由捷联式集成算法（方向与速度增量 Δq 与 Δv ）所生成的数据和其他所有处理过的数据。

3.2.2 MTi-G-700 GPS/INS

MTi-G-700 GPS/INS 与 MTi-G-710 GNSS/INS 相比，只多了一个支持 GPS 的接收器。MTi-G-700 GPS/INS 和 MTi-G-710 GNSS/INS 可插入式互换。MTi-G-700 将于 2016 年年底停产。

3.2.3 MTi-300 AHRS

MTi-300 AHRS 是一个全增强型陀螺仪姿态航向参考系统 (AHRS)。它可以输出无漂移的俯仰、翻转与真实/北磁极基准偏航。还可以输出传感器数据、由捷联式集成算法所生成的数据和其他在 3.2.1 章节中描述的数据。

3.2.4 MTi-200 VRU

MTi-200 VRU 是 3D 垂直基准装置 (VRU)，该装置与 MTi-G-710/700 和 MTi-300 一样，也运行 Xsens 传感器融合算法。MTi-300 和 MTi-200 数据的不同在于偏航无基准，即使偏航仍比转速集成好很多。MTi-200 也具有有效航向稳定性。

3.2.5 MTi-100 IMU

MTi-100 IMU 是 3D 惯性测量单元，输出 3D 加速度、3D 转速和 3D 地磁场数据。MTi-10-IMU 还能输出由捷联式集成算法（方向与速度增量 Δq 与 Δv ）所生成的数据。



3.2.6 使用唯一设备标识符确定设备功能

每个 Xsens 产品会有一个叫做 DeviceID 的唯一序列设备标识符。DeviceID 是根据每个 MTi 产品配置而分类的，可以通过查看 DeviceID 识别 MTi（及其功能和接口）。DeviceID 的第二位数字表示其功能（如 MTi-10 和 MTi-100 中的 1），第三位数字表示其产品系列号（如 MTi 10-系列中的 6 和 MTi 100-系列中的 7），第四位表示其接口（如 RSR232+USB 中的 0）。每个设备的最后四位是唯一的，这四位数字是十六进制的。

下面是产品列表及其相关产品。

产品	多协议	RS232+USB	RS422	RS485+USB
MTi-1-IMU	0188xxxx			
MTi-2-VRU	0288xxxx			
MTi-3-AHRS	0388xxxx			
MTi-10 IMU		0160xxxx	0161xxxx	0163xxxx
MTi-20 VRU		0260xxxx	0261xxxx	0263xxxx
MTi-30 AHRS		0360xxxx	0361xxxx	0363xxxx
MTi-100 IMU		0170xxxx	0171xxxx	0173xxxx
MTi-200 VRU		0270xxxx	0271xxxx	0273xxxx
MTi-300 AHRS		0370xxxx	0371xxxx	0373xxxx
MTi-G-700 GPS/INS		0770xxxx <07701000	0771xxxx <07711000	0773xxxx <07731000
MTi-G-710 GNSS/INS		0770xxxx >07701000	0771xxxx >07711000	0773xxxx >07731000



3.2.7 产品代码

MTi MkIV 的产品代码包括几位代表产品类型、全系列的惯性传感器、接口和包装选项的字符。下表展示了产品代码的构成，如 MTi-10-4A5G4 表示带 RS485 接口的 IMU，5g 全量程加速计和 450 deg/s 全量程陀螺仪。

不是每个组合都可用。

格式	MTi-	####	-	*	A*	G*			-O	
实例	MTi-	200	-	2	A8	G4			-O	
		1		2	RS232	A5	5g	G4	450 °/s	10/100 系列: 铝包装 1-系列: SMD
		2		4	RS485	A8	18g	G0	1000 °/s	-O 无包装 (OEM)
		3		6	RS422					
		10								
		20								
		30								
		100								
		200								
		300								
		G-700								
		G-710								



3.3 MTi 产品演化

MTi 10-系列和 MTi 100-系列是在超过 15 年的知识和产品基础上的 Xsens 第四代产品。可以命名为 MkIV MTi。在源代码或软件中，可以称为 Mk4。

在本手册中，可以使用传统 MTi、MTx 或 MTi-G 这些术语。在这些案例中，指的是前几代产品，在 MEMS 运动跟踪技术中设定标准。

无线 MTw 也属于运动跟踪器，在系统结构和接口方面与 MTi 10-系列和 MTi 100-系列很相似。

3.1 和 3.2 节详细介绍了 MTi 10-系列和 MTi 100-系列，为了完整性，这两个系列也在下面列出。MTi 1-系列的详情，见 [MTL_1]。

产品名称	说明	供货情况	产品图片
传统 MTi	标准配置 MTi 是全 3D AHRS，功能上可以与 MTi-30 和 MTi-300 相媲美。它使用塑料包装和铝制底盘。其产品编号以 MTi-28A53G35 的形式表示。	初次引入： 2005 EOL： 2014 年 8 月 31 日	
传统 MTi-OEM	传统 MTi 的 OEM 板。该板为绿色（与 MTi-10s 和 MTi-100s 的 OEM 板的橙色相对）。	初次引入： 2006 EOL： 2014 年 8 月 31 日	
传统 MTx	该轻质运动跟踪器旨在作为人类运动的运动跟踪器，使用全塑料包装。其产品编号以 MTx-28A53G25 的形式表示。	初次引入： 2005 EOL： 2014 年 8 月 31 日	
传统 MTi-G	GPS 辅助 MTi-G 在加速过程中提供可靠方向。MTi-G 的继承产品是 MTi-G-700/710。其包装与传统 MTi 相同。其产品编号以 MTi-G-28A53G35 的形式表示。	初次引入： 2007 EOL： 2014 年 8 月 31 日	
MTw	无线 MTw 可以作为运动跟踪器单独使用，也可以与 Awinda 接收站通过时间同步网络进行工作。其产品编号以 MTw-38A70G20 的形式表示。	初次引入： 2010	
MTi 10-系列、MTi 100-系列（包括 MTi-G-700/710）和 OEM	Xsens 运动跟踪器 (MkIV) 最新第四代产品。有关更多信息，请见第 3.1 和 3.2 节。OEM 板为橙色。该手册重点关注这些产品。其产品编号以 MTi-30-2A5G4 的形式表示。	初次引入： 2012	

3.4 MTi 开发套件概述

MTi 开发套件是使用非常方便的入门者套件，可以在任何用户场景下实现快速和简单集成。右侧显示了开发套件，其中包含 MTi 和线缆。所有软件和安装说明均可在线获取。

MTi DK 的所有内容如下。



3.4.1 目录

- 您的 MTi
- USB 电缆 (CA-USB-MTi) 和/或多用途电缆 (CA-MP2-MTi)
- 测试和校准证书
- MT 软件套件可通过 www.xsens.com/mt-software-suite 获取
 - MT 底层通信文档 PDF【MT0101P】
 - MT 软件套件
 - Xsens MTi USB 驱动器
 - 适用于 Linux 和 Windows 的 MT 管理器界面
 - 适用于多个操作系统的 MT 软件开发套件 (MT SDK)
 - XsensDeviceApi.DLL, 32 位和 64 位 (Windows)
 - DLL C 和 C++ 接口
 - COM 接口
 - XDA 公共源文件 (C、C++ 包装; 任何 OS)
 - 示例源代码和示例 (Windows)
 - MATLAB: MATLAB 2010b 支持的 DLL 示例
 - C: DLL 示例
 - C++: 公共源示例和 DLL 示例
 - 示例源代码和示例 (Linux)
 - C — 示例
 - C++ — 公共源示例
 - 磁场映射器 — MFM (Windows 和 Linux)
 - MFM SDK (Windows 和 Linux)
 - 文档
 - MTi 用户手册【MT0506P】
 - MTi 1-系列资料【MT0512P】
 - MTi-3 DK 用户手册【MT0513P】
 - MT 低级通信文档【MT0101P】
 - MT 磁场映射文档【MT0202P】
 - XDA Doxygen HTML API 文档
 - MTi 白皮书
 - 固件更新器用户手册【FU0100P】
 - 固件更新器 (Windows)

注意: 可随时在 www.xsens.com/mt-software-suite 下载最新版软件、源代码和文档。可以在 BASE 上找到文档链接: <https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/207003759>



3.5 安装

3.5.1 瞬时加速

MTi 的 3D 线性加速计一般用于估测重力方向，从而获得姿态（俯仰/翻转）的基准。在长时间（超过几十秒）的瞬时自由加速（也就是位置的第二次导数）过程中，不可能观察到重力。传感器融合算法考虑到这些影响，但是尽管如此，没有额外信息，是无法估测到实际垂直重力的。

在您在定位设备并在将其安装在您需要跟踪、导航、稳定或控制的物体中时，瞬时加速的影响可以最小化。

如果您想使用 MTi 来测量一个移动车辆/飞行器的动态时，最好将测量设备定位在您认为瞬时加速度最小的位置。该位置一般紧靠车辆/飞行器的重心，因为在靠近重心的旋转点外的任何一点的任何旋转都将转化为向心加速度。整体上来说，车辆的加速度当然不能被考虑。对于带 GNSS 或 GPS 定位的 MTi-G-700/710，瞬时加速度可以使方向更易观察。

MTi 100-系列处理瞬时自由加速更好，因为 MTi-100-系列使用了更高等级的陀螺仪。除了更好的硬件之外，MTi 100-系列中使用的算法在探测和处理有挑战性条件（如瞬时加速）方面也更好。

3.5.2 振动

MTi 在 10 kHz 频率下采样，包括带圆锥和划船算法和抑制振动的捷联式算法。然而，为了获得最好的结果，推荐尽量将 MTi 在机械上独立与振动：由于振动是直接由加速计测量的，以下两个条件可以使加速计上的读数无效；

1. 振动的幅度大于加速计的测量范围。这将导致加速计饱和，可能使加速计在零级附近漂移。展现为错误的俯仰/翻转。
2. 振动的频率大于加速计的带宽。理论上说，这种振动应进行抑制，但实际上，振动仍然会引起假频，特别是接近带宽限值时。这会展现为低频振动。此外，高频振动通常会带来高加速振幅（见项目 1）。

这对陀螺仪也有影响，特别是当振动包含高频圆锥运动时，陀螺仪读数可能会无效。MTi 100-系列具有抑制机械振动的陀螺仪，用来更好地处理这些特定情况。

注意，Fischer 连接器上的套管设计为可移动的，便于非匹配性。MTi 上的振动，特别是 MTi 的 X 轴方向上的振动，可以使套管对着连接器的面板部分进行振动。这在加速计和陀螺仪的数据上可以看出。为了避免该情况，Fischer 连接器的套管可能在通过连接器的环进行锁定。

Xsens 已在 MTi 上试验过一套减振器。减振器是一种短小的橡胶柱体，使 MTi 可以挂在某个物体上，而不用通过直接金属连接在金属连接器上，使振动从物体转移到 MTi 上。减振器在可以引起假频的高达 1200 Hz 的频率下进行测试，当 MTi 直接放在振动台上时，在合适的减振器时，对 MTi 没有影响。测试的减振器由 Norelem 制造，器件编号为 26102-00800855, www.norelem.com

3.5.3 磁性材料和磁体

当将 MTi 放置在接近磁性物体或含有铁磁材料的物体或这些物体上时，待测量磁场会畸变（变形）并导致偏航错误。地磁场会被铁磁材料，永磁铁或非常强的电流（好几安培）改变。实际上，与物体的距离和铁磁材料的数量决定了干扰的大小。由畸变造成的偏航（仅 MTi-30、MTi-300 和 MTi-G-700/710 适用）错误会变得非常大，因为地磁场与许多畸变源的幅度相比非常弱。

一个物体是否是铁磁体最好使用 MTi 的磁力计进行检测。还可以使用小磁体进行检测，但是请小心，可能会轻易地使硬铁磁材料磁化，导致更大的错误。如果您发现有些如不锈钢的一般不容易有磁性的物体磁化了（硬铁效应），这是正常的现象，不太可能使物体“消磁¹”。

在大多数情况下，将 MTi 放置在铁磁物体上产生的磁场干扰可以通过使用俗称“硬软铁校准”的特殊校准过程进行纠正。校准过程（仅 MTi-3、MTi-30、MTi-300 和 MTi-G-700/710 适用）可以在几分钟之内完成，产生一套新的校准参数，可以写入 MTi 固定存储器中。该校准过程在软件套件中的软件模块“磁场映射器 (MFM)”中执行。

另一个选项是可从固件版本 1.5 获得的运行指南针校准 (ICC)。ICC 以一种与磁场映射器类似的方式补偿磁畸变。As

由 MTi 附近环境中与设备有关的独立移动物体产生的干扰，如建筑物或车辆，会产生无法解释的畸变²。MTi-300 和 MTi-G-700/710 的磁场畸变比 MTi-30 低。此外，由于磁场畸变，滤波轮廓的选择会对整个错误量产生很大的影响。

¹ 消磁是将不断减弱的随机方向强交变磁场应用在已经磁化的物体上的过程。强交变磁场的作用是去除物体上的磁化（对齐）区域。消磁时，保证 MTi 不能贴着物体。

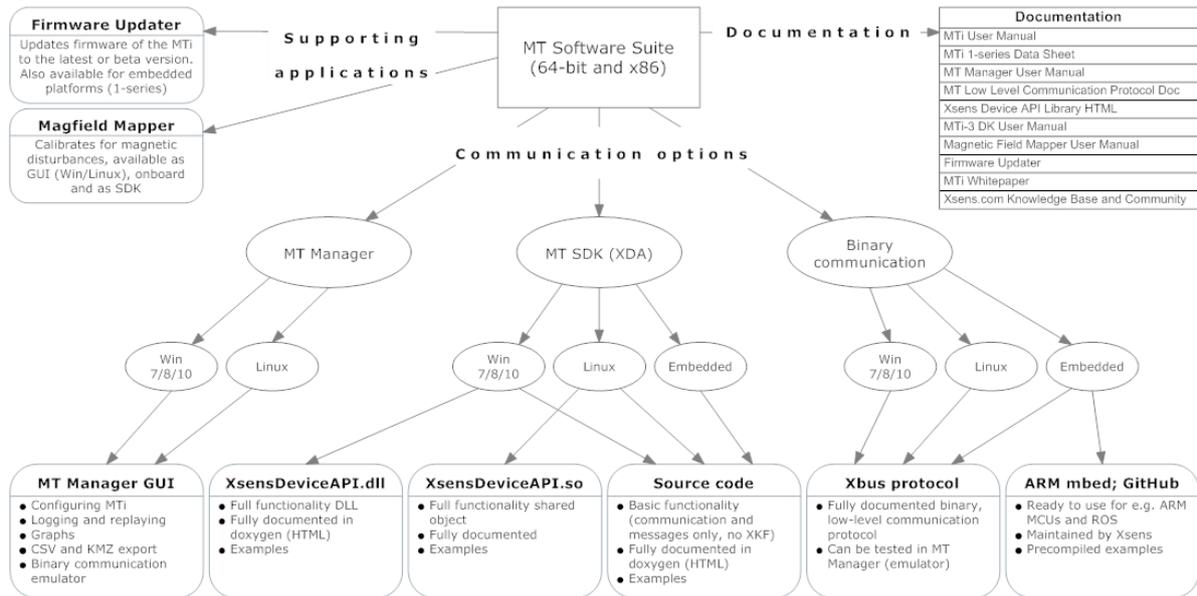
² 这种类型的干扰是无法确定的。

3.6 典型用户场景

该章节旨在帮您找到可以按照您使用 MTi 的方法的合适的软件组件和相应的文档。

3.6.1 MT 软件套件

MT 软件套件是一套软件组件，可以用来与 MTi 通信，完成更高级的动作，如记录、导出、磁场校准和固件更新。以下是一张基于软件平台和优先接口级别的流程图。



左侧显示了带界面的三个程序（固件更新器、磁场映射器和 MT 管理器）。这些程序可以使您轻松完成 MTi 的配置。MT 管理器还可以用来与 MTi 通信。MagField Mapper 也可作为 SDK 集成到另一个应用程序中。

MT SDK 包括所有开发者代码，如 DLL、共享对象和内嵌系统源代码的基本功能。当然，也可以使用低级通信选项，如 XBus 低级协议；但是可以在 DLL 和共享对象中找到最多的功能。

Xbus 低级协议在《低级通信协议》中有详细描述：[LLCP]. 与开发者平台一起使用 MTi 1 系列的存储库，如 <https://developer.mbed.org> 所示。

Linux 系统的 USB 接口硬件驱动器可以在 http://github.com/xsens/xsens_mt 找到。驱动器还包含在 Linux 内核 3.9 及更高版本中。



3.6.2 MT 管理器入门

开始使用 MTi 最简单的方法就是使用 Windows 7、Windows 8 和 Windows 10 的 **MT 管理器** 软件。这个简单易用的软件带 Windows 用户接口，可以使您：

- 记录数据，回放/回顾数据
- 实时查看方向，位置和速度（可选）
- 实时查看惯性和磁力传感器数据
- 通过信息终端查看低级通信和 XDA 通信
- 以 ASCII 和 KMZ 格式输出日志文件
- 修改和查看各种设备设置和属性
- 重新处理预先记录的数据，如各种不同设置

因此，MT 管理器是了解和演示 MTi 功能和根据您的需要简单配置设备的最简单的方法。

使用了 MT 管理器，可以将一个配置模板应用于多个 MTi 上。系统集成者可以快速准确地配置 MTi。

请参考 **MT 管理器用户手册** [MTM] 以获得关于此主题的更多信息。



3.6.3 使用软件开发套件 (SDK)

本章将介绍 Xsens 设备 API (XDA)。XDA 可以作为对评估 SDK 基础和了解背景考虑有兴趣的软件开发部门成员的起点。SDK 的主要目标是使开发基于 Xsens 运动跟踪器的用户特定主机应用变得简单。

MT SDK 4.x (和 MT 软件套装) 是为 MTi 1-系列、MTi 10-系列和 MTi 100-系列设计的。通信协议与之前版本的 SDK 都相同。显然，引入了一些新的功能。在 MTi 1-系列、MTi 10-系列和 MTi 100-系列的一些功能和信息中，特别引入了一个新的术语：MkIV (在功能中称为 Mk4)，是 Mark IV：第四代 MTi 的缩写。

3.6.3.1 使用源代码和动态库

MT SDK 由源代码和动态库组成。源代码以 C 语言的形式提供，因为该语言可以使用很多其他变成语言进行处理，如 C++、Java 和 Python。由于 C++ 是一种更方便首次使用 MT SDK 的用户使用的语言 (犯错风险更低，更容易处理复杂功能)，Xsens 还提供了 C 语言编译库的 C++ 包装器。参考 Xsens 安装文件夹中的 MT SDK 文档，找到 XDA 的概述图。主机应用开发者可以选择使用 COM、C、C# 或 C++ 接口。但是，编译动态库中只交付了 C 接口。对于 C# 和 C++ 接口，封装类的源代码作为 SDK 的一部分提供。这些接口在下面的章节中将详细讨论。

注意，概念上来看，XDA 不区分数据源是来自设备的实时数据流还是记录文件数据流。

使用 Xsens Xbus 低级通信协议在第 3.6.4 节中进行讨论。

设备管理和全局控制功能在 XsControl 对象中进行分组。要访问某个特定设备的功能，可以使用 XsDevice 对象。一般步骤如下：

1. 输入 XsControl::setSerialKey 格式的序列密钥。
2. 使用 XsScanner::scanPorts 扫描 Xsens 设备。
3. 使用 XsControl::openPort 打开端口并使用 XsControl::device 获得设备对象。
4. 配置设备 XsDevice 功能
5. 开始测量

C-接口库

XDA 在两个向 Windows 和 Linux 提供的 C-接口库中执行，包括两个部分：

- XDA，包括在设备上执行的对功能的访问，如配置运动跟踪器，请求数据等。
- XsTypes，包括泛型类型（向量、矩阵、四元数等），如将来自 MTi 的四元数转换为欧拉角。

C API 开放了 Xsens 设备支持的所有功能。同样地，某个在设备上执行的功能可以通过至少一个 XsDevice 对象作为参数的函数调用而实现。不是每个 Xsens 设备都支持所有功能，例如，MTi 不支持获得位置估算，而 MTi-G 支持。这就意味着一个函数是否返回有意义的结果决定于其所连接的设备。DeviceID 表示了带特定功能的 MTi 产品：可以在第 3.2.6 节中找到 DeviceID 列表。开放所有可能功能有以下优势：当使用具有其他功能的设备更换正在使用的 MTi 时，大部分代码都可以保持不变。

从内部来说，Xsens 主机软件通过面向对象的方法来实现，在该方法中，这些功能只在子类中实现，见下图。

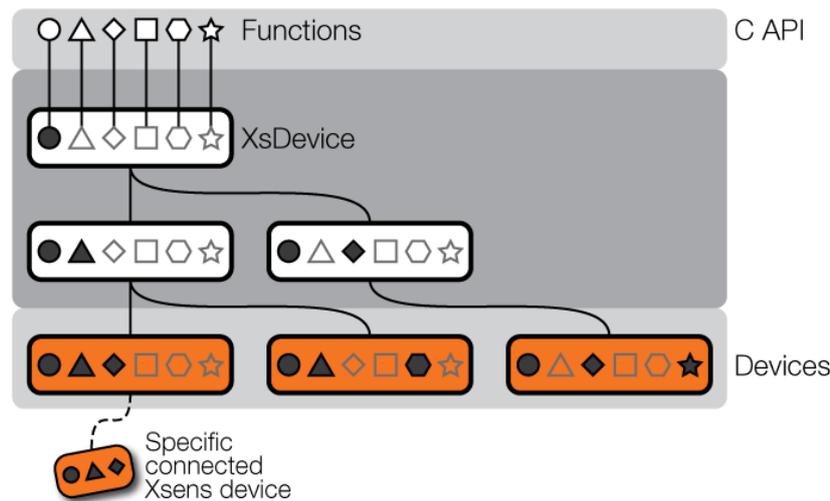


图 1：特定产品的功能实现

对开发者来说，只使用连接设备支持的功能至关重要。在运行过程中，调用不支持的函数会产生错误状态，与一般错误处理框架一致。

C++ 接口

为了向开发者提供简便的对象生命周期管理，XDA 同样可以作为 C++ 接口来实现基本的对 C API 的封装。这意味着，开发者不用处理内存管理（也就是简单的对象生命周期管理），而类实现则需要处理。例如，C 接口上叫做 XsDevice_<function name> 的函数可以作为 C++ 接口上 XsDevice 类的 <function name> 方法实现。

COM 接口

在 MS Windows 环境下，所有的功能还都可以通过 COM 接口实现。



3.6.4 与 MTi 进行直接底层通信

MTi 具有强大的内嵌多处理器核。由于 MTi 有车载的固定存储器，可以存储所有的设置，因此 MTi 可以不用主机而直接使用。

底层通信协议（称为 XBus 协议）提供全控制和功能，但是不具有 Xsens 设备 API 所提供的简易优势，如线程，面向对象编程和错误处理。底层通信对于不支持 Xsens 设备 API 的平台尤为重要，如自定义嵌入式电脑。

底层通信在《低级通信协议文档》中有详尽描述。除此之外，还提供了源代码，使 MTi 的驱动器开发和 Xbus 信息跟踪变得简单快捷。

3.6.5 MT 软件套件使用条款

MT 软件套件的安装程序可以安装一下四个组件：MT 管理器、MT SDK、MT 磁场映射器和 MFM SDK。MT 固件更新器是一个单独的安装程序，可从 Xsens 网站获得。您需要接受 MT 软件套件的《限制许可协议》。下表描述了每一个组件的使用指南。

元件	指南
MT 管理器	仅供 Xsens 产品使用 禁止分发 禁止反向工程 禁止修改
MT SDK	仅供 Xsens 产品使用 允许按现状分发或嵌入方案 禁止反向工程 允许执行、复制、修改和编译（修改）源代码，以便仅与 Xsens 产品一起使用 禁止修改 DLL 包括《许可协议》的分发
MT MFM	仅供 Xsens 产品使用 允许按现状分发 禁止反向工程 禁止修改 包括《许可协议》的分发
MFM SDK	仅供 Xsens 产品使用 允许按现状分发或嵌入方案 禁止反向工程 允许执行、复制、修改和编译（修改）源代码，以便仅与 Xsens 产品一起使用 禁止修改 DLL 包括《许可协议》的分发
MT FWU	仅供 Xsens 产品使用 允许按现状分发 禁止反向工程 禁止修改 包括《许可协议》的分发



4 MTi 系统概述

4.1 校准

MTi 内置传感器组件的正确校准对于准确输出至关重要。校准的质量和重要性拥有最高优先级，因此每个 Xsens MTi 都在不同运动和温度范围中进行校准和测试。

MTi 10-系列和 MTi 100-系列配备不同陀螺仪和不同传感器融合算法。因此，高性能的 MTi 100-系列需要更加复杂的校准方法。

单独校准参数用来将传感器组件读数（数字化电压）转换为尽量精准的物理数量，弥补一系列可确定的误差。此外，校准值还是用在 Xsens 传感器融合算法中，如下讨论。

4.2 供 MTi 10-系列使用的 Xsens 卡尔曼滤波器 (XKF3i)

MTi 10-系列的方向由 Xsens 卡尔曼滤波器进行计算。XKF3™ 是一种经过证明的传感器融合算法，在 Xsens 及其合作伙伴的产品中都已使用。工业中使用的版本是 XKF3i：它使用速率陀螺仪、加速计和磁力计的信号来计算静态和动态移动无漂移高精度的统计最优 3D 姿态估测。

XKF3i 算法的设计可总结为一种传感器融合算法，重力（3D 加速计）和地磁场北极（3D 磁力计）的测量缓慢但无限地弥补不断增加（漂移）的由转速数据（速率陀螺仪测量的角速度）融合产生的误差。这种漂移补偿通常叫做姿态和航向基准，该系统成为姿态和航向基准系统 (AHRS)。

4.2.1 使用重力加速来稳定倾角（俯仰/翻转）

XKF3i 使用加速计信号稳定倾角（即将俯仰和翻转结合）。加速计测量重力加速度和由与周围环境相关物体运动产生的加速。

XKF3i 假设平均由运动产生的加速为零。在这种假设下，重力的方向可以观察到并可以用来稳定姿态。在重力场中 MTi 的方向会计算在内，这样向心加速度或非对称性运动不能导致姿态估测性能的降低。该假设出人意料地强大，几乎所有物体在运动时都会经历加速度，但是大多数情况下，在一段时间内与环境有关的平均加速度为零。这里的关键在于必须平均加速度使假设成立所需要的时间。在这段时间内，速率陀螺仪必须能够以高精度跟踪方向。在实际应用中，这限制了使假设成立所需要的时间。对于 MTi-10 系列中使用的小型 MEMS 速率陀螺仪的等级，这段时间长度最大约为 10 到 20 秒。

但是，在一些应用中，该假设不成立。例如，正在加速的汽车可能会产生在一段比 MT 速率陀螺仪可以可靠地跟踪方向所需要的最大时间更长的时间内的显著的加速度。这将降低 XKF3i 估算的方向精确度，因为该应用不符合算法中的假设。但是请注意，只要运动再次符合假设，那么 XKF3i 将恢复并使其稳定。恢复到最佳精确度需要一定的时间。

注意：为了能够在可能会遇到长时间加速的应用中精确测量方向和位置，我们向您提供加入了 GPS 或 GGSN 接收器（MTi-G-700 GPS/INS 和 MTi-G-710 GNSS/INS）的解决方案。

4.2.2 使用地磁场稳定偏航

默认情况下，使用局部（地）磁场来稳定偏航（仅在 MTi-30/MTi-300 AHRS 中使用）。换句话说，测出的磁场当做指南针来使用。如果局部地磁场暂时受到干扰，XKF3i 将会追踪该干扰，而不是错误地假设没有干扰。但是，在结构性磁场干扰（>10 to 30 s，取决于滤波器设置）的情况下，计算的航向将缓慢地聚集为一个使用“新”局部磁场北极的解决方案。注意，磁场对于倾角估算没有直接影响。

在 MTi 与含有铁磁材料的物体紧贴的特殊情况下，会产生结构性磁场干扰。使用所谓的“磁场映射”（MFM，即软硬铁效应使用的 3D 校准），这些磁性干扰会完全被校准，在 MTi 没有受到含有铁磁材料的物体的保护的情况下，MTi 可以使用。

4.2.3 在磁场干扰环境中估算陀螺仪偏差

陀螺仪偏差需要持续估算。在 X 轴和 Y 轴（俯仰和翻转轴）中的转速中，使用重力（加速计）来估算陀螺仪偏差。在同质磁场中并使用磁力计带滤波器配置，Z 轴附近的陀螺仪偏差将能成功估算出来。

在一些情况下，航向不能以（磁力）北极为基准。在未使用磁场或磁场不是同质时，就会发生这种情况。有几种减少航向漂移（围绕 Z 轴旋转）的方法：

1. 在 MT 软件套件 4.3 和固件 1.4 中，传感器融合算法包括有效航向稳定性 (AHS)。这就意味着 VRU_General 滤波器配置文件中的航向漂移将会减少到接近 1 度/小时 (MTi 100-系列) 或接近 3 度/小时 (MTi 10-系列)。由于航向无基准，在所有环境下这种性能都无保证。在这种情况下，还有以下选项。从 MT 软件套件 4.4 开始，AHS 均可用于所有滤波器配置文件。
2. 当 MTi 在俯仰和翻转上有足够运动 (> 30 度，超过 10 秒) 时，陀螺仪偏差将会对 Z-陀螺仪进行估算。在旋转 MTi 在 0 左右进行俯仰和翻转时，航向将会比在俯仰和翻转前更加稳定。
3. 当 MTi 不能或不在俯仰和翻转时，可能估算 MTi 不旋转（所谓无旋转更新）时的陀螺仪偏差。因此，确定 MTi 不会移动，并在测量模式下发送命令 (`SetNoRotation (0x22)`) 至 MTi。推荐使用六秒钟无旋转更新。MTi 绝对不能在程序激活时进行旋转。此外，当偏差随温度变化时，必须确保 MTi 已经加热至少 10 分钟。

4.2.4 初始化

XKF3i 算法不仅计算方向，还会跟踪变量，如传感器偏差或局部磁场属性（磁场：仅 MTi-30 AHRS）。因此，一旦 MTi 进入测量模式，需要一段时间稳定方向输出。获得最佳稳定输出的时间取决于一些因素。确定稳定时间的一个重要因素由修正速率陀螺仪偏差的小误差的时间决定。由于不同效应，如温度改变或开放影响，速率陀螺仪偏差可能会缓慢地改变。



4.2.5 XKF3i 滤波器配置文件

如上所述，XKF3i 使用加速度和磁场假设来获得方向。因为不同应用中加速度或磁场的特征不同，XKF3i 利用滤波器配置文件来使用该应用中的正确假设。通过这种方法，XKF3i 可以对不同种类运动进行优化。为在某个应用中达到最佳性能，用户必须设置正确的滤波器配置文件。有关怎样在 XKF3i 中设定滤波器配置文件的的信息，请参见《MT 管理器用户手册》[MTM] 或《MT 低级通信协议文档》[LLCP]。

滤波器配置文件可以分为不同运动类型，如下。

编号	名称	IMU	磁力计	产品
39	常规	•	•	30-AHRS
40	High_mag_dep	•	•	30-AHRS
41	动态	•	•	30-AHRS
42	Low_mag_dep	•	•	30-AHRS
43	VRU_general	•		30-AHRS, 20-VRU

通用滤波器配置文件是默认配置。假设有中等动力和均匀磁场。外部磁场畸变相对较短（最多 20 秒）。典型应用包括摄像头跟踪（如电视摄像头）和 ROV 遥控机械手等。

high_mag_dep 滤波器配置文件假设有均匀磁场和优秀的磁场映射器。该文件严重依赖航向磁力计。运动的动力相对较慢。典型应用包括 ROV 导航或小型无人机控制。

动态滤波器配置文件假设有突变运动。但是，也假设了没有 GNSS 和/或速度并不快。在这些条件下，100-系列的 MTi 是一个好的选择。动态滤波器配置文件使用磁力计用于稳定航向，并假设有很短的磁场畸变。典型应用是 MTi 挂在人身上或是手持的（如 HMD 和体育属性等）。

low_mag_dep 滤波器配置文件假设动力相对较小，且有长期外部磁场畸变。当很难做好的磁场映射时也可以使用该配置文件。使用 low_mag_dep 滤波器配置文件可以在非同质磁场中有效地限制航向漂移。典型应用是大型容器或建筑中的无人驾驶地面车辆。

VRU_general 滤波器配置文件假设在磁场中有中等运动，磁场完全不可信并受益于 AHS。当有其他偏航源头的情况下，也可以使用该配置文件。来自 VRU 的偏航无基准；但是请注意，因为 VRU 的工作原理，偏航的漂移会比陀螺仪信号集成时低很多。典型应用是安装在车船上的稳定天线平台以及管道检测工具。该滤波器配置文件是唯一适用于 MTi-20 VRU 的。



注意：在 MT 软件套件 4.3 或固件 1.4 中，VRU_General 滤波器配置文件包括有效航向稳定性 (AHS)。这使 Z 轴中 MTi 100-系列的航向漂移有效减少到接近 1 度/小时，MTi 10-系列中减少到接近 3 度/小时。由于航向无基准，在所有环境下这种性能都无保证。从 MT SW 套件 4.4 或固件版本 1.4.12 开始，AHS 均可用于所有 MTi。

每种应用都不相同，虽然应用示例在上文中都有所描述，但实际结果可能随着设置而变化。推荐在 MT 管理器中使用不同滤波器配置文件重新处理记录文件，确定特定应用中的最佳结果。



4.3 MTi 100-系列适用的 Xsens 传感器融合算法

4.3.1 MTi 100-系列滤波器

MTi 100-系列中的 Xsens 传感器融合算法有很多高级特性。它可以处理许多数据通道，同时吸收 GNSS 和 气压计数据。

4.3.2 瞬时加速

MTi 100-系列的总体准确性和耐用性比 MTi 10-系列的总体准确性高得多。其中最重要的因素就是使用了更精确的陀螺仪。MTi-100 系列中使用的陀螺仪是抑振、四元结构的 MEMS 陀螺仪。它具有杰出的偏差稳定性，因此能够长时间加入转速，只需要不太频繁的方向基准更新。Xsens 传感器融合算法能够探测瞬时加速度并将长时间使用陀螺仪。除了更出色的陀螺仪，MTi-G-700/710 算法增加了方向和位置估算的可靠性，使 MTi 100-系列在要求更高的应用中成为最佳选择。

4.3.3 磁场畸变

与瞬时加速一样，磁场畸变也可以通过 MTi 100-系列中的传感器融合算法进行探测。这样就可以在同质磁场期间使用磁力计，但是当磁场畸变后，则丢弃磁力计更新。由于在 MTi 100-系列中使用了较好的陀螺仪，航向将会以相对低的速率进行漂移。如何激活程序以测算陀螺仪偏差，参见第 4.2.3 节。

4.3.4 GNSS 丢失

当 MTi-G-700/710 具有有限/普通的 GNSS 接收或甚至没有任何 GNSS 接收时，MTi-G-700/710 传感器融合算法在保持最高精度的前提下无缝调整滤波器设置。将对 GNSS 进行持续监控，这样滤波器就能在 GNSS 数据可用且足够可信的情况下考虑。在 GNSS 丢失超过 45 至 60 秒（具体时间取决于滤波器配置文件）的情况下，MTi-G-700/710 将进入在滤波器中不再使永速度估算的状态。

4.3.5 MTi 100-系列滤波器配置文件

只有 MTi-G-700 和 MTi-G-710 能使用 GNSS 更新；MTi-300 AHRS 和 MTi-G-700/710 使用磁力计。MTi-200 仅使用惯性传感器。

传感器融合算法使用加速度和磁场假设来获得方向。因为不同应用中加速度或磁场的特征不同，滤波器利用滤波器配置文件来使用该应用中的正确假设。通过这种方法，滤波器可以对不同种类运动进行优化。为了达到最佳性能，用户必须设置正确的滤波器配置文件。

编号	名称	IMU	磁力计	产品
39	常规	•	•	300-AHRS
40	High_mag_dep	•	•	300-AHRS
41	动态	•	•	300-AHRS
42	Low_mag_dep	•	•	300-AHRS
43	VRU_general	•		300-AHRS, 200-VRU



这些和 MTi 10-系列使用相同的滤波器配置文件，但是在 MTi 100-系列中进行了调整，更好地利用陀螺仪和校准。有关这些滤波器配置文件的描述，参见第 4.2.5 节。

4.3.6 MTi-G-700/710 滤波器配置文件

MTi-G-700 GPS/INS 和 MTi-G-710 GNSS/INS 使用不同滤波器配置文件，因为他们一般在室外应用中使用。以下描述了这些滤波器配置文件。请注意每个滤波器配置文件所需要关注的事项。

编号	名称	IMU	磁场	静态压力	GNSS	完整约束	产品
1	常规	•		•	•		700-GPS/INS 710-GNSS/INS
2	GeneralNoBaro	•			•		700-GPS/INS 710-GNSS/INS
3	GeneralMag	•	•	•	•		700-GPS/INS 710-GNSS/INS
4	汽车	•		•	•	•	700-GPS/INS 710-GNSS/INS
5	HighPerformanceEDR	•		•	•		700-GPS/INS 710-GNSS/INS

通用 滤波器配置文件是默认配置。该配置文件在运动上做了一些假设。偏航通过 GNSS 加速与车载加速计比较进行基准，因此更多的运动（当 GNSS 可用时）会带来更好的偏航。海拔（高度）由将静态压力，GNSS 高度和加速计共同决定。气压基线由 GNSS 进行基准，因此在 GNSS 停止工作时，依然可以保持精确的高度测量，因为该气压基线被监控着。

GeneralNoBaro 滤波器配置文件与 General 滤波器配置文件 非常相似。但是，它不使用气压计来估算高度（因此它只使用 GNSS 和加速计）。由于 MTi-G 上通气孔附近的气流会降低气压（因此会使高度估算不准确），您可以在 MTi-G 挂在这种气流附件时使用该滤波器配置文件。

GeneralMag 滤波器配置文件将其偏航主要基于磁航向以及 GNSS 加速和加速计的对比之上。虽然这种结合使偏航比单独的磁场更加可靠，但是同质或校准过的磁场对于高性能偏航至关重要。其他参数的调整与通用滤波器配置文件中一样。

车用 滤波器配置文件假设 MTi-G 的偏航也是 GNSS 对地航向（完整约束）。该假设在大多数汽车和地面车辆上都成立，除了那些会侧滑的车辆，如赛车，履带车辆，一些挂接车辆（取决于 MTi-G 放置在哪里）以及在崎岖地形上行驶的车辆。因此，车用滤波器配置文件使用 GNSS 来确定偏航。注意，请将 MTi-G 放置在与行驶方向一致的部分，以防偏移。请参照 5.2.3 找到合适的放置位置。如果 GNSS 丢失了，偏航将由速度估算算法进行 60 秒计算，在其由陀螺仪集合决定之前。如果 GNSS 中断固定反复出现或者您不方便获得 GNSS（如在城市“峡谷”中），请考虑使用 HighPerformanceEDR。在车用滤波器配置文件中，当 GNSS 显示没有运动时，偏航锁定（如陀螺仪偏差需估算或偏航未改变）。在静止状态下，陀螺仪偏差会引起偏航漂移，这种作用就很有效。



HighPerformanceEDR 滤波器配置文件能取代以前可用的 AutomotiveUrbanCanyon 滤波器配置文件。这种新的滤波器配置文件专用于地面导航应用，其恶化的 GNSS 条件和 GNSS 中断（0-60 秒）是常规特性。该滤波器配置文件不使用完整约束，从而无需考虑安装注意事项。目标应用：缓慢移动的地面车辆和机车导航。

每种应用都不相同，虽然应用示例在上文中都有所描述，但实际结果可能随着设置而变化。推荐在 MT 管理器中使用不同滤波器配置文件重新处理记录文件，确定特定应用中的最佳结果。

4.4 有效的航向稳定性 (AHS)

当涉及到航向估算时，其中一个强大的功能是有有效航向稳定性 (AHS)。AHS 使用磁力计来估算陀螺仪偏差，但并未引用航向。因此，就 MTi-100 系列而言，60 分钟后的航向漂移可以低至 1 度，对于 MTi-10 系列，60 分钟后的漂移可低至 3 度。当磁场受到干扰时，AHS 仍然起作用。由于 AHS 仅在磁场稳定时才能被触发，因此陀螺仪偏差的更新频率比较低。

存在一种已知情况，即 AHS 将对性能具有不利影响。当磁场变化非常缓慢时（例如，当物体缓慢旋转时，即小于 0.5 度/秒），AHS 可能无法正确地估算陀螺仪偏差。

当 AHS 应用于将磁场作为参考的滤波器配置文件时，磁场将不再用作参考。航向输出将是航向跟踪，而不是引用的航向。

在默认情况下，固件版本 1.4.12 中的 AHS 将关闭。若要启用 AHS，请通过 SetOptionFlags 启用。启用 AHS 的消息是“FA FF 48 08 00 00 00 10 00 00 00 00 A1”或选择 MT 管理器“设备设置”中的布尔值。

4.5 运行罗盘校准 (ICC)

当无法进行磁场映射，且存在随 MTi 移动的软硬铁效应时，可以执行运行罗盘校准 (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。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。

有关更多信息，请参阅 ICC 上的 BASE 文章：<https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/213588029>



5 输出规格

本章将描述 MTi 的各种输出模式。MTi 有几十种输出选项；可以在一次或一组输出中选择不同的输出频率和/或输出格式（如浮点或双精度）。可以在第 5.1 节中找到输出的完整概述。

方向、位置和传感器数据的性能规格可以在第 5.3 节和第 5.4 节中找到。在进入这些章节前，请阅读第 5.2 节，解释了各种坐标系和位置表示。



5.1 数据输出概述

MTi 支持两种不同的数据协议：二进制（十六进制）XBus 协议和 NMEA。参考 [LLCP] 学习怎样在数据协议之间切换。

5.1.1 XBus 协议中的 MTData2 输出

要学习更多关于怎样使用 XDA 类型名称和 Hex 值的信息，请分别参考第 [XDA_DOC] 和 [LLCP]。

组别名称	类型名称	XDA 类型名称	Hex 值	对 MTi 产品有效								最大频率 ³		
				10	20	30	100	200	300	700	710			
温度		XDI_TemperatureGroup	08x0	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1 Hz	
	温度	XDI_Temperature	081y	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
时间戳		XDI_TimestampGroup	10x0	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2000 Hz	
	UTC 时间	XDI_UtcTime	1010	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	数据包计数器	XDI_PacketCounter	1020	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	每周整数时间 (ITOW)	XDI_Itow	1030	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	GPS 寿命 (传统)	XDI_GpsAge	1040											
	压力寿命 (传统)	XDI_PressureAge	1050											
	采样时间精度	XDI_SampleTimeFine	1060	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	粗略采样时间	XDI_SampleTimeCoarse	1070	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	帧范围	XDI_FrameRange	1080											
	方向数据		XDI_OrientationGroup	20xy		•	•		•	•	•	•		400 Hz
四元数		XDI_Quaternion	201y		•	•		•	•	•	•			
旋转矩阵		XDI_RotationMatrix	202y		•	•		•	•	•	•			
欧拉角		XDI_EulerAngles	203y		•	•		•	•	•	•			
压力		XDI_PressureGroup	30xy				•	•	•	•	•	50 Hz		
	气压	XDI_BaroPressure	301y				•	•	•	•	•			
加速度		XDI_AccelerationGroup	40xy	•	•	•	•	•	•	•	•	2000 Hz (见备注)		
	Delta V	XDI_DeltaV	401y	•	•	•	•	•	•	•	•			
	加速度	XDI_Acceleration	402y	•	•	•	•	•	•	•	•			
	自由加速	XDI_FreeAcceleration	403y		•	•		•	•	•	•			
位置		XDI_PositionGroup	50xy							•	•	400 Hz		
	椭圆海拔	XDI_AltitudeEllipsoid	502y							•	•			
	位置 ECEF	XDI_PositionEcef	503y							•	•			
	LatLon	XDI_LatLon	504y							•	•			

³ 选择不同的输出组合，最大频率也会不同。车载处理和 在 XDA 处理的输出可用性和频率有可能不同，因为需要 SCR 或 delta_q/delta_v 进行数据处理。2000 Hz 加速度和角速度只有在 XDA 处理中可用。



5.1.2 ASCII 输出 (NMEA)

MTi 还支持 ASCII 中各种字符串，其中包括 NMEA 协议中的消息。下面列出了 MTi 可以输出的字符串列表。

位	字符串类型	说明
第 0 位	\$HCHDM	磁航向
第 1 位	\$HCHDG	带偏移量的航向
第 2 位	TSS2	航向、起伏 (0)、状态、俯仰、翻转、航向状态标识 (F)
第 3 位	\$PHTRO	俯仰、翻转
第 4 位	\$PRDID	俯仰、翻转、航向
第 5 位	EM1000	翻转、俯仰、起伏 (0)、航向
第 6 位	\$PSONCMS	四元数、加速度、转速、磁场、温度
第 7 位	\$HCMTW	温度
第 8 位	\$HEHDT	真航向
第 9 位	\$HEROT	转速
第 10 位	\$GPGGA	UTC 时间、纬度、经度、定位质量、卫星编号、HDOP、高度
第 11 位	\$PTCF	航向、翻转、俯仰、翻转速率、俯仰速率
第 12 位	\$XSVEL	速度 X、Y、Z
第 13 位	\$GPZDA	小时、分钟、秒、天、月、年
第 14 - 15 位	保留	为后续字符串类型保留

5.2 坐标系

MTi 输出的数据在坐标系中表示，将在以下部分进行说明。

5.2.1 校准惯性数据和磁场数据

传感器坐标系 (S) 是右旋设备地固坐标系。当 MTi 不完全与其附属的物体或车辆的轴对齐时，可以将传感器坐标系旋转到**物体坐标系 (O)**。参见第 5.11 节获得更多关于对齐矩阵的信息。

(S) 和 (O, 使用时) 用来输出转速 (DataID 0x8020)、加速度 (DataID 0x4020) 和磁场 (DataID 0xC020)。MTi 的封装版本在标签上展示了坐标系。以下描述了封装 MTi 和 OEM 版本中的传感器坐标系。小写的 x、y 和 z 用于 (S) 和物体坐标系 (O) 中。大写的 X、Y 和 Z 一般但并不总是用于速度。他们代表了局部-地球固定坐标系 (L)，参见第 5.2.3 节。

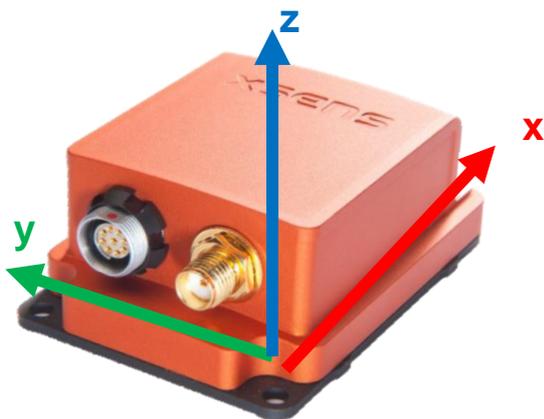


图 2：封装 MTi 的坐标系（注意：原点在加速计上）

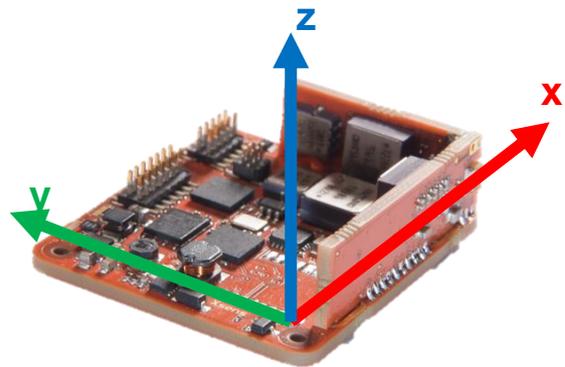


图 3：MTi-OEM 的坐标系（注意：原点在加速计上）

在独立工厂校准过程中，MTi 的铝基板与输出坐标系对齐。底板和与传感器固定输出坐标系 (S) 的铝基板的侧边对齐角度小于 0.1 度。MTi 基板上设计了方便对齐的点。

地固坐标系轴 (S) 的非正交角度小于 0.05°。这也说明 3D 线性加速、3D 转速（陀螺仪）和 3D 磁场数据的输出都会有正交的 xyz 读数，与以上表格定义的相差不超过 0.05°。

5.2.2 Delta_angle 和 delta_velocity

MTi 的 SDI 输出包括 delta_angle (dq, DataID 0x8030) 和 delta_velocity (dv, DataID 0x4010)。这些值代表了在一段时间内的方向变化和速度变化。在 MTi 中，默认的时间段为 2.5 ms (400 Hz)。dq 和 dv 值总是在同一个坐标系中表示为校准惯性数据和磁场数据（见第 5.2.1 节），可以是 (S) 或 (O)。



5.2.3 方向数据

MTi 计算校准惯性数据和磁场数据的方向，在 **(S)**、**(O)** 和局部地球固定坐标系 **(L)** 中表示。

默认情况下，局部地球固定基准坐标系是一个右旋坐标系，其中：

- X 正向朝东 (E)。
- Y 正向朝北 (N)。
- Z 正向朝上 (U)。

该坐标系叫做 ENU，是航空和测量应用中惯性导航的标准。注意，可以使用对齐矩阵或方向重置来改变坐标系。

3D 方向输出定义为地固坐标系 **(S)** 和地球固定坐标系 **(L)** 之间的方向，使用地球固定坐标系 **(L)** 作为基准坐标系。

偏航诠释为航向⁴

航向是北与汽车轴水平投影之间的角。偏航是为某个特殊的局部导航框架定义的水平航行轴与水平面纵轴的投影之间的角，遵循右旋规则。根据航向和偏航的定义，可以考虑将 MTi 应用于静止且向北飞的飞机上。下列表格展示了三个基准坐标系（MTi 可使用）的航向和偏航输出。

基准坐标系	安装方向，飞机向北飞	航向数值（非 MTi 输出）	偏航数值
东-北-上 (ENU)	MTi 的 x 轴与车辆对齐（指向北方）	0 度	90 度
北-西-上 (NWU)	MTi 的 x 轴与车辆对齐（指向北方）	0 度	0 度
东-北-下 (NED)	MTi 的 x 轴与车辆对齐（指向北方）	0 度	0 度

当使用 ENU 惯例（默认）且车辆（MTi 的 x 轴）向北行驶时，偏航输出为 0°。当需要偏航输出在车辆（MTi 的 x 轴）向北行驶时为 0°，推荐使用 NWU 或 NED 作为基准坐标系。在第 5.11 节中描述了各种对齐重置。

注意，为了使 MTi-G 在车用滤波器配置文件下正常工作，需要将 MTi 安装在车辆方向偏航为 0 度的位置。对无对齐重置的 ENU 坐标系来说，这意味着 MTi-G 的 y 轴应指向车辆的前方；对 NWU 和 NED 坐标系来说，这意味着 MTi-G 的 x 轴应指向车辆的前方。

⁴ 惯性系统术语 IEEE 标准。



真北与磁北

如上面所定义的，MTi 的输出坐标系与局部磁北有关。磁北和真北的偏差（称为磁偏角）根据地球上不同的位置而变化，可以从地球磁场的世界地磁场模型（Xsens 使用 WMM 2010-2015）处获得，作为经纬度的函数。MTi 支持偏角值的设置。可以通过在 MT 管理器、SDK 中设置位置，或直接与传感器通信。输出将抵消内部计算的偏角并称为“本地”真北。MTi-G-700 GPS/INS 和 MTi-G-710 GNSS/INS 在 GNSS 位置可知的情况下自动计算真北。

5.2.4 速度数据

速度数据由传感器融合算法 (DataID 0xD010) 进行计算，与方向数据使用同样的坐标系输出，因此也使用方向重置。只在 MTi-G-700/710 中可用。

MTi-G-700 (DataID 0x8840) 中 GPS 接收器导航解决方案的速度数据由地球中心-地球固定 (ECEF) 表示。MTi-G-710 中 GNSS 接收器导航解决方案的速度数据由和 MTi-G-700 (DataID 0x7010) 中 GPS 接收器导航解决方案的速度数据由 NED 表示。



5.2.5 位置数据

位置数据由传感器融合算法 (DataID 0x5040) 进行计算，在 WGS 84 数据中表示为 纬度，经度。只在 MTi-G-700/710 中可用。

可以以 ECEF 格式检索出由传感器融合算法计算出的位置数据。使用 DataID 0x5030 来检索该输出。注意，ECEF 中的位置不能以定点数值的形式表现，因为定点形式有限制范围。使用双精度或浮点数表示。

海拔在 WGS84 数据 (DataID 0x5020) 中输出。

MTi-G-700 (DataID 0x8840) 中 GPS 接收器导航解决方案的位置数据由地球中心-地球固定 (ECEF) 表示。

MTi-G-710 中 GNSS 接收器导航解决方案的位置数据由和 MTi-G-700 (DataID 0x7010) 中 GPS 接收器导航解决方案的速度数据在 WGS 84 数据中表示为纬度，经度。

5.2.5.1 线性化误差及 WGS84 和 LTP 的关系

以下章节描述在使用全局坐标系时发生的（线性化）误差及其他引入的伪缺陷。还说明了 WGS84 (LLA) 与 ENU (LTP) 的关系。大多数用户不会经历这些伪缺陷；他们也不需要考虑这些。该章节主要是为了保证《用户手册》的完整性和准确性。

世界协调 WGS84 与 LTP

使用 GNSS 和惯性传感器在全世界范围内进行导航需要了解一般用于描述地球上位置的直角和球面坐标系。

为了测量和确定 GNSS 卫星轨道，使用地心惯性坐标系 (ECI) 非常方便，在该坐标系中，原点位于地球的质量中心，轴也指向固定方向。为了计算 GNSS 接收器的位置，使用另一种叫做 ECEF 的随着地球转动的坐标系更为方便。

在 ECEF 系统中，xy 平面与地球的赤道面一致，x 轴指向 0° 经线（格林尼治子午线）的方向，y 轴指向东经 90° 的方向。通常将这些直角坐标转换为纬度，经度和高度（海拔），一般在地图上这样投影。为了进行这个转换，需要一个描述地球的物理模型。GNSS 应用的地球标准物理模型是全球大地坐标系 1984 (WGS84)。MTi-G 也使用 WGS84。

WGS84 提供地球形状的椭圆模型和地球的重力不规则性。主要的参数包括长半径 a ($=6,378,137$ m) 和短半径 b ($=6,356,752$ m)，见下图。有很多使用修改过的 a 和 b 以及原点的移位参数 (x, y, z) 来提高局部准确性的局部模型（数据）。但是，如果选中的数据越界使用，准确性会很快降低。MTi-G 使用默认的 WGS84 模型而不是特定的数据。

地球中心地球固定 - ECEF

WGS-84 参数:

$a = 6,378,317$ 米

$b = 6,356,752$ 米

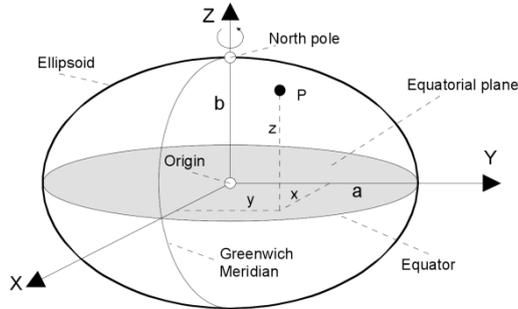


图 2: 地球中心地球固定坐标系

球面坐标系 - LLA:

λ = 经度

ϕ = 纬度

h = 海拔

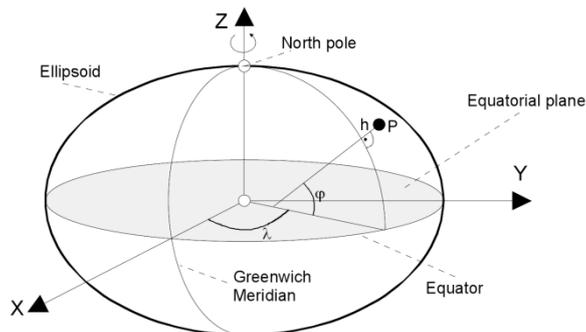


图 3: WGS-84 椭圆中椭球坐标系 (纬度、经度、海拔) 的定义

为了将 GNSS 接收器和 IMU 的输出合并，两个系统都需要转换为一个合适的坐标系。惯性传感器测量 ECI 坐标系中的属性。然而，MTi-G 中使用的 MEM 惯性传感器并没有准确到足以测量地球的转速或在 MTi-G 有速度时其在地球表面上的转移速率。因此，我们可以使用局部线性化切平面而没有大的误差。这个系统称为当地切平面坐标系 (LTP)，实际上是当地椭圆坐标 (纬度、经度、海拔) 在 WGS-84 椭圆体中的线性化。

当使用椭圆坐标系将纬度、经度、海拔映射到当地切平面中时，会出现空间失真，如图 4 所示。

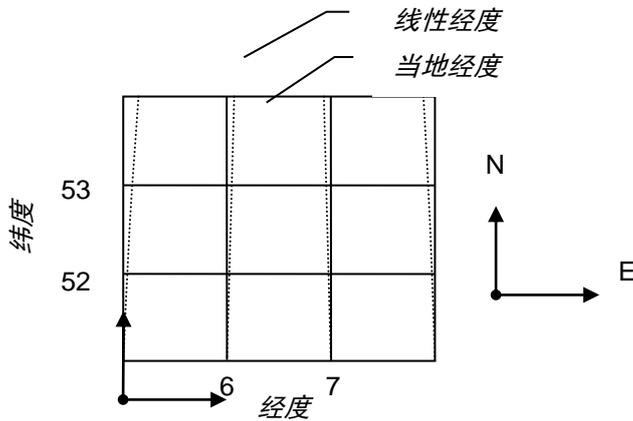


图 4：椭圆坐标系映射到当地切平面坐标系统导致的空间失真

为了使线性化误差最小化，选择基准坐标系时应尽量靠近需要映射的点。MTi-G 根据以下线性化方案为每个有效 GNSS 更新进行当地线性化，使用由经纬度对 $(\theta_{ref}, \varphi_{ref})$ 定义的基准坐标系。两个坐标系中的高度相同。

$$\begin{cases} E = R \cdot \Delta\varphi \cdot \cos(\theta) \\ N = R \cdot \Delta\theta \end{cases}$$

其中，R 是在某个纬度地球的半径。

$$\begin{cases} \Delta\theta = \theta - \theta_{ref} \\ \Delta\varphi = \varphi - \varphi_{ref} \end{cases}$$

在本文档中，我们将 WGS84 坐标系称为 **G**。MTi-G 输出的位置数据是在 WGS-84 椭圆体中的当地椭圆坐标（纬度、经度、海拔）。

MTi-G 使用 HE（椭圆形高度） - 椭圆形海拔 (WGS84)。

此外，局部重力矢量可能与垂直于当地切平面的矢量不同（垂直于与椭圆相切的平面），如下图所示。与自然重力矢量垂直的虚构形状成为“水准面”。垂直差离值（又叫做垂直偏角）可能是个很小的数。美国大陆上，最大的垂直差离值大约在 +/- 0.01 度。

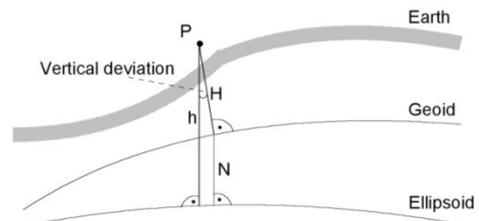


图 5：水准面和椭圆面的差异



5.3 方向性能规格

在 MTi 产品家族中有很多产品提供翻转、俯仰和（非）稳定偏航。下表中展示了特定产品和方向性能的概述。10-IMU 和 100-IMU 未列出，因为它们提供方向。

典型方向误差为 1σ RMS 值；最大误差的单位为度。注意，可以在《技术资料（文档 MT0503P, [MTI_TD]）》中找到验证试验。无法提供偏航的最大误差，因为这强烈取决于环境条件。

		MTi-20 VRU		MTi-30 AHRS		MTi-200 VRU		MTi-300 AHRS		MTi-G-700 MTi-G-710	
		典型值	最大值	典型值	最大值	典型值	最大值	典型值	最大值	典型值	最大值
俯仰/翻转	静态 ⁵	0.2°	0.4°	0.2°	0.4°	0.2°	0.25°	0.2°	0.25°	0.2°	0.25°
	动态	0.5°	2.0°	0.5°	2.0°	0.3°	1.0°	0.3°	1.0°	0.3°	1.0°
偏航 ⁶		无基准		1.0	不适用	无基准		1.0°	不适用	1.0°	不适用

性能规格高度依赖于条件。《MTi 技术资料 [MTI_TD]》提供验证试验和方向及独立传感器规格的更多细节。在扩大的应用范围和运动中，MTi-G-700/710 的方向性能有效。

本章中的性能规格以下列假设为前提（也可参见脚注）；

- **正确的滤波器配置文件：**如果选用了不合适的滤波器配置文件，传感器融合算法将使用错误的假设。取决于具体情况，这可能会导致较大误差，甚至滤波器不稳定。请注意选择正确的滤波器配置文件。如果您不确定，请联系 Xsens 或您的当地经销商。
- **磁场畸变：**在一些滤波器配置文件中，车载 3D 磁力计用于观察航向。假设进行了磁场映射且磁力计没有受到环境中附近铁磁材料的扭曲。
- **长时间加速（除了 MTi-G-700/710 之外的所有产品）：**每个滤波器配置文件对长时间加速的处理不同。虽然 MTi 能够丢弃这些瞬时加速度，但是在一段时间后还是会产品影响。MTi 10-系列中的这段时间比 MTi-100 中的时间短。配备良好 GNSS 定位的 MTi-G-700/710 可以弥补这些长时间加速。
- **稳定时间：**MTi 参数，如速率陀螺仪偏差或海平面压力等，都进行持续估算。传感器融合算法需要时间对这些参数进行估算。该时间取决于上一次 MTi 校准的时间，选择的滤波器配置文件和 GNSS 定位的质量，最长达到 15 分钟。在这段时间内，不需要 MTi 保持静止；相反地，MTi 的运动（加速，旋转）可以帮助其更快地估算陀螺仪偏差。
- **良好的 GNSS 定位（仅适用于 MTi-G-700/710）：**
 - 如果没有 GNSS 定位，基于 IMU 的位置估算会非常快速地降低（几秒钟之内）。
 - 如果没有 GNSS 定位，MTi-G 不能计算出由“表观比重”（如向心和线性加速度）带来的动态条件下的正确的姿态和航向。有了转速陀螺仪后，姿态和航向估算就会缓慢地降低。姿态准确性与 MTi-300 的相同。航向一般会在每一分钟漂移一定的度数。

⁵ 地球坐标系最大误差。

⁶ MTi-20 VRU 和 MTi-200 VRU：无基准（航向是陀螺仪的偏航率）。



- **有效完整约束（仅适用于 MTi-G-700/710）**：在 MTi-G-700/710 的一些滤波器配置文件中，假设 MTi-G 的 y 轴安装在车辆的行驶方向上。如果角度不在 1 度以内，可能无法获取估算的航向和位置规格。
- **气压条件（仅适用于 MTi 100-系列）**：在一些滤波器配置文件中，MTi-G-700/710 海拔在一定程度上由车载气压计进行估算。假设 MTi-G 附近的气压反映了车辆外部的大气压。因此如果您选用了使用气压计数据的滤波器配置文件，MTi-G 不能在压力舱内使用。此外，高度准确性也会随着大气压的快速变化，如强雷暴，而降低。

5.4 位置和速度性能规格 (MTi-G-700/710)

MTi-G-700/710 可以输出位置。其性能高度依赖于 GNSS 可用性和 GNSS 天线的摆放等。

下表陈述了根据 Xsens 基准轨迹的位置和速度准确性，在 [MTI_TD] 中进行说明。

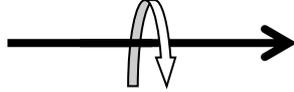
参数	数据源	条件	规格
位置	AHRS 增强 (400 Hz GNSS/INS)	水平	1.0 m STD
		垂直	2.0 m STD
	GNSS 接收器 (4 Hz GNSS 导航解决方案), SBAS	水平	2.0 m CEP
		垂直	5.0 m CEP
速度	AHRS 增强 (400 Hz GNSS/INS)	@ 30 m/s	0.05 m/s 1 σ RMS
		GNSS 接收器 (4 Hz GNSS 导航解决方案)	@ 30 m/s

5.5 方向输出模式

MTi 计算出的方向是与直角地球固定坐标系 (L) 相关的传感器固定坐标系 (S) 的方向。输出方向可以表示为不同的参数：

- 单位四元数
- 欧拉角⁷: 翻转、俯仰、偏航 (XYZ 地球固定型, 也称为万向轴或太空次序)
- 旋转阵列 (方向余弦矩阵)

根据右旋规则 (螺旋法则), 正旋一定是“右旋”的。这表示正旋是在向着旋转轴的顺时针方向的。



注意: 该章节旨在介绍 MTi 各种输出模式定义的细节信息。矢量和阵列中原元素的输出顺序适用于所有接口选项 (低级通信协议、API、GUI)。更多有关接口的详细信息, 请参见具体文档。

低级通信 → 《MTi 低级通信文档》
 GUI → 《MT 管理器用户手册》

5.5.1 四元数方向输出模式

单位四元数矢量可以理解为一个单位矢量 \mathbf{n} 围绕一个角 α 旋转。

$$q_{LS} = \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right), \mathbf{n} \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right)$$

单位四元数本身有单位大小, 可以用以下矢量格式书写;

$$q_{LS} = (q_0, q_1, q_2, q_3)$$

$$|q| = 1$$

四元数是 3D 方向的有效且非特异的描述, 且唯一:

$$q = -q$$

四元数的另一种表示方式是一个矢量带一个复杂部分, 第一部分是实际的元素, q_0 。其相反数 (q_{SL}) 由复杂的变化形式 (+) q_{LS} 定义。复杂的变化形式很容易可以计算出来;

$$q_{LS}^\dagger = (q_0, -q_1, -q_2, -q_3) = q_{SL}$$

⁷ 请注意, 由于欧拉角的定义, 在地球固定基准框架中 (即俯仰接近 $\pm 90^\circ$ 时), 传感器固定 x 轴指向上方或下方时, 会有数学异常。事实上, 这意味着翻转和俯仰在俯仰接近 $\pm 90^\circ$ 度时不应这样定义。这种异常 **不可能** 在四元数或旋转阵列输出模式中出现。



正如这里所定义的， q_{LS} 在传感器坐标系 (**S**) 到全球基准坐标系 (**L**) 中进行矢量旋转。

$$x_L = q_{LS} x_S q_{LS}^\dagger = q_{LS} x_S q_{SL}$$

因此， q_{SL} 在全球基准坐标系 (**L**) 到传感器坐标系 (**S**) 中进行矢量旋转，其中 q_{SL} 是 q_{LS} 的复杂变化形式。

5.5.2 欧拉角方向输出模式

欧拉角通过特定顺序的三个连续旋转描述刚体的旋转。使用的欧拉角是‘翻转、俯仰、偏航’，在文献中称为卡登角 / Tait-Bryan 角。欧拉角旋转顺序遵循航空公约 (Z-Y-X” 顺序)，实现从全球标准坐标系 (**L**) 到传感器坐标系 (**S**) 的旋转。

- ψ = 偏航⁸ = 围绕 Z_L 旋转，定义范围为 **【-180°...180°】**
- θ = 俯仰⁹ = 围绕 Y_L 旋转，是第一次旋转后的 Y 轴，定义范围为 **【-90°...90°】**
- ϕ = 翻转¹⁰ = 围绕 X_L 旋转，是第二次旋转后的 X 轴，定义范围为 **【-180°...180°】**

注意：由于欧拉角的定义，在 **L** 坐标系中（即俯仰接近 $\pm 90^\circ$ 时），传感器固定 x 轴指向上方或下方时，会有数学异常。这种异常不会在四元数或方向余弦阵列（旋转阵列）中出现。四元数和旋转阵列输出模式可以用来分别进入这些方向表示方法。

欧拉角可以从旋转阵列的元素角度 R_{LS} 理解，也可以从单位四元数角度 q_{LS} 理解。

$$\phi_{LS} = \tan^{-1} \left(\frac{R_{32}}{R_{33}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2q_2q_3 + 2q_0q_1}{2q_0^2 + 2q_3^2 - 1} \right)$$

$$\theta_{LS} = -\sin^{-1}(R_{31}) = -\sin^{-1}(2q_1q_3 - 2q_0q_2)$$

$$\psi_{LS} = \tan^{-1} \left(\frac{R_{21}}{R_{11}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2q_1q_2 + 2q_0q_3}{2q_0^2 + 2q_1^2 - 1} \right)$$

在这里反正切 (\tan^{-1}) 是四象限的反正切函数。

注意：输出是以度为单位，而不是弧度。

5.5.3 旋转阵列方向输出模式

旋转阵列（又叫做方向余弦阵列，DCM）是众所周知，冗余且完整的方向表示方法。旋转阵列可以理解为在以 **L 坐标系** 表示的传感器坐标系 **S** 中的单位矢量元素。对于 R_{LS} 来说，**S** 的单位矢量可以在阵列的列中找到，因此 col 1 是 X_S 在 **L** 中的表示。旋转阵列标准总是与 1 和旋转 R_{LS} ，后面是反向旋转 R_{SL} 自然产生幺矩阵 I^3 。

$$|R| = 1$$

$$R_{LS}R_{SL} = I^3$$

⁸ “偏航” 还称为：“航向”、“平移”或“地平经度”。

⁹ “俯仰” 还称为：“抬高”或“倾斜”。

¹⁰ “翻转” 还称为：“倾斜”。

旋转矩阵 R_{LS} 可以从四元数的角度来理解；

$$\begin{aligned}
 R_{LS} &= \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2q_1q_2 - 2q_0q_3 & 2q_0q_2 + 2q_1q_3 \\ 2q_0q_3 + 2q_1q_2 & q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 & 2q_2q_3 - 2q_0q_1 \\ 2q_1q_3 - 2q_0q_2 & 2q_2q_3 + 2q_0q_1 & q_0^2 - q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 2q_0^2 + 2q_1^2 - 1 & 2q_1q_2 - 2q_0q_3 & 2q_1q_3 + 2q_0q_2 \\ 2q_1q_2 + 2q_0q_3 & 2q_0^2 + 2q_2^2 - 1 & 2q_2q_3 - 2q_0q_1 \\ 2q_1q_3 - 2q_0q_2 & 2q_2q_3 + 2q_0q_1 & 2q_0^2 + 2q_3^2 - 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

也可以从欧拉角的角度来理解。

$$\begin{aligned}
 R_{LS} &= R_\psi^z R_\theta^y R_\varphi^x \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \varphi \sin \theta \cos \psi - \cos \varphi \sin \psi & \cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \varphi \sin \theta \sin \psi + \cos \varphi \cos \psi & \cos \varphi \sin \theta \sin \psi - \sin \varphi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

正如这里所定义的， R_{LS} 在传感器坐标系 (S) 到全球基准坐标系 (L) 中进行矢量旋转。

$$x_L = R_{LS}x_S = (R_{SL})^T x_S$$

由此结论， R_{SL} 在全球基准坐标系 (L) 到传感器坐标系 (S) 中进行矢量旋转。

根据旋转矩阵输出模式，有以下定义：

$$R_{LS} = \begin{bmatrix} a & d & g \\ b & e & h \\ c & f & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

$$R_{SL} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$



5.6 传感器数据性能规格

该章节描述了 MTi 的物理传感器规格。并不是所有 MTi 都有所有的传感器。对于每个传感器，适用的 MTi 都有提及。更多详细规格，请参见 [MTI_TD]。

5.6.1 陀螺仪

MTi 10-系列和 MTi 100-系列的主要区别在于使用的陀螺仪种类。下面列出了两个不同的规格。可以根据用户需求提供全量程 1000 °/s。

MTi 10-系列中的陀螺仪 MTi-10、MTi-20、MTi-30

MTi 100-系列中的陀螺仪 MTi-100、MTi-200、MTi-300、MTi-G-700、MTi-G-710

陀螺仪规格		MTi 10-系列		MTi 100-系列	
转速		典型值	最大值	典型值	最大值
标准全量程	【度/秒】	450	-	450	-
偏差重复性 (1 年)	【度/秒】	0.2	0.5	0.2	0.5
运行偏差稳定性	度/小时	18	-	10	-
带宽 (-3dB)	[Hz]	415	N/A	415	N/A
噪音强度	【度/秒/√赫兹】	0.03	0.05	0.01	0.015
G-敏感度 (校准)	【度/秒/g】	0.006	0.02	0.003	0.015
非正交性	【度】	0.05	-	0.05	-
非线性	[% FS]	0.03	0.1	0.01	-
A/D 分辨率	【位】	16	N/A	16	不适用



5.6.2 加速计和磁力计

MTi 10-系列和 MTi 100-系列使用相同的加速计和磁力计。磁力计的输出单位为任意单位，一个任意单位是在 Xsens 校准实验室中校准时的磁场强度。大约为 40 uT。同时提供 15g 范围的加速计。

加速计/磁力计：所有产品：MTi-10、MTi-20、MTi-30、MTi-100、MTi-200、MTi-300、MTi-G-700、MTi-G-710

加速计/磁力计规格		MTi 10-系列和 MTi 100-系列		
加速度			典型值	最大值
	标准全量程	[m/s ²]	50	-
	偏差重复性 (1 年)	[m/s ²]	0.03	0.05
	运行偏差稳定性	[μg]	40	-
	带宽 (-3dB)	[Hz]	375	N/A
	噪音强度	[μg/√Hz]	80	150
	非正交性	【度】	0.05	0.05
	非线性	[% FS]	0.03	0.5
	A/D 分辨率	【位】	16	不适用
磁场				
	全量程 ¹¹	[μT]	-	80
	噪音强度	[μGauss/√Hz]	200	-
	非线性	[% FS]	0.1	-
	A/D 分辨率	【位】	12	N/A

5.6.3 气压计

气压计可以测量大气压。MTi-100 系列使用该气压计。MTi 100-系列的包装上有三个保护通气孔，可以保证内部的 MTi 能快速适应大气压。由气孔产生的一般时延 <10 ms。

气压计：仅适用于 MTi 100-系列：MTi-100、MTi-200、MTi-300、MTi-G-700、MTi-G-710

气压计规格		典型值	
大气压			
	全量程	[hpa]	300-1100
	噪音强度	[hpa/√Hz]	0.01

¹¹ 出于可靠性考虑，大于 2 a.u. (约 80 uT) 的输出不再适用于滤波器。磁力计的实际全量程是 +/- 1.9 Gauss。



5.6.4 GPS/GNSS 接收器

MTi-G-700/710 是唯一配备 GPS 或 GNSS 接收器的 MTi 设备。它需要一根有源天线，随着开发套件一起交付，也可以从 Xsens 单独订购。也可以使用其他更适合您的应用的天线。

GNSS 接收器规格	MTi-G-700 GPS	MTi-G-710 GNSS
接收器类型:	50 通道, GPS L1, C/A 代码	72 通道, GPS/QZSS L1 C/A, GLONASS L10F, 北斗 B1 ¹²
数据, 基准框架	WGS84	WGS84
GNSS 更新速率:	4 Hz	4 Hz
水平精度位置 SPS:	2.5 m CEP	2.5 m CEP
SBAS:	2.0 m CEP	2.0 m CEP
垂直精度位置 SPS:	5 m	5 m
速度精度	0.1 m/s @ 30 m/s	0.05 m/s (50% @ 30 m/s)
航向 (对地航向)	不适用	0.3° (50% @ 30 m/s)
启动时间冷启动:	27 s	26 s (GPS+GLONASS)
重新获得:	<1 s	<1 s
跟踪敏感度:	-161 dBm	-167 dBm (GPS+GLONASS)
时序精确度:	30 ns RMS	30 ns RMS
最大海拔:	18 km	50 km
最大速度:	515 m/s	500 m/s
最大动力 GNSS:	4 g	4g

注意, 当您不使用默认 GNSS 天线时, 必须使用适合 MTi-G-700/710 的天线。参见第 **Error! Reference source not found.** 节。

¹² 注意: 北斗卫星系统目前还没有运行。



5.7 内置自测

所有 MTi 都配有内置自测功能。自测功能通过引入电信号来激励 MEM 加速计和陀螺仪中的机械结构。这可以检测 MEMS 惯性传感器的机械结构和信号处理电路是否正常运行。在磁力计中，在组件周围设计了一个线圈引入磁场，会在信号中产生偏移。

在自测过程中，MTi 会读出所有传感器，在成功自测的情况下，在自测前有关信号的已知偏移可以在数据中体现。MTi 会在内部评估传感器读书，自测会返回每个传感器的状态。这些状态会存储在固定存储器中。

通过自测后，在状态字节会有一个有效自测的标志。由于自测会影响传感器数据，只有在配置模式下才能进行自测。更多信息，请参见 [LLCP] 函数 `RunSelftest`。



5.8 测试和校准 参数

对每个 MTi 进行校准和测试以获得对应于 MTi 指定性能的校准残差。这样，离厂设备具有与 Xsens 相同的高质量。

MTi 可使用内部校准参数，因此每个 MTi 在其 eMTS（电子运动跟踪器设置）中包含单独的测试和校准数据。它由测试人员进行数字签名，并陈述了 MTi 在 Xsens 校准设施中进行校准时确定的校准值。作为参考，可以通过将 MTi 连接到 MT 管理器并导航到 MT 设置（建模参数和 MT 设置）基本测试报告来读取这些值。也可硬拷贝给 MTi。这里简单解释一下这些值：

“**建模参数**”是描述在正交坐标系中从物理现象到数字输出的转换的值：

偏移（位）：没有测量到物理信号时传感器上的以位为单位的数字读数。气压计是数字传感器，不需要校准，因此该值始终为 0。

增益（位）：增益（或定标因子）描述了以位为单位的数字读数和测量到的物理信号之间的关系。气压计是数字传感器，不需要校准，因此该值始终为 0。

对齐阵列：传感器三位法的非正交性。包括 MEMS 传感器中敏感系统的方向，MTi PCB 传感器的安装，PCB 的安装和 MTi 外壳中 OEM 板的安装误差的非正交性。

“**基本测试报告**”对所有内部传感器的噪音进行描述（注意：气压计噪音未在 MTi MkIV 中确定，因此始终为 0）。此外，它还能显示测试和校准日期以及执行测试和校准的人员。

在 MT 管理器基本测试和校准值后，每个设备根据更复杂的模型进行校准保证准确性（如非线性温度效应和加速度与角速度¹³之间的交叉耦合）。

¹³ 也称为“g-灵敏度”。



5.9 传感器数据输出

5.9.1 物理传感器模型

本章节解释了每个 MTi 的独立校准参数的基本知识。这解释了 MT 设置中的测试和校准参数（另见 5.8）。

MTi 内的物理传感器（加速计，陀螺仪和磁力计）都根据传感器在不同物理数量，如温度，等条件下的反应设置的物理模型进行校准。气压计和 GNSS 接收器不需要校准。基本模型是线性的且根据以下关系：

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

实际使用的模型更加复杂，也会持续进行开发。从工厂校准开始，每个 MTi 都分配有一个唯一的增益矩阵 K_T 和偏差矢量 b_T 。使用该校准数据将传感器的采样数字电压 u （从 16 位 ADC 上获得的无符号证书）与物理量 s 相联系。

增益矩阵分裂成一个偏斜矩阵 A 和一个增益矩阵 G 。偏斜指定了与传感器固定坐标系 (S) 外壳相关的杆的灵敏轴方向。例如，第一个加速计偏斜矩阵元素 $a_{1,x}$ 描述了通道一上加速计的灵敏方向。三个灵敏方向构成一个偏斜矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,x} & a_{1,y} & a_{1,z} \\ a_{2,x} & a_{2,y} & a_{2,z} \\ a_{3,x} & a_{3,y} & a_{3,z} \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 \end{bmatrix}$$

$$K_T = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & 0 \\ 0 & G_2 & 0 \\ 0 & 0 & G_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,x} & a_{1,y} & a_{1,z} \\ a_{2,x} & a_{2,y} & a_{2,z} \\ a_{3,x} & a_{3,y} & a_{3,z} \end{bmatrix} + O$$

O 代表了更高阶的模型和温度模型，g-灵敏度纠正等。

每个 MTi 对所有传感器和其他效应产生增益和偏差进行温度依赖性建模。该模型在以上的等式的简单模型中不会表现，但是会在固件中执行。

您的 MTi 中的上述模型的基本指示参数可以《MT 测试和校准证书》和 MT 管理器（MT 设置对话）中找到。



5.9.2 校准 delta_q 和 delta_v 输出

该输出是在传感器固定坐标系 (**S**) 或 (**O**) 中的圆锥和划船补偿捷联式集成数据。注意，输出值取决于输出频率，因为数据随着时间而进行集成。

Delta_q 还可以写成 dq、delta_angle、del_q 或 OriInc。Delta_v 还可以写成 dv、delta_velocity、del_v 或 VelInc。

输出	单位
Delta_q (DataID 0x8030)	a.u. (四元数值)
Delta_v (DataID 0x4010)	m/s

可以成倍增加 delta_q 值来找到某一具体时间段内的总方向变化。注意，数据不是不会漂移，因为还没有经过传感器融合滤波器的处理。在无漂移方向上使用方向输出。

5.9.3 校准惯性和磁力数据输出

校准 3D 线性加速度、3D 转速（陀螺仪）和 3D 磁场数据输出在传感器固定坐标系 (**S**) 或 (**O**) 中。

校准数据输出的单位如下：

矢量	单位
加速度 (DataID 4020)	m/s ²
角速度（转速）(DataID 0x8020)	rad/s
磁场 (DataID 0xC020)	a.u. (任意单位) 标准化为地磁场强度

校准数据通过捷联式集成和反向捷联式集成。

5.9.4 自由加速

自由加速 (Data ID 0x4030) 是重力减少时的加速度。输出单位为 m/s²。



5.9.5 未校准原始输出模式

MTi 可以在使用 Xsens 专有固件或校准参数进行过滤或校准之前，输出传感器组件读数（传感器数据为 SCR, DataID 0xA010, 陀螺仪温度为 0xA020），即所有传感器的数字化电压。这些传感器包括陀螺仪（转速）、加速计（加速度）、磁力计（磁场）、气压计（静态气压）和温度（陀螺仪温度和通用温度传感器）。当选中传感器组件读数时，可以提供以下输出：

感应器	数字/模拟	单位	最高频率
陀螺仪	模拟传感器，16 位 ADC	2-字节整数	2000 Hz
加速计	模拟传感器，16 位 ADC	2-字节整数	2000 Hz
磁力计	数字传感器	a.u.	100 Hz
气压计	数字传感器	Pa	50 Hz
温度传感器	模拟传感器，12 位 ADC	°C	1 Hz

注意，陀螺仪和加速计的这些 SCR 值没有进行偏移、增益、偏斜和温度校准。同时，圆锥和划船补偿也不适用。可以使用 MT 管理器后续处理 SCR 数据，如果您需要自己进行校准，这些输出非常合适。注意，这些输出不能与其他任何输出合并。

5.10 传统输出信息

注意：传统输出模式已过时。建议使用普通输出模式。

MTi 10-系列和 MTi 100-系列是 Xsens 第四代 MTi (MkIV)。第二代和第三代产品分别在 2005 年和 2008 年发布。第四代产品可以通过其铝制包装（如果您使用 OEM，也可以使用橙色的 PCB）识别。本手册封面上可以看到第四代 MTi 的照片。请注意，从 2016 年 12 月 31 日起，传统模式将不再受到支持，并从未来固件版本中移除。

MTi 10-系列和 MTi 100-系列使用与传统 MTi、MTx 和 MTi-G（见右侧照片）使用相同的 XBus 通信协议。但是，由于使用了更多的功能和不同的信号处理管道，MTi 10-系列和 MTi 100-系列并不可插入式互换。可以在某些基于传统类和源代码的程序中将 MTi 配置为可插入式互换。注意，在 MTi 处理数据时，只能在传统模式下使用 MTi。不可以将带传统源代码的原始数据（16 位二进制数据）处理为方向、位置或动力数据。



图 6：传统 MTi/x 产品范围
(第三代)

所有的输出只有在频率为 400 Hz 的约数（400 Hz、200 Hz、100 Hz、80 Hz 等）才可用。在 MTi 传统数据信息中以下输出可用：

可用‘传统’输出模式		
方向		
	四元数	NWU
	欧拉角	NWU
	旋转矩阵	NWU
校准数据		
	转速	
	加速度	
	磁场	注意，在频率高于 100 Hz 时，磁力计数据将重复发送（200 Hz 带来两个重复数据；400 Hz 带来四个重复数据）
时间戳		
	样本计数器	16-位，65536 样本打包
	UTC	仅适用于 MTi-G-700/710
位置和速度		
在传统模式下不可用		
状态		
	状态字节	自测、有效 XKF、GNSS-定位 (MTi-G-700/710)，NoRotation 状态

5.11 输出或基准坐标系重置

在某些情况下，可能会发生 MT 传感器轴与需要记录方向的物体的轴不对齐的情况。可能想要以不同的传感器固定框架（S' 代替 S）或不同的地球固定局部框架（L' 代替 L）输出方向和/或校准惯性数据。这种转换由旋转阵列导致以下影响旋转阵列 ${}^{L'}L_R$ 和 ${}^{SS'}R$ 来定义，会带来影响旋转阵列 ${}^{LS}R$ 、SDI 数据（ ${}^S\Delta q$ 和 ${}^S\Delta v$ ）、校准数据（ Ss ）和传感器融合算法输出（ Lx ）的如下等式：

$${}^{L'}S'R = {}^{L'}L_R \cdot {}^{LS}R \cdot {}^{SS'}R$$

$${}^{S'}\Delta q = ({}^{SS'}q)^* {}^S\Delta q {}^{SS'}\Delta q$$

$${}^{S'}\Delta v = ({}^{SS'}R)^T {}^S\Delta v$$

$${}^{S'}s = ({}^{SS'}R)^T \cdot {}^Ss$$

$${}^{L'}x = {}^{L'}L_R \cdot {}^Lx$$

可以使用五种方法在想要的坐标系中获得输出：

1. 重置倾角，通过定义 S' 框架平衡传感器。
2. 重置航向，通过设置 L' 框架的 x 轴定义 L' 框架，同时保证 z 轴垂直（称为“瞄准”）。
3. 合并重置倾角和航向，称为对齐重置。
4. 设置任意对齐旋转矩阵，旋转 S 至选中的框架 S'： ${}^{SS'}R$ 。
5. 设置任意对齐旋转矩阵，旋转 L 至选中的框架 L'： ${}^{L'}L_R$ 。

不同方向重置使用图 7 进行解释，展示了每个重置的侧视图和俯视图，输出标准方向数据 ${}^{LS}R$ 。

方向重置

方向重置功能旨在方便传感器物体对齐，通过定义 L' 框架（航向重置）和 S' 框架（倾角重置），带来 ${}^{LS}R$ ，在以上等式中有定义。方向重置分为倾角重置（调平）和航向重置（瞄准）。在完整的方向重置后，L' 和 S' 框架的方向相等，坐标轴也可以确定：

- L' 和 S' 的 z 轴为垂直面（向上，顺着重力方向）。
- L' 和 S' 的 x 轴为 S 的 x 轴，但是投射在水平面上。
- L' 和 S' 的 y 轴选作右旋坐标系。

坐标旋转阵列 ${}^{L'}L_R$ 和 ${}^{SS'}R$ 通过如下计算：

$${}^{L'}L_R = ({}^LX_{L'}, {}^LY_{L'}, {}^LZ_{L'})$$

$${}^{SS'}R = ({}^{LS}R)^T \cdot {}^{LS}R = ({}^{LS}R)^T \cdot ({}^{L'}L_R)^T$$

$${}^LX_{L'} = \langle Rn \cdot {}^{LS}R \cdot (1\ 0\ 0)^T \rangle$$

$${}^LZ_{L'} = (0\ 0\ 1)^T$$

$${}^LY_{L'} = \langle {}^LZ_{L'} \times {}^LX_{L'} \rangle$$

在倾角和/或航向重置后，可以应用 $L^S R$ 等式（如上）。应注意，倾角重置 ($S^S R$) 在传感器的 x 轴与物体的 z 轴对齐使不会进行，因为传感器的 x 轴用于描述物体的 x 轴方向。此外，在航向重置后，偏航可能不为零，特别是当 x 轴接近垂直时。这是因为欧拉角的偏航定义，当俯仰接近 90 度会使会不稳定。

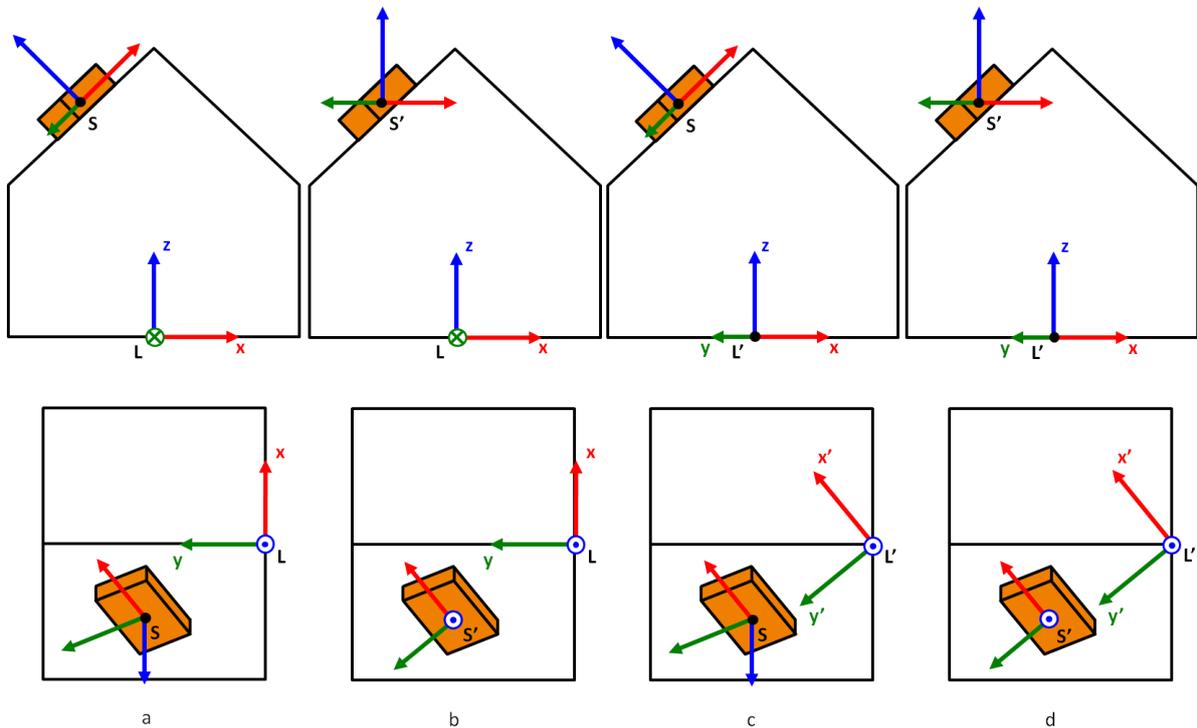


图 7：与物体和当地框架 L 捆绑的坐标系 MT 的俯视图和侧视图。不同对齐和重置定义 S' 和/或 L' 框架。(a)：与 L 有关的 S 的默认方向输出：LSR；(b)：在倾角重置后，方法 1：LS'R (c)：在航向重置后，方法 2：L'SR, (d)：在对齐重置后，方法 3：L'S'R. 这些都可以用任意对齐方式进行设置。

NWU 和 NED 基准坐标系

MTi 中的默认基准坐标系为 ENU，在第 5.2.3 节中描述。MTi 还支持其他两种基准坐标系。分别为 NWU 和 NED。

NWU 是在第三代 MTi 和 MTi-G 中使用的默认基准坐标系。为了配置 MTi 在 NWU 当地坐标系中输出，在 RotLocal 中应用一下旋转矩阵。

$$\text{RotLocal}_{NWU}: \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



NED 是航空应用中常用的基准坐标系。NED 也是在第三代 MTi 和 MTi-G 中可用的基准坐标系。为了在 NED 中配置 MTi，在 RotLocal 中应用一下旋转矩阵：

$$\text{RotLocal}_{NED}: \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

任意对齐

如果在已知方向的与标准传感器坐标系 S 和 L 有关的 S' 和/或 L' 坐标系中需要测量动力学，可以使用任意但已知的方向设置对齐阵列。这在因为某些机械原因，MT 只能在某些特定方向上进行固定时非常有用。对齐阵列 ${}^{L'}L$ 或 ${}^{S'}S$ 根据以上等式应用于输出数据。参考《MT 管理器用户手册》，查看怎样使用对齐阵列。

方向重置可以总结为以下：

- 倾角重置：只应用 ${}^{S'}S$
- 航向重置：只应用 ${}^{L'}L$
- 对齐重置：同时应用 ${}^{L'}L$ 和 ${}^{S'}S$



注意：只应用 ${}^{S'}S$ 并输出 dq/dv 会导致在输出 XDA 方向时重复使用 SSR。为了避免这一情况，直接从 MTi 输出方向。

5.12 时间戳和数据包计数器输出

每个数据信息都会带一个数据包计数器和/或时间戳。

5.12.1 数据包计数器

数据包计数器是每个数据包都携带的增量数字，不管数据包中的数据是什么。也就是说，数据包计数器的时差可能不一样。注意，在数据传输过程中如果有数据丢失，数据包计数器是很好的指示器，因为数据包计数器在数据产生（构成）时，数据发送前就已创建。

5.12.2 UTC 时间

UTC 时间是以 UTC 格式表示的时间；注意该时间不需要与 GPS UTC 同步。格式如下：

DATA (B)	说明
0	纳秒，范围 0 .. 1.000.000.000
4	年，范围 1999 .. 2099
6	月，范围 1 .. 12
7	日，范围 1 .. 31
8	时，范围 0 .. 23
9	分，范围 0 .. 59
10	秒，范围 0 .. 59
11	0x01 = 有效一周中的时间
	0x02 = 有效周数
	0x04 = 有效 UTC

在输出时，UTC 时间如下开始：

- 在 0.0 秒时，除非
- 在易失存储器中有时间可用时，例如，使用 SetUTCtime，除非
- GPS 时间可用 (MTi-G-700/710)

当时间戳包括 0.00h（午夜）时，日期向前进一天。

5.12.3 时间戳（精确采样时间）

时间戳为 0.1 ms 的分辨率，4 字节的时间戳。

5.12.4 在无 GNSS MTi 上设置 UTC 时间

可以在 MTi 上设置 UTC 格式的时间 MTi 会使用内部时钟从该时间进行计时。在设置时间与 MTi 接收信息时间不同且设置了起点时，执行以 0.1 ms 调整 UTC 时间的信息。参见 [LLCP] 获得更多关于 SetUTCtime 和 AdjustUTCtime 信息的信息。注意，UTC 时间不会存储在固定存储器中，因为 MTi 在未通电的情况下不能估算时间。

5.13 状态字节

状态字节包括 MTi, 传感器, 滤波器和用户输入状态的信息。可以在状态字节和状态语句中找到以下信息:

状态字节 (DataID 0xE010) 是简短的 8 位状态字节, 与传统输出信息 (见第 5.10 节) 的状态字节完全相同。

状态语句 (DataID 0xE020) 是扩展的 32 位状态信息。StatusWord 中的每一位都在以下表格中定义 (注意第 0:7 位与状态字节相同):

位	字段	说明
0	Selftest	该标志表示 MT 通过最近的自测 (RunSelftest)。
1	Filter Valid	该标志表示方向滤波器的输入是否可靠和/或完整。如果超过了内部传感器的测量范围, 方向输出就不能进行可靠地估算, 该标志将变为 0。在 MTi-G 上, 如果 GNSS 状态在一定时间后仍然无效, 该标志也无效。
2	GNSS fix	该标志表示 GNSS 单元是否有效定位。该标志只在 MTi-G 单元中有效。
3:4	NoRotationUpdate Status	该标志表示发送 SetNoRotation 信息后滤波器中无旋转更新流程的状态。 11: 以无旋转的假设运行 10: 旋转已检测, 无陀螺仪偏差估算 (粘性) 00: 估算完成, 无错误
5	Representative Motion	指示 MTi 是否处于运行罗盘校准代表性模式 (RepMo)
6-7	Reserved	保留供将来使用
8	Clipflag Acc X	如果设置, 那么探测到了 X 轴上超出范围的加速度
9	Clipflag Acc Y	如果设置, 那么探测到了 Y 轴上超出范围的加速度
10	Clipflag Acc Z	如果设置, 那么探测到了 Z 轴上超出范围的加速度
11	Clipflag Gyr X	如果设置, 那么探测到了 X 轴上超出范围的角速度
12	Clipflag Gyr Y	如果设置, 那么探测到了 Y 轴上超出范围的角速度
13	Clipflag Gyr Z	如果设置, 那么探测到了 Z 轴上超出范围的角速度
14	Clipflag Mag X	如果设置, 那么探测到了 X 轴上超出范围的磁场
15	Clipflag Mag Y	如果设置, 那么探测到了 Y 轴上超出范围的磁场
16	Clipflag Mag Z	如果设置, 那么探测到了 Z 轴上超出范围的磁场
17:18	NoVelocityUpdate status	
19	Clipping indication	该标志表示其中一个传感器 (设置了 8:16 位中的至少一位) 超出了范围
20	Reserved	保留供将来使用
21	Syncln Marker	检测到同步输入时, 该位增加到 1

22	SyncOut Marker	检测到同步输出时，该位增加到 1
23:25	Filter mode	表示滤波器模式，仅适用于 MTi-G-700/710 000: 无 GNSS (滤波器配置文件处于 VRU 模式，除了 GeneralMag 滤波器配置文件持续使用磁力计) 001: 滑行模式 (GNSS 在 <60 秒前丢失) 011: 有 GNSS (MTi-G-700/710 默认模式)
26:31	Reserved	保留供将来使用

6 基本通信

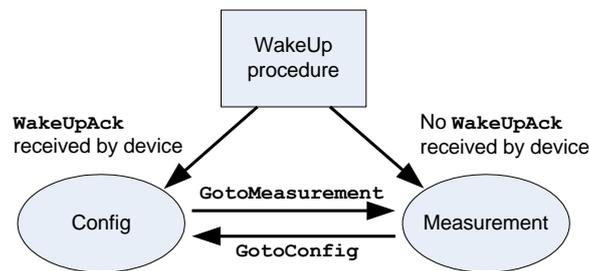
6.1 引言

本章节描述了怎样使用 RS-232/422/485 串行通信或 USB 直接从底层与 MTi 进行通信的基础知识。关于所有信息的详细和完整的列表，请参见《**MT 底层通信文档**》。如果您计划只用 Xsens MT 管理器界面软件或 SDK API 接口，可以跳过本章。

基于信息的通信协议使用户能改变 MTi 配置并从设备上获取数据。MTi 使用的通信协议基本上能与传统 MTi 和 MTx 设备兼容。用户可以进行所有配置，如数据输出模式、输入输出同步、传输速率等，都可以根据您的需要进行更改。

只有设备处于配置状态时才可以进行配置更改。在该状态下，设备接受设置输出模式或其他设置的信息。只要完成配置，用户就可将设备设置为测量状态。在该状态下，设备基于当前配置输出数据。

6.2 状态



MTi 有两种状态，即配置状态和测量状态。在配置状态下，可以读写各种设置。在测量状态下，设备将输出其数据信息，包括依赖当前配置的数据信息。

有两种进入配置状态或测量状态的方法。在通电后，设备开始唤醒流程，如果没有任何操作，将默认进入测量模式，使用其最近保存的配置。在进入测量模式前，会发送配置信息和 eMTS（扩展运动跟踪器规格信息）至主机。配置数据从内部固定存储器中读取，并将在测量模式中使用。配置信息中的数据可以一直用于确定输出模式和设置。您也可以在通电后进入配置状态。详见《**MT 低级通信协议文档**》中的唤醒信息描述。另一种进入配置状态或测量状态的方法是使用 `GoToConfig` 或 `GoToMeasurement` 信息。需要 eMTS 数据由 Xsens 软件进行后期处理，计算校准惯性数据值并估算方向等。



MTi 的默认配置如下表所示。

属性	MTi-1/10/100 IMU	MTi-2/20/200 VRU MTi-3/30/300 AHRS	MTi-G-700/710 GNSS/INS	
输出配置		四元数：浮点数	四元数：浮点数	
		Delta_q：浮点数		
		Delta_v：浮点数		
		磁场：浮点数		
		数据包计数器	数据包计数器	数据包计数器
		采样时间精度	采样时间精度	采样时间精度
		状态语句	状态语句	状态语句
				AltitudeEllipsoid:FP1632
			LatLon: FP1632	
			VelocityXYZ: FP1632	
设置配置文件	N/A	<ul style="list-style-type: none"> VRU_General (VRU) General (AHRS) 	常规	
输出频率	100 Hz	100 Hz	100 Hz	
波特率	115k2 bps	115k2 bps	115k2 bps	
输出步长因素	0	0	0	
同步输入	禁用	禁用	GPS_Clock_Sync	
同步输出	禁用	禁用	禁用	

6.3 信息

6.3.1 信息结构

根据标准结构创建信息来完成其与 MTi 之间的通信。标准 MT 信息包括 0 至 254 字节数据，总长度为 5 至 259 字节。一条 MT 信息包含以下字段：

PRE	BID	MID	LEN	DATA	CS
-----	-----	-----	-----	------	----

字段	字段宽度	说明
PRE	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	数值等于数据字段中的字节数。 最大值为 254 (0xFE) 值 255 (0xFF) 保留。
数据	0 - 254 字节	数据字节 (可选)
CS	1 个字节	信息校验和

报头 (PRE)

每条信息都从报头开始。该字段一直包括值 250 (=0xFA)。

总线识别符或地址

MTi 和 MTx 使用的所有信息都使用地址值 255 (0xFF)，表示“主设备”。Xbus 上使用的 MT 有其他 BID。

信息识别符 (MID)

该信息字段表示信息的种类。所有信息的完整列表，请参考《MTi 和 MTx 低级通信文档》。MTData2 信息在第 6.3.3 节中说明。

长度 (LEN)

指定 DATA 字段中数据字节数。值 255 (0xFF) 保留。这说明一条信息最多有 254 个字节。如果长度字段为 0，无数据字段存在。

数据 (DATA)

该字段包含数据字节，其长度可变，由长度字段的值指定。数据字节的解释由 MID 值决定，数据字节的意义不同。参见具体信息的描述，获得更多关于数据字节解释的详情。

校验和

该字段用来进行通信误差检测。如果除了报头之外的所有信息字节相加，结果的低字节值为 0，那么该信息有效且可以处理。信息的校验和应包括在总和中。

6.3.2 信息用途

通常来说，带 MID 值的信息将会返回一条 MID 值加 1 的信息，也就是确认信息。确认信息的长度取决于信息的类型。在某些情况下，可能会返回错误信息 (MID = 66 (0x42))。在前一条信息中含有无效参数，信息无效，或不能成功执行的情况下，会返回错误信息。错误信息在数据字段会包含错误码。

实例

请求 MTi 的设备 ID:

发送消息:

`ReqDID = 0xFA 0xFF 0x00 0x00 0x01` (十六进制数值)

接受消息 (= 确认):

`DeviceID = 0xFA 0xFF 0x01 0x04 HH HL LH LL CS` (十六进制数值)

确认信息中的 `DeviceID` 就是请求的设备 ID (这里表示为: HH HL LH LL, 校验和为 CS)。确认信息中的 MID 与发送信息中的 `ReqDID` 相比增加了 1。



有些信息的 MID 值相同，取决于信息是否包含意义不同的数据字段。涉及到可更改设置的消息时，就会发生这种情况。例如，请求输出配置的消息 (**ReqOutputconfiguration**) 与设置输出配置 (**SetOutputconfiguration**) 的消息相同。两条信息的区别在于，**ReqOutputconfiguration** 的长度字段为 0，而 **SetOutputconfiguration** 中长度字段则为非 0。

实例

请求当前输出模式：

发送消息：

ReqBaudrate = 0xFA 0xFF 0x18 0x00 0xE9 (十六进制数值)

接受消息 (= 确认)：

ReqBaudrateAck = 0xFA 0xFF 0x19 0x01 BR CS (十六进制数值)

ReqBaudrateAck 包含代表当前模式 (= BR) 的数据。CS 代表校验和数值。要改变波特率，您需要在发送消息中的数据字段添加波特率：

设置输出模式：

发送消息：

SetBaudrate = 0xFA 0xFF 0x18 0x01 BR CS (十六进制数值)

接受消息 (= 确认)：

SetBaudrateAck = 0xFA 0xFF 0x19 0x00 0xE8 (十六进制数值)



6.3.3 普通信息

GoToConfig

MID	48 (0x30)
数据字段	n/a
方向	到 MTi
有效	测量状态和配置状态

将设备由测量状态切换到配置状态。该信息还可以在配置状态下用于确认当前配置状态已激活。

设置输出配置

MID	192 (0xC0)
数据	输出配置 (N*4 个字节)
有效	配置状态

设置装置的输出配置替代 SetPeriod、SetOutputSkipFactor、SetOutputMode 和 SetOutputSettings。

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)

在 (SetOutputConfiguration 下的) 《MT 低级通信协议文档》中可以找到所有数据标识符的列表。

GoToMeasurement

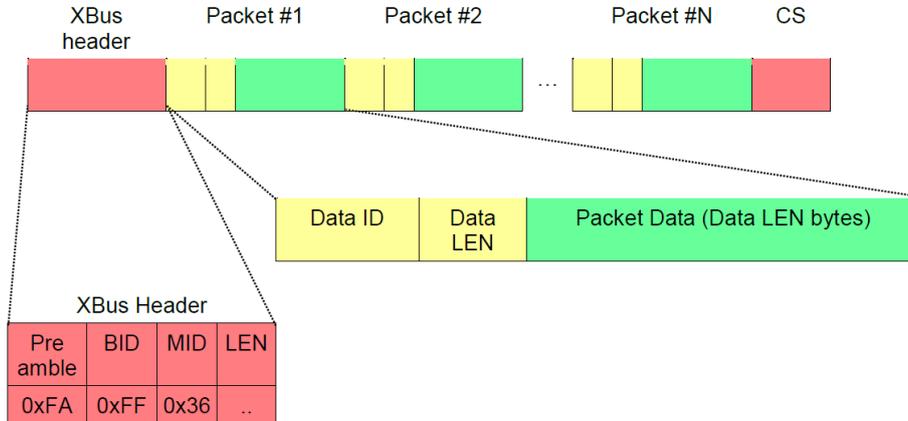
MID	16 (0x10)
数据字段	n/a
方向	到 MTi/MTx
有效	配置状态

将设备由配置状态切换到测量状态。当前配置用来开始测量。

MTData2

MID	54 (0x36)
数据	数据 (长度变化)
方向	到主机
有效	测量状态

MTData2 信息包含按当前输出配置所输出的数据。与传统 MTData 信息不同，MTData2 信息不会一直含有所有的配置输出。MTData2 信息不使用某个特殊配置下的单独固定输入格式，而是包含一个或多个数据包，每个数据包都有一个具体的输出。MTData2 信息分布图如下所示：



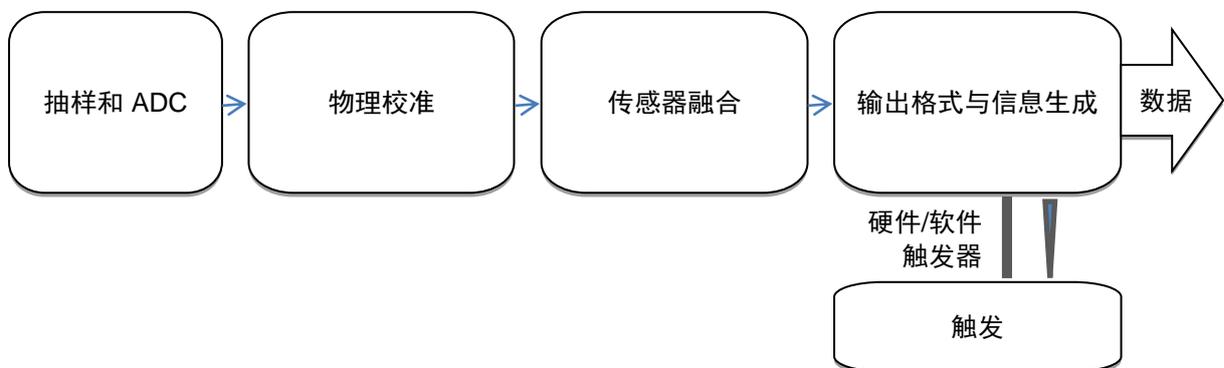
信息的负载包括多个 (N) 数据包。每个数据包都以一个两字节的数据标识符开始，接着是一个字节的尺寸字段。然后是尺寸字段指定长度的数据包数据。数据标识符决定了数据包数据的格式。

该数据包体系使输出数据格式非常灵活。如果没有可用的输出雏菊，那么数据包会从信息中删除。同时，如果在消息跟踪过程中遇到了未知的数据标识符，可以使用尺寸字段跳过该数据包。这可以达到最优带宽利用，并简化未来设备和/或软件兼容。

在《MT 低级通信协议文档》中，描述了所有数据包的格式。

6.4 通信时机

在许多应用中，准确地了解系统中的各种时延非常重要。本节描述了在 MTi 基本用途模式下实际事件与设备输出的时机是怎样相关的。



当 MTi 处于测量状态时，内部处理器核持续控制着信号处理管道，大致根据以上图表。数据输出可以由设备内部时钟或外部软件（轮询）或硬件进行触发。有关触发的更多信息，见第 6.5 节。注意，传感器的采样不能由外部触发，因为其采样速率达到 10 kHz。您可以通过使用 ClockSync 功能（见第 **Error! Reference source not found.** 节）调整内部采样时钟。



实际时间的延迟（如方向改变或加速）由两个因素支配；

1. 内部获取，计算时间和信息生成（信号处理时长）
2. 串行传输时间

多亏 Xsens 传感器融合算法的系统结构，**信号处理市场**与滤波器配置文件无关。由于使用了多核处理单元，可以将由实际事件到通过 USB 或串行输出的总时间降低到远远低于 2 ms。

在字节信息和波特率已知的情况下，可以轻而易举地计算出**串行传输时间**：

$$\frac{(total\ bytes\ in\ message) * 10\ bits/byte}{communication\ baudrate\ (bits/s)} = transmission\ time$$

我们将会使用两个 MTi 通用输出配置的案例来讨论这些因素。

信息中的字节由报头、BusID、MessageID、长度指示、数据本身和校验和组成：

报头	BID	MID	长度	数据	校验和
----	-----	-----	----	----	-----

报头、BusID、MessageID、长度指示、数据本身和校验和加一起一共 5 字节。[LLCP] 中探讨了各种数据信息的长度。

示例 1：波特率为 230400 bps (RS232) 的 400 Hz 欧拉角方向数据和 100 Hz SDI 数据（delta_q 和 delta_v）。

欧拉角是 12 字节，SDI 数据是 24 字节。这表示，将有一条 41 字节的信息，接着是三条 17 字节的信息，然后又是一条 41 字节的信息。

$$\begin{aligned} \text{transmission time Euler angles and SDI} &= \frac{(36 + 5) * 10\ bits/byte}{230400\ bits/s} = 1.78\ ms \\ \text{transmission time SDI only} &= \frac{(12 + 5) * 10\ bits/byte}{230400\ bits/s} = 0.74ms \end{aligned}$$

注意，虽然平均数据流小于波特率，在这种特殊情况下，也不可能选择低于 230400 bps 的波特率，因为在 400 Hz（每 2.5 ms）的频率下，波特率为 115200 bps 时，最长传输时间为 3.56 ms。

例 2：100 Hz，波特率为 921600 bps (RS232) 时四元数数据输出。

四元数数据为 16 字节。

$$\text{transmission time} = \frac{(16 + 5) * 10\ bits/byte}{921600\ bits/s} = 0.23\ ms$$

USB 通信时间

当用 USB 线缆使用 MTi 时，时间取决于主机（如 Windows）的调度，主机需要从 USB 设备中获得数据。若使用实时接口，推荐使用串行接口（RS232、RS422 或 RS485）。



6.5 触发和同步

在测量中使用多种系统的情况下，需要将系统中的测量数据同步。处理同步数据更加容易，因为不需要重新采样数据，弥补了时间漂移和时钟偏差等时间不准确性。使用多种系统的同步包括两个重要的问题：同时开始测量并具有采样示例的固定时间关系。有关触发的更多信息，请参考 <https://BASE.xsens.com:https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/211592185>

6.6 内部时钟准确性

6.6.1 无 GNSS 接收器的 MTi 的时钟

MTi 的内部时钟抖动误差小于 25 ns。

基于设置采样时间进行采样的 MTi 内部时钟的精度在温度工作范围内精确到 ± 10 ppm，最大为 ± 15 ppm（每个 MTi 不同）。使用典型 MT（精确度为 10 ppm）意味着在一小时记录后最差的偏差为 ± 0.036 秒 (= $3600 \text{ s} \cdot 10 \text{ ppm}$) 或在 1440000 中采样 15 个，以 400 Hz 的采样速率 ($\pm 25 \text{ ns/数据包 @ 400 Hz}$)。

6.6.2 MTi-G-700/710 的时钟

在 MTi-G 有 GPS 定位的情况下，时钟的偏差可以估算，长期来说，与 GPS 时间平均没有偏差。短期范围内，时钟抖动是决定性因素。MTi-G 能够在 GPS 可用的情况下生成较为准确的硬件同步时间脉冲。注意，只有 GPS 时间脉冲（没有其他 GNSS 基准时间）可以用来确定时间基准。时间脉冲可以与 UTC 时间同步。该准确的时间脉冲可以用来纠正 MTi-G 的采样时钟。该时钟偏差估算能够在低于 1 ppm 的正常操作条件下提高 MTi-G 中使用的晶体精度。

用来纠正 MTi-G 时钟的时间脉冲有很小的误差，由以下原因导致：

- 由天线相位中心和 MTi-G 中 GPS 接收器模块的输入引脚间的距离引起的延时。PFTE 的线缆延时为 5.5 ns/m，带来开发套件天线的 16.5 ns 延时。
- 四元数丢失、23.104 MHz 时钟、带来 43 ns 的分辨率
- 时间脉冲 7-25 ns 上升时间，在负载高阻抗的情况下的最好结果
- 软件延时，用来处理时间脉冲中断 300 MHz。

弥补 MT GPS 接收器中的第一个点，但是会随着线缆长度变化。

MTi 的内部时钟抖动误差小于 25 ns。如果没有 GPS，基于设置采样时间进行采样的 MTi 内部时钟的精度在温度工作范围内精确到 ± 10 ppm，最大为 ± 15 ppm（每个 MTi 不同）。使用典型 MT（精确度为 10 ppm）意味着在一小时记录后最差的偏差为 ± 0.036 秒 (= $3600 \text{ s} \cdot 10 \text{ ppm}$) 或在 360,000 中采样 4 个，以 100 Hz 的采样速率 ($\pm 0.1 \mu \text{ s/样品 @ 100 Hz}$)。

6.7 默认串行连接设置

设置	默认值
位/秒 (bps):	115200
数据位:	8
奇偶性:	无
停止位:	2
流控:	无

RS-232 中的这些设置与 RS-422/RS485 版本相同。用户可以修改波特率 (bps) 设置。最大值为 921600 bps，最小值为 4800 bps。有关详细信息，请参见 [LLCP]。如果通信失败，可以将停止位数量设置为 1。



注意，MTi 中没有供 RS422/RS485 通信的终端电阻。如果通信问题仍然存在，在应用侧或接近 MTi 处终端连接。

6.7.1 二进制数据一般定义

所有二进制数据通信都可以以大端格式实现。

示例：

未校准 16 位加速计输出
1275 (十进制) = 0x04FB (十六进制)
字节传输顺序 = 0x04 0xFB

校准加速计输出 (浮点数, 4 字节)
9.81 (十进制) = 0x411CF5C3 (十六进制)
字节传输顺序 = 0x41 0x1C 0xF5 0xC3

字节中的位顺序为：

[MSB...LSB] → [bit 7 ...bit 0]

6.7.2 串行或 USB 通信

MTi 有并串行 (RS232/RS422/RS485 或 UART) 及 USB 接口。但是，不能同时使用串行和 USB 接口进行通信。因此，除非探测到 USB，MTi 作为串行设备唤醒。当探测到 USB 接口时，可以通过 USB 接口进行通信。

6.7.3 RS232 等级

MTi RS232 收发器遵循 RS232 协议。为了完整性，下面列出了输入和输出：

	低值 (0)	高值 (1)
RS232 RX (传感器)	-25 至 1.3 V	1.7 至 25 V
RS232 TX (传感器)	-5 至 -5.7 V ¹⁴	5 至 6.2 V ¹⁵

¹⁴ -5.7 V 是在 25°C 时的典型值。

¹⁵ 6.2 V 是在 25°C 时的典型值。



Xsens

7 物理规格

7.1 物理属性概述

MTi 产品范围中的所有产品都具有相同的机械和通信接口。注意，RS422 版本没有车载 USB 接口。

	MTi 10-系列		MTi 100-系列
	MTi-##-%A#G#	MTi-###-%A#G#	MTi-G-700-%A#G# MTi-G-710-%A#G#
通信接口:	%2: RS232、USB、UART (仅 OEM) %4: RS485、USB、UART (仅 OEM) %6: RS422, UART (仅 OEM) ; 无 USB		
额外接口:	3x SyncOut/SyncIn (GPIO)		
工作电压:	4.5-34V; 3V3 (+/- 100 mV)		
耗能 ¹⁶ :	575 mW @ 4.9V	608 mW @ 4.9V	914 mW @ 4.8V (700) 741 mW @ 4.9V (710)
工作电压范围:	-40 °C - 85 °C		
特定性能 工作范围:	0 °C - 55 °C		
海拔工作范围:	不适用	不适用	-900 m - 9000 m (气压) < 50000 m (GNSS)
最大速度:	N/A	N/A	0-515 m/s
外框尺寸:	57 x 42 x 24 mm (W x L x H)	57 x 42 x 24 mm (W x L x H)	57 x 42 x 24 mm (W x L x H)
重量:	55 g (包装) 11 g (OEM)	55 g (包装) 11 g (OEM)	58 g (包装) 11 g (OEM)

7.2 电源

MTi 的额定电压为 5V DC。

最小工作电压为 > 4.5 V (外部连接器)，最大绝对值为 < 40 V。

- 传感器工作电压为 > 4.5 - 34 V。只使用 SELV (分离或安全特低电压) 电源 (双重隔离)，有短路保护。
- 工作平均功耗如第 7.1 节中的表格所示。平均功耗在不同使用模式 (DSP 负载) 下可能会有轻微的差异。
- 开机时的峰值电流可以达到 200 mA¹⁷。
- 在室温下运行时，传感器内部的温度正常情况下应为 35-40°C。

¹⁶ 将波特率从 115k2 提高至 460k8 会在所有配置下减少 10% 功耗。请注意，电源输入阶段的效率会随着电源电压的增加而减少。

¹⁷ 如果使用别的电源，检查其是否能够提供这个峰值电流。如果峰值电流无法达到，请不要使用该电源。



7.2.1 替换 3V3 电源

从硬件版本 2.0 开始，MTi 的 OEM 版本运行 3V3。3V3 电源可以在以下情况下使用：

- 只有 3V3 可用作电源。
- 用电有限制。3V3 节省 20% 电量。

MTi 的硬件设计中，电量自动来自标准 VCC (4.5-34 V) 或替换 3V3 电源。当同时有来自标准 VCC 和替换 3V3 的电压时，MTi 不会启动，可能会受损。

参考第 7.3 节获得引脚配置，包括 3V3。

7.3 机械和电接口规格

7.3.1 包装 MTi 连接器概述

MTi 提供 OEM 版本和包装版本。包装版本有一个外部 9 引脚电源和数据连接，以及一个天线的 SMA 连接器（仅适用于 MTi-G-700/710）。六角螺帽和基板的颜色指明了 MTi 是 MTi 10-系列还是 MTi 100-系列。灰色/银色的基板和螺帽代表 MTi 10-系列，深灰色/黑色基板和螺帽代表 MTi 100-系列。

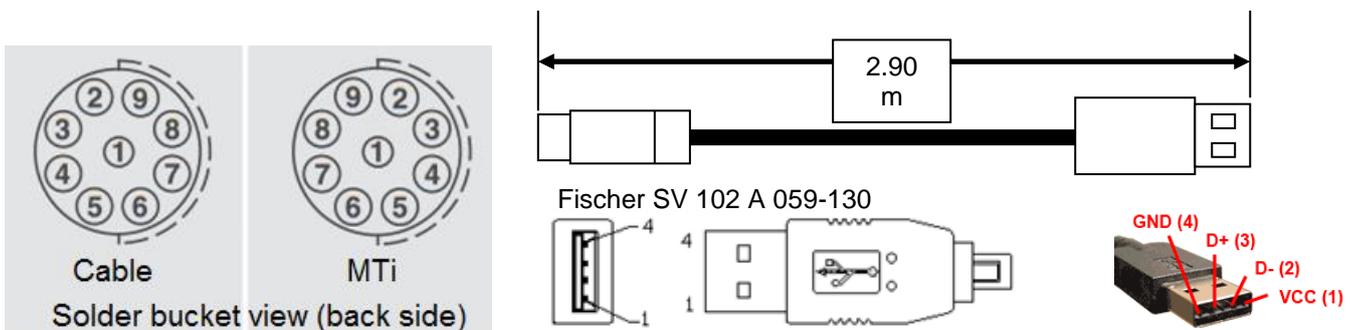
7.3.1.1 电源和数据连接

对于使用 Fischer 插座的连接（Fischer 器件编号：DBPU 102 A059-130），Xsens 提供两条线缆。产品编码为 CA-USB-MTi 的线缆用来将 MTi 连接到任何 USB 端口上（除了带 RS422 接口的 MTi）。产品编码为 CA-MP2-MTi 的线缆能连接 MTi 上 Fischer 连接头的 9 引脚。

7.3.1.2 引脚配置包装插座

CA-USB-MTi

将线缆连接在 MTi 上，将 USB 线缆连接在任何 USB 接口上。在 Windows 7 和 Windows XP 系统中，Xsens USB 驱动器若没有安装，会自动进行安装。为了将 CA-USB-MTi 锁定在包装中（这可以避免推拉套筒的振动向包装和 MEMS 传感器转移），顺时针拧紧螺母。请不要拧得太快。要拔出 CA-USB-MTi，顺时针拧紧锁定计数器并向后滑动连接器套筒，拉出连接器。



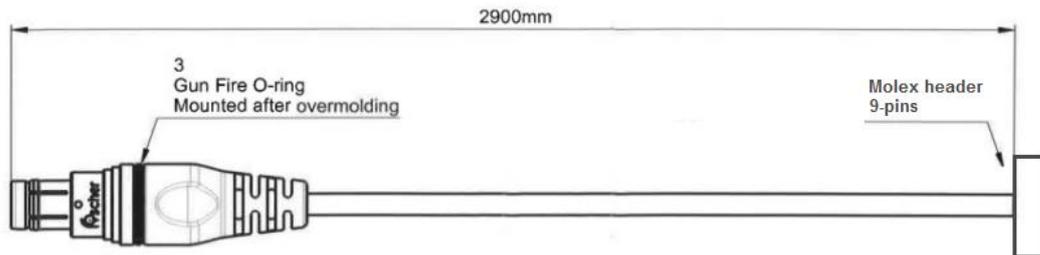
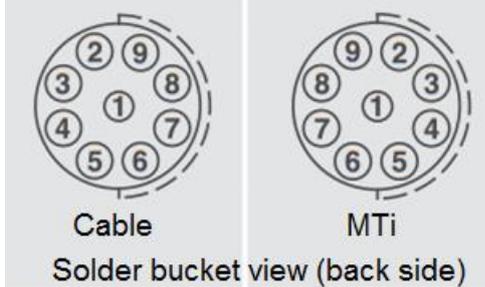
功能	线缆颜色	线规	Fischer 引脚编号	USB 引脚编号	10 引脚 OEM 连接头
GND	黑色	AWG26	1	4	4, 8
NC			2		
NC			3		
Vin	红光	AWG26	4	1	1
NC			5		
NC			6		
NC			7		
USB DP (D+)	绿色	AWG28	8	3	9
USB DM (D-)	白色	AWG28	9	2	7



Xsens

CA-MP2-MTi

CA-MP2-MTi 线缆可以完全控制 MTi。可以提供硬件同步选项，并可以轻易访问串行接口。虽然 CA-MP2-MTi 的 USB 连接线连接了，但是不推荐使用 USB 连接，因为 CA-MP2-MTi 的保护没有黏在 Molex 连接头上。Fischer 连接器的器件编号为 SS 102A059-130 Gunfire。



功能	线缆颜色 CA-MP2	线规	Fischer 引脚编号	Molex 引脚编号	10 引脚接头 (OEM)
GND	黑色	AWG28	1	2	4,8
RS232 TX / RS422_Z (TX-) / RS485_B (TxD/RxD-)	黄色	AWG28	2	4	5
RS232 RX / RS422_Y (TX+) / RS485_A (TxD/RxD+)	灰色	AWG28	3	5	3
Vin (4.5-30V)	红光	AWG28	4	1	1
同步输入 ¹⁸	蓝色	AWG28	5	7	2
同步输出	粉色	AWG28	6	9	6
时钟同步	棕色	AWG28	7	8	10
USB DP (D+) / RS422_A (RX+)	绿色	AWG28	8	3	9
USB DM (D-) / RS422_B (RX-)	白色	AWG28	9	6	7
屏蔽	SH	N/A	SH	N/A	

¹⁸ Syncln 在软件中被称为 “In 1” 。



7.3.1.3 GNSS 天线，而不使用默认的 GNSS 天线

MTi-G-700/710 需要一个有源贴片天线，可以连接到 MTi-G 前面板上的 SMA 连接器。另见 <https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/209434509>。

7.3.2 OEM 连接概述

7.3.2.1 电源和数据

MTi 也都可以作为 IEM 板使用。OEM 板和包装版本中推拉连接器之间的连接是灵活 PCB 连接，根据 MIL-STD 202 受过振动测试。OEM 板包括两个接头，一个 10 引脚接头和一个 14 引脚接头。连接头的细节如下：

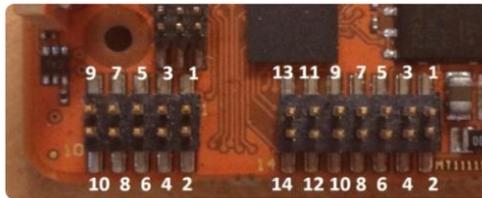
说明	制造商	器件编号
5x2 (10 引脚双排) 盒式接头，间距 1.27 mm	Samtec	FTS-105-01-F-DV-P-K
7x2 (14 引脚双排) 盒式接头，间距 1.27 mm	Samtec	FTS-107-01-F-DV-P-K

两个接头都有很多功能，有一些功能保留为未来使用。10 引脚接头提供基本功能，14 引脚接头提供高级选项。注意，带 RS422 接口的 MTi 不带 USB 接口。确认一直有共同基础（见 **Error! Reference source not found.**）。

引脚	功能	引脚	功能
10_1	Vin (4.5-34V)	14_1	GND
10_2	同步输入	14_2	Vin (3V3) ¹⁹
10_3	RS232 RX / RS422_Y (TX+) / RS485_A (TxD/RxD-)	14_3	UART_TX
10_4	GND	14_4	UART_RX
10_5	RS232 TX / RS422_Z (TX-) / RS485_B (TxD/RxD+)	14_5	GND
10_6	同步输出	14_6	保留
10_7	USB DM (D-) / RS422_B (RX-)	14_7	保留
10_8	GND	14_8	保留
10_9	USB DP (D+) / RS422_A (RX+)	14_9	保留
10_10	时钟同步	14_10	保留
		14_11	保留
		14_12	GND
		14_13	保留
		14_14	保留

10 引脚连接器的第 1 和 10 引脚和 14 引脚连接器的第 1 和 14 引脚在 PCB 上标出。

¹⁹ 3V3 从硬件版本 2.0 开始提供。



启动步骤

MTi 默认通过串行接口 (RS232/RS485/RS422) 启动通信：

- 如果设置了备用 UART，MTi 将会切换到备用 UART 上。
- 如果探测到了 USB，MTi 将会切换到 USB 通信。
- 发送唤醒信息。
- 如果唤醒为终端，MTi 将进入测量模式。
- 随时插入 USB 将是 MTi 立刻切换到 USB 上。

当 MTi 因为某些原因在串行模式下变得无响应，且插拔 MTi 不能解决通信问题时，只需要将 MTi 连接到 USB 口上并检查设备设置。RS422 设备上有恢复通信程序（见 [MTM]，不适用于备用 UART）。

备用 UART

有 MTi-OEM 时，备用 UART 就可用。该 UART 接口是 3V3 CMOS 等级的直接串行接口。可以在内嵌系统中使用。要配置 MTi 通过该备用 UART 进行通信，运行 SetExtOutputMode 命令（见 [LLCP]）。该设置将保存在固定存储器中，因此除非探测到 USB 连接，否则设备不会通过该 UART 进行通信。注意，备用 UART 上的最大波特率为 750 kbps。

7.3.2.2 GNSS 接收器

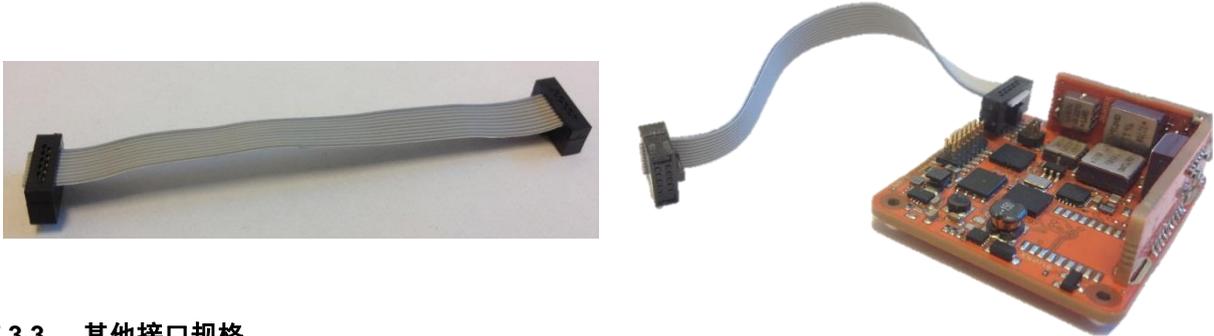
MTi-G-700/710 需要有源天线。MTi-G-700/710 上 OEM 板通过小型同轴电缆进行连接。另见 <https://base.xsens.com/hc/en-us/articles/209434509>。

7.3.2.3 与 OEM 板连接

使用间距为 1.27 mm 的插座可以连接 OEM 板。有名的生产商包括 Samtec、Molex 和 Hirose。下面是这种插座的两个示例：

插座	制造商	器件编号	Farnell 配件编号
10 引脚 1.27 mm 间距	Samtec	FFSD-05-01-N	1753841
14 引脚 1.27 mm 间距	Samtec	FFSD-07-01-N	1932262

这些连接器可以不需要工具就连接在扁平电缆上，如下图所示。右边是该电缆的应用。



7.3.3 其他接口规格

MTi 的主要 10 引脚连接器（和 9 引脚外部 Fischer 连接器）上有三根 GPIO 线。这三根线可以为了同步单独设置（见第 6.5 节）。确认一直有共同基础（见 **Error! Reference source not found.**）。

三根同步线如下：

名称	Fischer 引脚编号	OEM-1 引脚编号	高/低值	输入电阻/输出负载	绝对最大输入
同步输入	5	2	低值：0 - 0.8 V 高值：2.5 - 20 V	输入电阻：~100 kΩ	0-20V
同步输出	6	6	低值：0 - 0.4 V 高值：> 2.9 V	输出负载：>330 Ω	不适用
时钟同步	7	10	低值：0 - 0.8 V 高值：2.5 - 20 V	输入电阻：~100 kΩ	0-20V

同步功能的描述，见 [LLCP]。

7.3.4 线缆规格

CA-MP2-MTi 和 CA-USB#-MTi 线缆可以为 Xsens 定制。外径为 0.85 +/- 0.10 mm。PUR 护罩符合 UL Style 20549 标准。

最小弯曲半径为 4.75 mm（静态）和 9.5 mm（柔性）。

7.3.5 使用带外部 USB 转换器的 MTi MkIV

Xsens 提供可以同时使用 MTi、USB 和同步输入的线缆。该线缆还提供虚拟 COM 端口，而不是 WinUSB 的接口。下列线缆在 Xsens 网上商店 (<http://shop.xsens.com>) 有售：

- CA-USB2-MTi: MTi MkIV (RS232) 多功能线缆
- CA-USB4-MTi: MTi MkIV (RS485) 多功能线缆
- CA-USB6-MTi: MTi MkIV (RS422) 多功能线缆

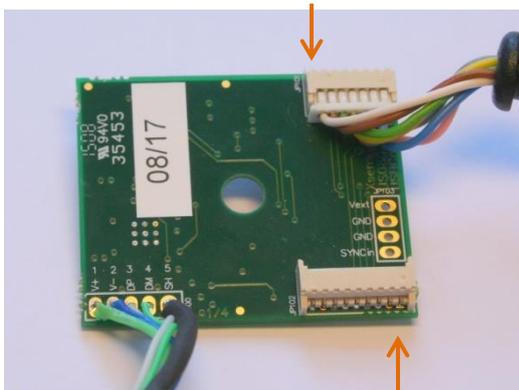
您可以将 MTi MkIV 连接到传统 USB 转换器电缆上。按照以下指示：

- 拆下传统 CA-USB2、CA-USB4 或 CA-USB6 USB 转换器线缆。
- **仅在 RS422 接口 (CA-USB6) 上**，将 MTi MkIV 多芯插头线缆 CA-MP2-MTi（灰色和绿色）的第三和第五根线互换。
- 将传统 MTi 的线缆拔下，并将 MTi MkIV 线缆 MP2-MTi 插入 9 引脚 Molex 插座。
- 在 USB 转换器的 7 引脚插座上，可以进行以下连接：

线缆颜色	Molex 引脚编号	功能 CA-USB2-MTi	功能 CA-USB4-MTi	功能 CA-USB6-MTi
红光	1	Vin (4.5-34V)	Vin (4.5-34V)	Vin (4.5-34V)
黑色	2	GND	GND	GND
绿色	3	USB DP (D+)	USB DP (D+)	RS422_Y
黄色	4	RS232 TX	RS485_A (TxD/RxD-)	RS422_Z
灰色	5	RS232 RX	RS485_B (TxD/RxD+)	RS422_A
白色	6	USB DM (D-)	USB DM (D-)	RS422_B
蓝色	7	同步输入/有效	同步输入/有效	同步输入/有效
棕色	8	时钟同步输入	时钟同步输入	时钟同步输入
粉色	9	同步输出	同步输出	同步输出

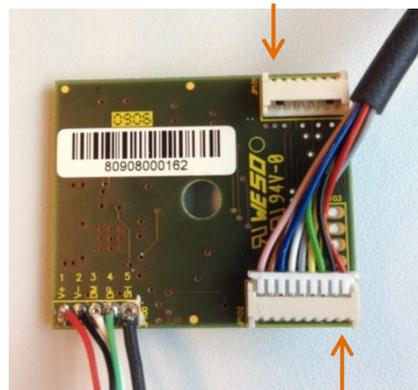
只有将 9 引脚连接器的两条线（棕色/粉色）拔下后可以插入第 8 和 9 引脚。

7 引脚 Molex 连接器的第 1 引脚



9 引脚 Molex 连接器的第 1 引脚
附带传统 MTi 线缆的 USB 转换器

7 引脚 Molex 连接器的第 1 引脚



9 引脚 Molex 连接器的第 1 引脚
附带 MTi MkIV 线缆的 USB 转换器

7.4 外壳机械规格

MTi 的顶部包装由阳极铝 6060 制造。底板由阳极铝 6060 制造。MTi 接头插座和外壳安装都使用 O 型橡胶密封圈。MTi-100 系列配有通气口，使内部气压与大气压相同，而不用进行入口保护。

7.4.1 外壳的环境保护

所有包装 MTi 的设计都可以经受得住灰尘和偶尔水花飞溅的应用场景。但是，Xsens 在室内测试中确认包装和连接器可以暂时经受得住相当于 IP67 保护等级的环境（防尘，1 米深处 30 分钟防进水）。

7.4.2 尺寸 MTi

MTi 10-系列和 MTi 100-系列（包括 MTi-G-700/710）都有相同的占地面积和连接器（位置）。包装上的不同仅限于颜色，气压孔（仅 MTi 100-系列有）和 SMA 连接器（仅 MTi-G-700/710 有）。

7.4.3 安装 MTi-OEM

MTi-OEM 有四个安装孔（M1.6 螺母适用）。为了降低并拧紧螺母，可以使用在孔上放置一个热缩管。

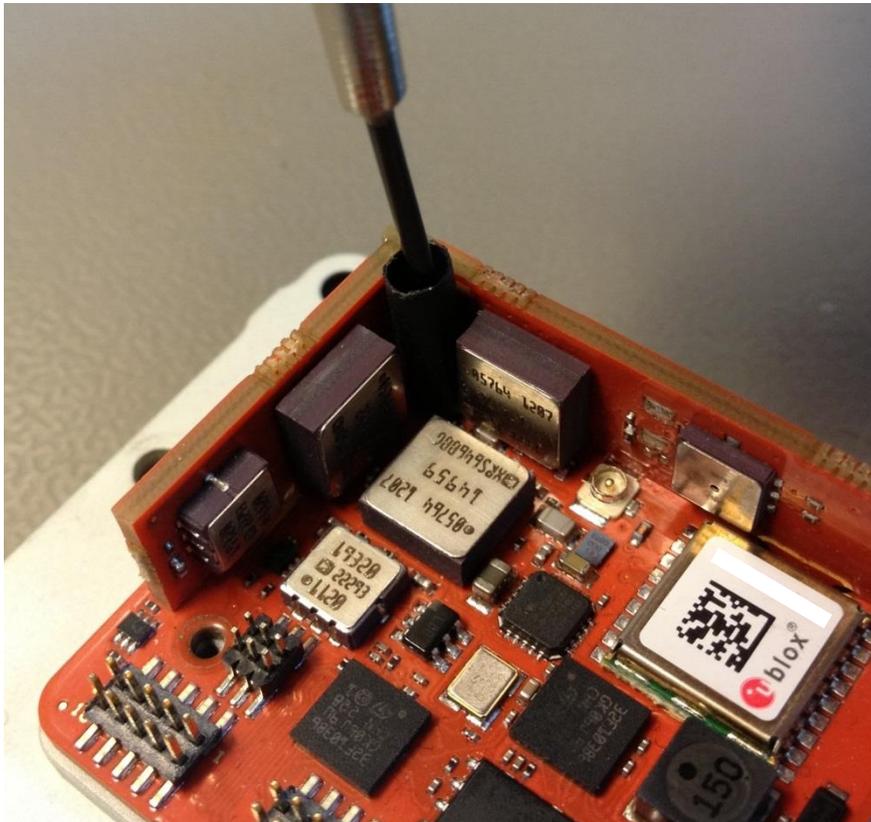


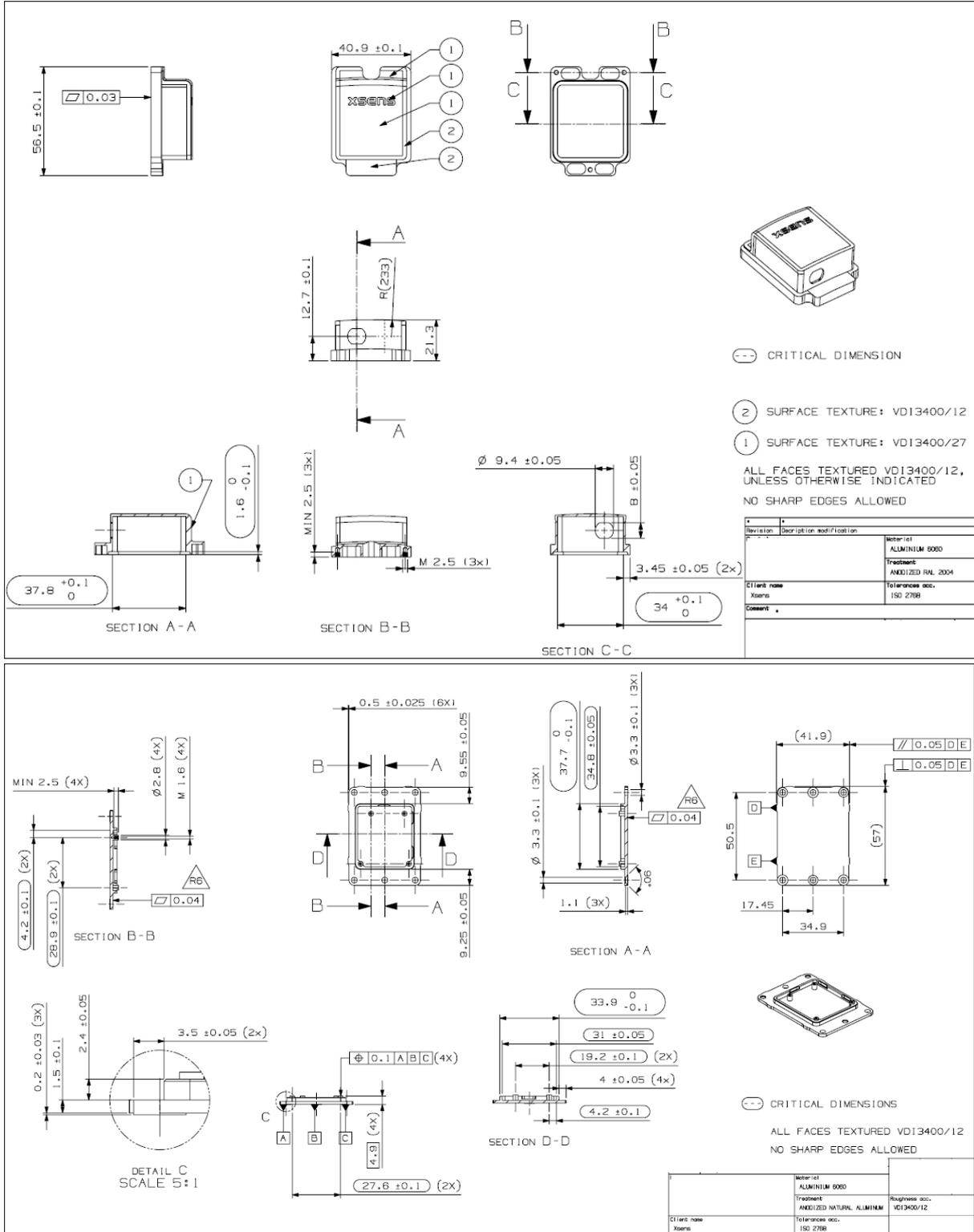
图 10: 使用热缩管定位安装螺母

保证安装 MTi 时，要保持离 PCB 表面至少 3.4 mm +/- 0.1 mm 范围内的清洁。



xsens

7.4.4 MTi 10-系列技术图纸

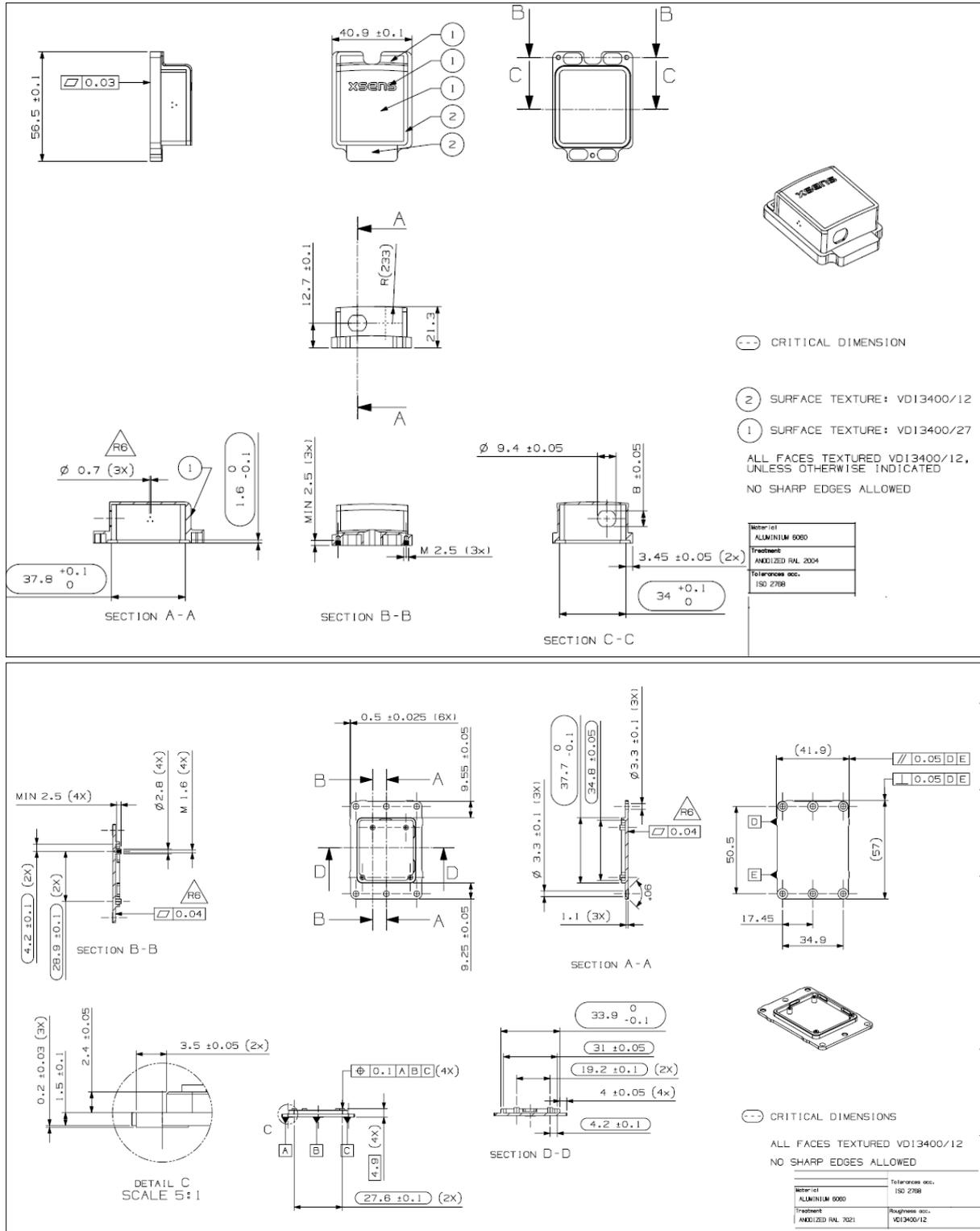


可以发送请求到 sales@xsens.com 获取 CAD 图纸（步骤）。



Xsens

7.4.5 MTi 100-200-300 技术图纸

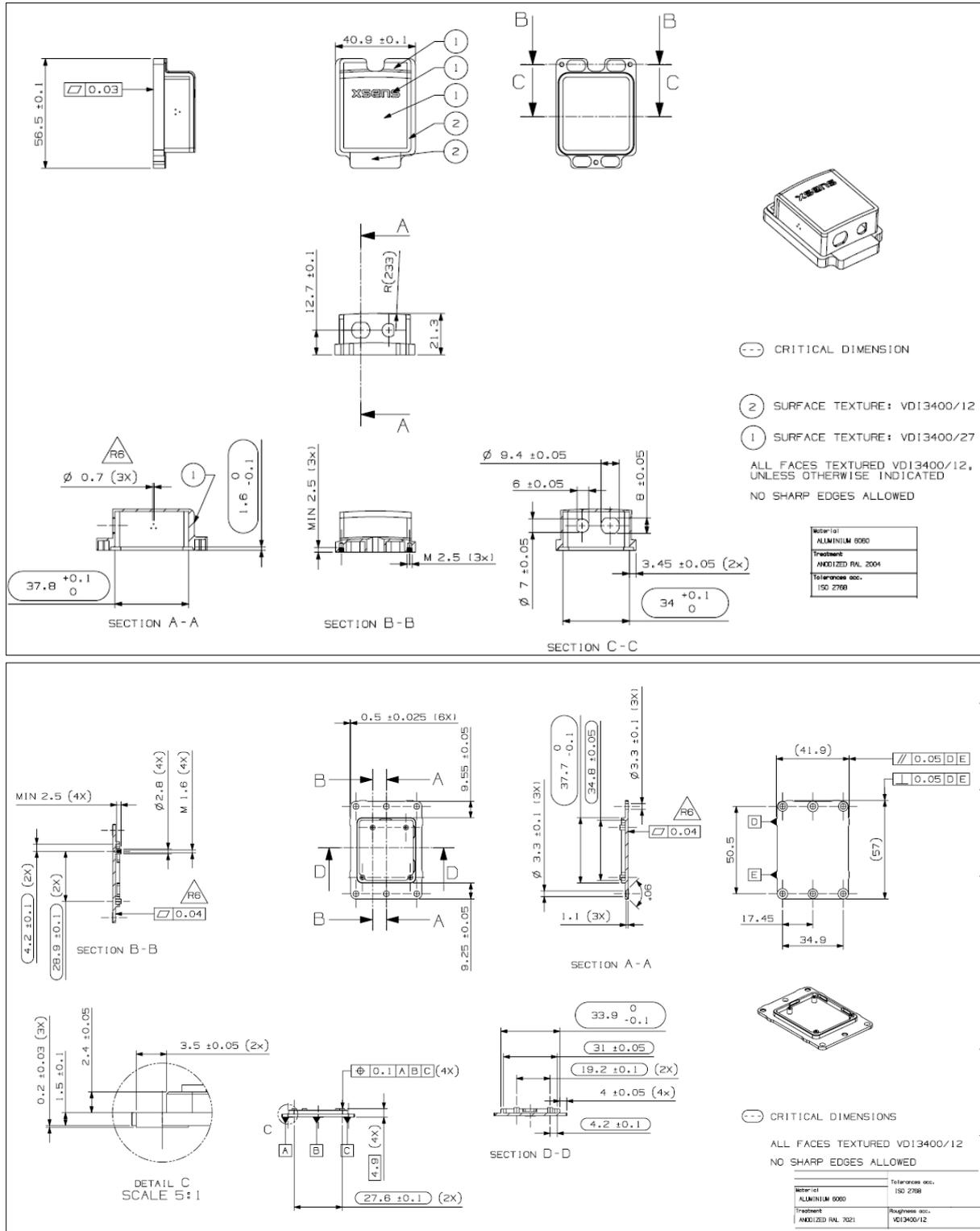


可以发送请求到 sales@xsens.com 获取 CAD 图纸（步骤）。



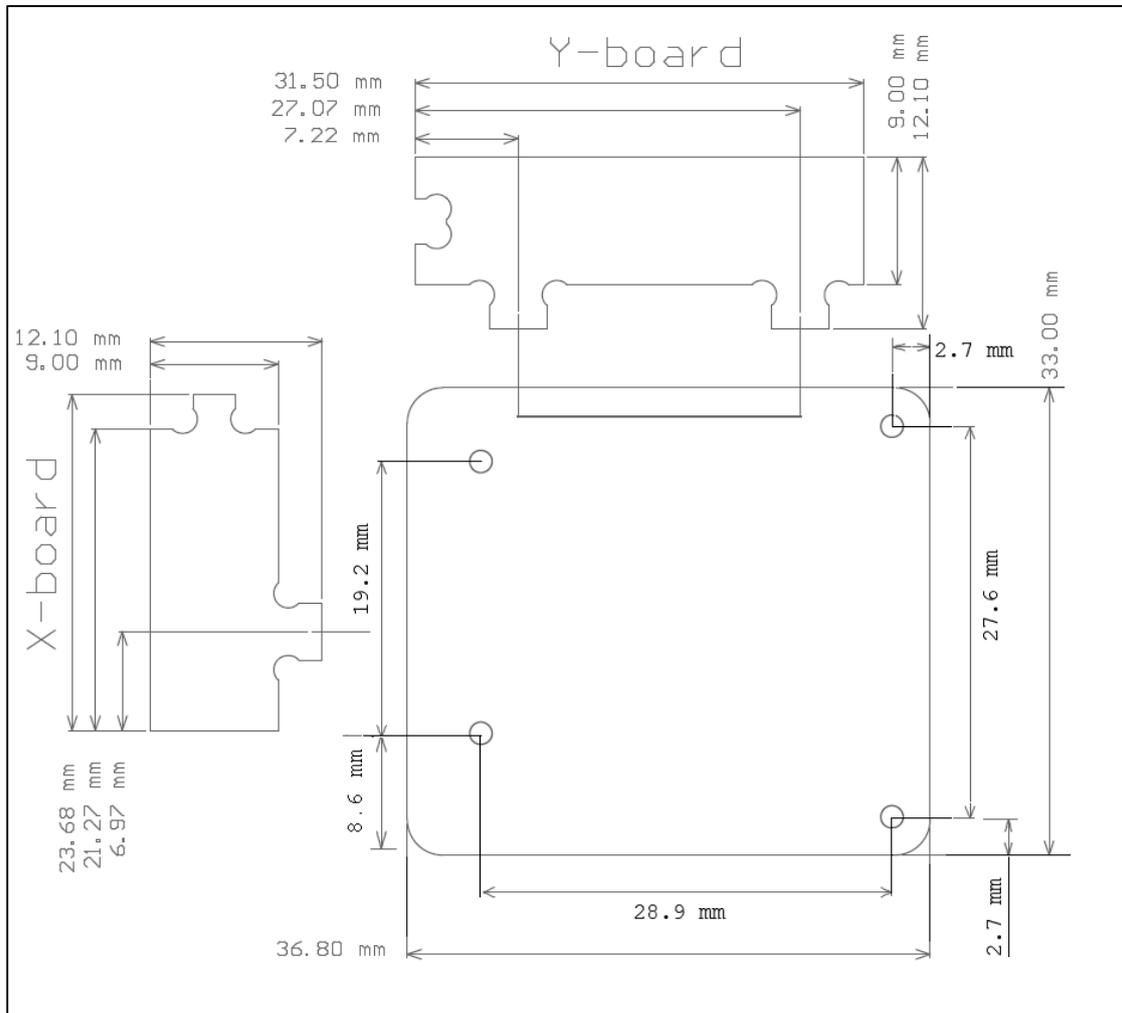
xsens

7.4.6 MTi-G-700/710 技术图纸



可以发送请求到 sales@xsens.com 获取 CAD 图纸（步骤）。

7.4.7 MTi-OEM 技术图纸



可以发送请求到 sales@xsens.com 获取 CAD 图纸（步骤）。



8 重要事项

8.1 安全指示

- 推荐学习以下指示
- 禁止将 MTi 放在强磁场附近。
- 禁止使用本手册中未提到的线缆或连接器。

8.2 绝对最大额定值

超过绝对最大额定值的压力可能会使设备永久损坏。

冲击（任意轴）：	20000 m/s ² (2000 g) 0.5 ms（半正弦）
标准输入电压：	-0.3 V ... 40 V
备用输入电压：	3.3 V +/- 0.1 V
ESD：	8 kV；超过 2 kV 可能会导致数据丢失和/或暂时连接丢失
接口输入：	-25 V ... 25 V（RX、A 和 B 输入） -0.3 V ... 3.6 V（备用 UART）
SyncIn：	0 - 20 V
工作/存储温度：	-40 °C ... 85 °C
湿度：	IP67 防护（OEM：最大 95%，非冷凝）

超过以上参数的压力可能会使设备永久损坏。这些只是压力额定值，MTi 的功能运行在这些或其他超过第 5.6 节指出的条件情况下没有暗示。暴露于绝对最大额定值条件下超过一段时间会影响设备可靠性。

注意：落在硬表面的物体可能会导致超过 20000 m/s² (2000 g) 的冲击，超过设备的绝对最大额定值。在处理时应多加小心，防止损坏。落在硬表面的物体带来的超过绝对最大额定值，可能不会毁坏设备，但可能永久改变物理运动传感器的属性，设备可能因此会不准确。

8.3 维护

如果正常使用，MTi 不需要任何维护（另见第 8.1 和 8.2 节）。但是，如果运动跟踪器没有根据规格使用，请联系 Xsens 或您的当地经销商 (www.xsens.com/support)。



8.4 CE MT 设备一致性声明

我们, Xsens 技术公司, 位于
Pantheon 6a
7521 PR Enschede, The Netherlands



声明对我们的产品完全负责:

MTi-10-#A#G#	(MTi-10-2A5G4, MTi-10-2A5G0, MTi-10-4A5G4, MTi-10-4A5G0, MTi-10-6A5G4, MTi-10-6A5G0, MTi-10-2A8G4, MTi-10-2A8G0, MTi-10-4A8G4, MTi-10-4A8G0, MTi-10-6A8G4, MTi-10-6A8G0)
MTi-20-#A#G#	(MTi-20-2A5G4, MTi-20-2A5G0, MTi-20-4A5G4, MTi-20-4A5G0, MTi-20-6A5G4, MTi-20-6A5G0, MTi-20-2A8G4, MTi-20-2A8G0, MTi-20-4A8G4, MTi-20-4A8G0, MTi-20-6A8G4, MTi-20-6A8G0)
MTi-30-#A#G#	(MTi-30-2A5G4, MTi-30-2A5G0, MTi-30-4A5G4, MTi-30-4A5G0, MTi-30-6A5G4, MTi-30-6A5G0, MTi-30-2A8G4, MTi-30-2A8G0, MTi-30-4A8G4, MTi-30-4A8G0, MTi-30-6A8G4, MTi-30-6A8G0)
MTi-100-#A#G#	(MTi-100-2A5G4, MTi-100-2A5G0, MTi-100-4A5G4, MTi-100-4A5G0, MTi-100-6A5G4, MTi-100-6A5G0, MTi-100-2A8G4, MTi-100-2A8G0, MTi-100-4A8G4, MTi-100-4A8G0, MTi-100-6A8G4, MTi-100-6A8G0)
MTi-200-#A#G#	(MTi-200-2A5G4, MTi-200-2A5G0, MTi-200-4A5G4, MTi-200-4A5G0, MTi-200-6A5G4, MTi-200-6A5G0, MTi-200-2A8G4, MTi-200-2A8G0, MTi-200-4A8G4, MTi-200-4A8G0, MTi-200-6A8G4, MTi-200-6A8G0)
MTi-300-#A#G#	(MTi-300-2A5G4, MTi-300-2A5G0, MTi-300-4A5G4, MTi-300-4A5G0, MTi-300-6A5G4, MTi-300-6A5G0, MTi-300-2A8G4, MTi-300-2A8G0, MTi-300-4A8G4, MTi-300-4A8G0, MTi-300-6A8G4, MTi-300-6A8G0)
MTi-G-700-#A#G#	(MTi-G-700-2A5G4, MTi-G-700-2A5G0, MTi-G-700-4A5G4, MTi-G-700-4A5G0, MTi-G-700-6A5G4, MTi-G-700-6A5G0, MTi-G-700-2A8G4, MTi-G-700-2A8G0, MTi-G-700-4A8G4, MTi-G-700-4A8G0, MTi-G-700-6A8G4, MTi-G-700-6A8G0)
MTi-G-710-#A#G#	(MTi-G-710-2A5G4, MTi-G-710-2A5G0, MTi-G-710-4A5G4, MTi-G-710-4A5G0, MTi-G-710-6A5G4, MTi-G-710-6A5G0, MTi-G-710-2A8G4, MTi-G-710-2A8G0, MTi-G-710-4A8G4, MTi-G-710-4A8G0, MTi-G-710-6A8G4, MTi-G-710-6A8G0)

与该声明相关的产品, 符合EMC指令中的基本要求: 2004/108/EC 和下列标准:

EMC指令中的基本要求: 2004/108/EEC
EN 61326-1 (2013)

适用于轻工业/实验室环境中; 排放等级 B; 性能标准 B。

2016年4月28日于恩斯赫德, 荷兰

Per Slycke
CTO
Xsens 技术公司



8.5 FCC MT 设备一致性声明

我们，Xsens 技术公司，位于
Pantheon 6a
7521 PR Enschede, The Netherlands



声明对我们的产品完全负责：

MTi-10-#A#G#	(MTi-10-2A5G4, MTi-10-2A5G0, MTi-10-4A5G4, MTi-10-4A5G0, MTi-10-6A5G4, MTi-10-6A5G0, MTi-10-2A8G4, MTi-10-2A8G0, MTi-10-4A8G4, MTi-10-4A8G0, MTi-10-6A8G4, MTi-10-6A8G0)
MTi-20-#A#G#	(MTi-20-2A5G4, MTi-20-2A5G0, MTi-20-4A5G4, MTi-20-4A5G0, MTi-20-6A5G4, MTi-20-6A5G0, MTi-20-2A8G4, MTi-20-2A8G0, MTi-20-4A8G4, MTi-20-4A8G0, MTi-20-6A8G4, MTi-20-6A8G0)
MTi-30-#A#G#	(MTi-30-2A5G4, MTi-30-2A5G0, MTi-30-4A5G4, MTi-30-4A5G0, MTi-30-6A5G4, MTi-30-6A5G0, MTi-30-2A8G4, MTi-30-2A8G0, MTi-30-4A8G4, MTi-30-4A8G0, MTi-30-6A8G4, MTi-30-6A8G0)
MTi-100-#A#G#	(MTi-100-2A5G4, MTi-100-2A5G0, MTi-100-4A5G4, MTi-100-4A5G0, MTi-100-6A5G4, MTi-100-6A5G0, MTi-100-2A8G4, MTi-100-2A8G0, MTi-100-4A8G4, MTi-100-4A8G0, MTi-100-6A8G4, MTi-100-6A8G0)
MTi-200-#A#G#	(MTi-200-2A5G4, MTi-200-2A5G0, MTi-200-4A5G4, MTi-200-4A5G0, MTi-200-6A5G4, MTi-200-6A5G0, MTi-200-2A8G4, MTi-200-2A8G0, MTi-200-4A8G4, MTi-200-4A8G0, MTi-200-6A8G4, MTi-200-6A8G0)
MTi-300-#A#G#	(MTi-300-2A5G4, MTi-300-2A5G0, MTi-300-4A5G4, MTi-300-4A5G0, MTi-300-6A5G4, MTi-300-6A5G0, MTi-300-2A8G4, MTi-300-2A8G0, MTi-300-4A8G4, MTi-300-4A8G0, MTi-300-6A8G4, MTi-300-6A8G0)
MTi-G-700-#A#G#	(MTi-G-700-2A5G4, MTi-G-700-2A5G0, MTi-G-700-4A5G4, MTi-G-700-4A5G0, MTi-G-700-6A5G4, MTi-G-700-6A5G0, MTi-G-700-2A8G4, MTi-G-700-2A8G0, MTi-G-700-4A8G4, MTi-G-700-4A8G0, MTi-G-700-6A8G4, MTi-G-700-6A8G0)
MTi-G-710-#A#G#	(MTi-G-710-2A5G4, MTi-G-710-2A5G0, MTi-G-710-4A5G4, MTi-G-710-4A5G0, MTi-G-710-6A5G4, MTi-G-710-6A5G0, MTi-G-710-2A8G4, MTi-G-710-2A8G0, MTi-G-710-4A8G4, MTi-G-710-4A8G0, MTi-G-710-6A8G4, MTi-G-710-6A8G0)

与该声明相关的产品，已经过测试并证明符合 47 CFR 15（2007 年 5 月 4 日版本）的无意辐射体的要求，作为 B 级数字设备，根据 FCC 规则中的第 15 部分。

操作受制于以下两个条件：

1. 该设备不会带来有害干扰，且
2. 该设备必须接受任何接收到的干扰，包括可能导致非正常运作的干扰。

2015 年 2 月 11 日于恩斯赫德，荷兰

Per Slycke
CTO
Xsens 技术公司



8.6 符合 RoHS 标准

EC 指令 2002/95/EC (RoHS 指令) 限制下列有害物质在电气和电子设备中的使用。

为此, 受限物质的最大浓度值按重量计为:

物质	最大限值
铅	0.1%
汞	0.1%
镉	0.01%
六价铬	0.1%
多溴联苯 (PBB)	0.1%
多溴二苯醚 (PBDE)	0.1%

注意: 最大限值不适用于已由 RoHS 指令授权豁免的应用。

根据我们供应商提供的信息, 并且据我们所知, Xsens 指定以下产品符合 RoHS 标准和欧盟对有害物质 (RoHS) 使用的限制。

为此, RoHS 投诉意味着:

1. 我们供应商已确认相关产品的合规性状态。
2. 我们已执行流程以确认供应商的声明, 并保留相关文件予以支持。

我们的供应商对合规性状态进行确认是因为该产品不含 RoHS 指令第 4 (1) 条所述的“浓度超过 RoHS 指令允许浓度”的任何限用物质, 或者是因为去除限用物质在技术上无法实现, RoHS 指令附件特定应用允许产品中这些物质超过规定浓度。

据我们所知, 我们的供应商都没有使用这些禁用物质来制造其产品。我们在有关 RoHS 合规性和铅含量信函中的声明不适用于任何受到意外污染、误用、疏忽、事故或不正确安装的产品。

符合 RoHS 指令的产品:

- MTi 1-系列 (MTi- # - #A#G#)
- MTi 10-系列 (MTi- ## - #A#G#)
- MTi 100-系列 (MTi- ### - #A#G#)
- MTi-G-700/710 (MTi-G-7#0 - #A#G#)
- 线缆 (CA-USB-MTi, CA-USB#-MTi, CA-MP2-MTi, CA-MP-MTi)

2016 年 4 月 12 日于恩斯赫德, 荷兰

Per Slycke
CTO
Xsens 技术公司



8.7 保证和责任

Xsens 技术公司保证由其生产的产品在交付日期一年内没有材料和工艺缺陷。未经误用的产品可以通过唯一的 Xsen 技术公司进行维修、更换或退货。在退回物品进行校准、维修或更换之前，请通过 www.xsens.com/support 联系 Xsens 进行退货授权。产品**必须以原包装进行退货**防止运输途中受到损坏。

该保证不适用于不由 Xsens 技术公司维修、更换或从原包装中取出的产品，以 Xsens 技术的观点，为了对产品产生负面影响，由于疏忽、试过或环境损害造成的损坏不属于 Xsens 技术公司的控制范围。

注意： Xsens 保留修改其产品，以改善设计、性能或可靠性的权利。

在这里陈述的条件和责任限制的前提下，Xsens 保证产品在交付日期一年内符合 Xsens 当前的产品规格。Xsens 在任何保证、疏忽、严格责任或其他理论的有关系统或性能的责任都只限于产品维修和更换，如果更换无法拯救，可以进行退款。XSENS 不保证、不担保也不做任何有关使用、使用结果、产品或书面材料在正确性、准确性、可靠性及其他方面的表示。Xsens 不对超出其合理控制范围的延迟或失败负责任。

8.8 客户支持

Xsens 很高兴为您解答任何关于 MTi 或您应用技术的使用方面的问题。最快的方法是 Xsens 帮助中心，工程师和其他 Xsens 用户可在这里进行交流。请访问“帮助中心”，联系 Xsens 经销商，如果您是 Xsens 的直接客户，请直接联系我们的客户支持：

- ➔ 帮助中心：<https://base.xsens.com>
- ➔ 支持页面（软件下载）：<https://www.xsens.com>
- ➔ 经销商网络：<https://www.xsens.com/en/company-pages/company/distributors>
- ➔ EMEA/太平洋联系电话：+31(0)88-9736700 (+31 88 XSENS 00)
- ➔ 美国（加利福尼亚州洛杉矶）联系电话：+1 310-481-1800

为了帮助您，请在您的邮件中写下您运动跟踪器的**设备 ID**（在设备侧面）。