

## 利用MEMS实现医疗创新

作者: Bob Scannell, ADI公司MEMS惯性传感器部门业务开发经理

### 内容提要

本文首先将介绍MEMS运动检测的一些基本知识, 包括器件选型需要了解的重要特性。然后会说明医疗导航应用的独特挑战, 并讨论可能的解决方案, 包括不同的传感器机制、必要的传感器处理、独特的系统特性以及实现最佳解决方案所需的数据处理。同时将回顾并解释传感器的重要特性及其影响, 更重要的是讨论潜在的误差和漂移机制以帮助选择传感器。本文还会重点介绍通过集成、传感器融合和处理(例如卡尔曼滤波)来增强传感器的机会及方法。

利用微机电系统(MEMS)检测、捕捉、分析运动已成为消费电子和移动设备司空见惯的功能。技术进步已实现高精度运动捕捉, 应用也已扩展到工业领域。工业设备的精度与消费电子设备的移动性和经济性的结合, 可以使许多潜在的医疗诊断和仪器应用受益。

某些情况下, 医疗运动捕捉的复杂性不亚于高端军用系统。例如, 精密导航通常与陆地、航空和海运交通工具应用相关, 但它也开始越来越多地出现在医疗应用中, 精密手术仪器和机器人就需要使用导航。此外, 虽然手术导航系统的设计要求与传统的车辆导航具有广泛的共同点, 但前者所在的环境也提出了一些独特的挑战, 并需要更高的性能。

### 通过运动捕捉实现医疗应用创新并创造价值

MEMS(图1)是基于芯片的加速度计和陀螺仪传感器, 当今各种各样的设备中都可以找到它的身影。此类惯性传感器能够检测和测量运动, 功耗极低, 尺寸极小, 几乎对任何涉及到运动的应用都是有价值的, 甚至对那些要求不运动的应用也是有价值的。表1按运动类型列出了一些相关的基本医疗应用。复杂情况下需要解决组合运动挑战的更高级应用将在稍后讨论。

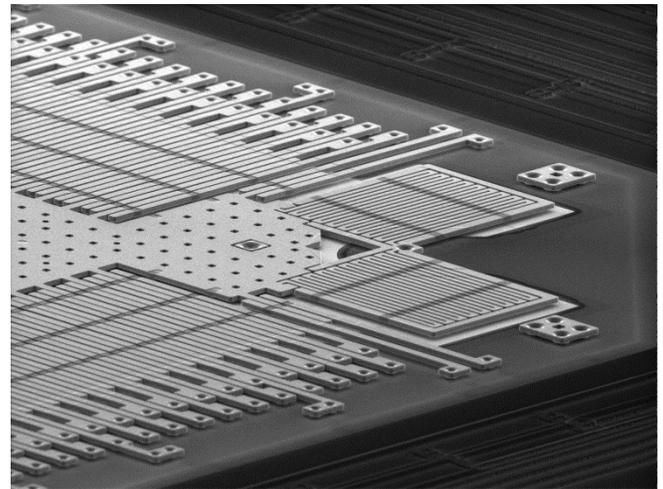


图1. MEMS芯片结构检测加速度和旋转, 并借助于信号处理将其转换为电信号

**表1. 惯性传感器精确捕捉各种复杂运动，促使实现广泛的医疗应用**

加速度/位置	倾斜	角速度/角度	振动	冲击	传感器融合
CPR辅助	病人摔倒监护仪	扫描仪	震颤控制	贵重设备担保	精密手术导航
运动监护仪	卧床病人位置/呼吸	基本手术器械	设备磨损		远程诊断
生物反馈监护仪	血压监护仪成像设备	义肢矫形			康复

## 利用运动捕捉实现新型仪器和诊断工具

许多医疗应用，例如CPR精确测定位置和重复率，或者扫描设备相对于患者身体的精确定位等，都可以获益于相对基本但仍很精确的运动信息。这种情况下，一种类型的传感器可能就足够，特别是如果存在其它传感器输入，或者运动和使用情形至少存在固定/已知的边界。

即便是有限范围的运动或较简单的运动动态，也必须详细了解并控制各传感器的漂移系数。传感器内部最好具备嵌入式补偿机制，并能通过嵌入式滤波针对应用进行调整。

## 复杂运动需要进行精密传感器和嵌入式传感器处理

虽然简单的运动检测，例如一个轴上的线性运动，对某些应用很有价值(如检测老年人是否跌倒)，但多数应用都涉及到多个轴上的多种类型运动。捕捉这种复杂的多维运动状态不仅能带来新的好处，而且能在最不利的情况下保持精度。

许多情况下，为了精确测定对象所经历的运动，必须将多种类型(例如线性和旋转)的传感器结合起来。例如，加速度计对地球的重力敏感，可以用来确定倾角。当一个MEMS加速度计在一个 $\pm 1g$ 重力场中旋转时( $\pm 90^\circ$ )，它能够将该运动转换为角度表示。然而，加速度计无法区分静态加速度(重力)与动态加速度。这种情况下，加速度计可以与陀螺仪结合，两个器件的后处理可以根据已知的运动动态模型分辨线性加速度与倾斜。随着系统的动态程度(运动的轴数、类型和运动自由度)增加，传感器融合过程显然会变得更加复杂。

了解环境对传感器精度的影响也很重要。一个显而易见的重要因素是温度，可以对其进行校准；事实上，高精度预校准传感器可以对自身进行动态补偿。另一个不那么明显的考虑因素是潜在的振动，即使很轻微的振动也会使旋转速率传感器的精度发生偏移，这就是所谓线性加速度和振动校正效应，其影响可能很严重，具体取决于陀螺仪的质量。传感器融合可以提高性能，即利用加速度计来检测线性加速度，然后补偿陀螺仪的线性加速度灵敏度。

许多应用要求多自由度的运动检测，特别是那些性能要求超过基本指向(上、下、左、右)或简单移动(运动或静止)的应用。例如，6自由度惯性传感器能够同时检测x、y、z三轴上的线性加速度和旋转运动(也称为滚动、俯仰和偏航)，参见图2。

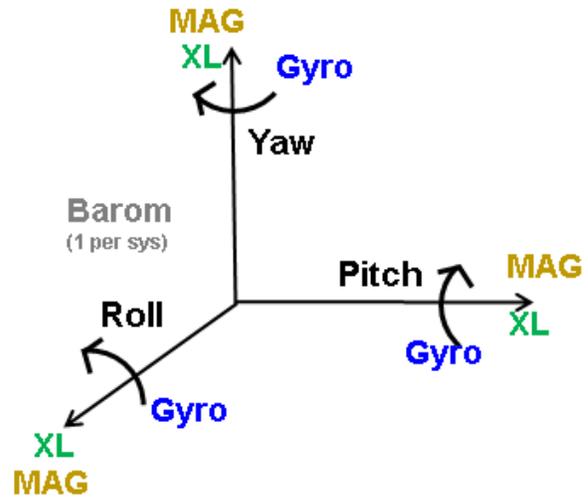


图2. 线性x、y、z运动加上旋转相关的滚动、俯仰、偏航，构成全运动评估所需的6自由度运动检测；通常还会增加磁力计和气压计功能

## 基本导航原理

惯性传感器在工业中用作辅助导航器件已经相当普遍。通常，惯性传感器与GPS等其他导航设备一起使用。当GPS访问不可靠时，惯性导航可以利用所谓航位推算技术来弥补空隙。根据环境和性能目标，可能还会增加其它传感器，包括光学和磁性传感器。每种传感器都有其不足之处。MEMS惯性传感器则有可能完全补偿其他传感器的不精确性，因为它不受上述干扰影响，并且不需要外部基础设施：无需卫星、磁场或相机，只需惯性。表2列出了主要的导航传感器方法及其优缺点。

就像车辆导航设备会发生GPS遮挡问题一样，医疗系统所用的光学导航技术也会遇到视线遮挡问题。发生光学遮挡时，惯性传感器可以执行航位推算，并能通过冗余检测增强系统的可靠性。

## 医疗导航

表1所列的一项医疗应用是在手术室使用惯性传感器，使人工膝关节或髌关节能够与病人独特的骨骼结构更精确地对准。其目标是让植入体与患者自然轴的对准误差小于 $1^\circ$ ，而当今使用纯机械对准方法的误差为 $3^\circ$ 或更大。95%以上的全膝关节置换(TKA)手术采用机械对准方法。使用光学对准的计算机辅助方法已经开始取代一些机械程序，但可能由于设备开销较大，进展非常缓慢。无论使用机械对准还是光学对准，这些手术中大约30%会有未对准的情况(定义为 $3^\circ$ 以上的误差)，使病人感觉不舒服，常常需要进行额外的手术。降低对准误差的可能好处包括：减少对病人身体的介入、缩短手术时间、增强病人术后舒适感以及使关节置换效果更持久。完整多轴惯性测量单元(IMU)形式的惯性传感器已证明能够显著提高TKA手术的精度，如图3所示。

表2. 表中所示为工业广泛应用的各类导航传感器及其对医疗导航的适用性

传感器类型	主要优势	潜在局限	是否适用于医疗导航?
GPS	长期绝对参照	潜在遮挡	否
地磁	无需基础设施(地球除外)	受到现场干扰	有限
光学	直观	视线遮挡	有限
惯性	独立自主	相对参照，而非绝对参照	是

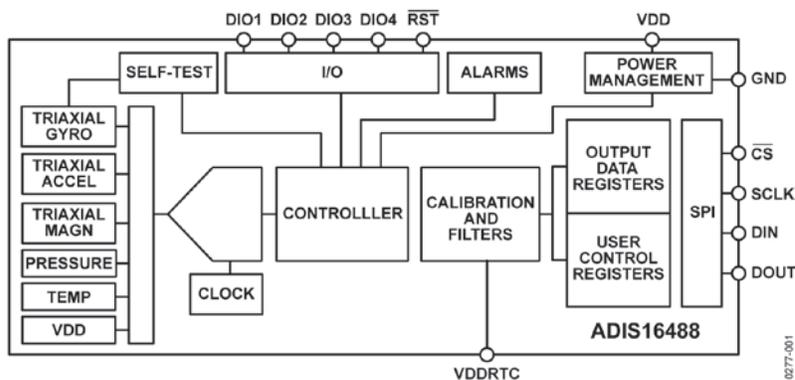


图3. 基于MEMS的惯性测量单元提供6自由度精密运动测量，结构紧凑，适用于手术仪器

## 传感器选择和系统级处理

惯性传感器的性能水平千差万别。适合游戏的器件并不能解决本文所述的高性能导航问题。对于导航，重要的MEMS性能指标是偏置漂移、振动影响、灵敏度和噪声。精密工业和医疗导航所需的性能水平通常比消费电子设备所用MEMS传感器的性能水平高出一个数量级。表3列出了通过分析来帮助选择传感器的一般系统考虑。

**表3. 传感器选型的考虑因素**

系统变量	条件/考虑
环境	室内/室外、温度、冲击/振动、干扰源
额定性能/目标	精度、重复性、速度、稳定性
操作人员	辅助或自主、受过或未受训练
安全性	性命攸关、不可接近、冗余
预算	实现的成本/时间、风险

大多数系统都会采用某种形式的卡尔曼滤波器，以便有效合并多种类型的传感器。卡尔曼滤波器将系统动力学模型、传感器相对精度和其他特定应用的控制输入纳入考虑，从而确定最切合实际的运动情况。高精度惯性传感器(低噪声、低漂移、相对温度/时间/振动/电源变化保持稳定)可以降低卡尔曼滤波器的复杂度，减少所需冗余传感器的数量，以及减少对容许系统工作方案的限制条件数量。

任何高性能运动捕捉方案都会面临两个主要挑战：一是将原始传感器数据转换为校准且稳定的传感器数据，二是将精密传感器数据转换为实际的位置/跟踪信息。解决第一个挑战涉及到集成优化的传感器处理电子模块和运动校准功能，这需要对运动动力学有透彻的了解。解决第二个挑战需要将运动动力学的知识与具体应用的独特知识结合起来，如图4所示。

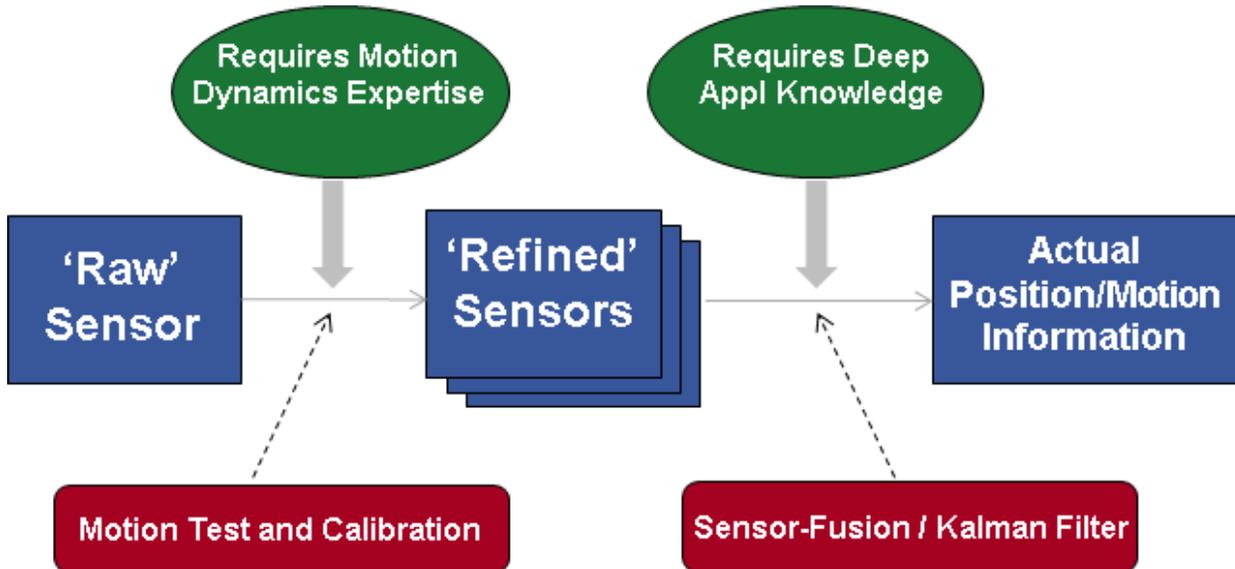


图4. 精密运动检测既需要高性能内核传感器，也需要优化的传感器处理和嵌入式应用智能

## 利用精密MEMS传感器实现高价值医疗应用

就商业可行性和可靠性而言，MEMS惯性检测是一项非常成熟的技术。除了广为人知的移动设备和游戏应用以外，医疗和工业领域也存在广泛的需求，但挑战也更大。这些应用需要高得多的性能，以及更完整的集成和传感器处理。例如，医疗导航涉及复杂的运动，要求以高度稳定的惯性传感器为基础，然后提供优化的集成、传感器处理和融合。高精度、环境适应能力极强的传感器的出现和发展，正在医疗领域掀起新一轮的MEMS惯性传感器应用浪

潮。与现有的测量和检测方法相比，这些惯性MEMS器件在精度、尺寸、功耗、冗余度和可及性上均有优势。

幸运的是，解决这些新一代医疗挑战所需的许多原理均基于经过传统工业导航应用验证的方法，包括传感器融合和处理技术。

## 资源

分享本文

facebook

twitter