

运动五感： 利用MEMS惯性 感测技术实现应用变革

尽管MEMS（微机电系统）技术在气囊和汽车压力传感器中的应用已有大约20年，但促使大众认识到惯性传感器作用的是Nintendo® Wii™和Apple® iPhone®。

然而，在一定程度上，流行的看法是惯性传感器的作用主要体现在最终产品有必要检测加速度和减速度的时候。诚然，从纯科学的角度来看，确实是这样。但是，这种看法忽视了MEMS加速度计和陀螺仪日益增加的诸多用途，比如，医疗设备、工业设备、消费类电子设备、汽车电子设备等领域。

通过审视五种运动检测模式各自的可能性，可以超越当今大量MEMS应用的范围，极大地扩大应用选项。这五种模式是加速度（包括平移运动，如位置和方向）、振动、冲击、倾斜和旋转。

例如，带活动检测功能的加速度计可以实现电源管理技术，因为该功能可以通过运动或振动的缺失来确定设备处于非活动状态，从而告诉设备进入最低功耗模式。复杂的控制和物理按钮逐渐被由手指触摸动作控制的手势识别接口取代。在其他应用案例中，最终产品变得更加精确，例如，罗盘可以对手持倾斜角进行补偿。

本文将举例说明高级商用MEMS加速度计和陀螺仪将如何通过五类运动检测实现各类最终产品的变革。

运动检测和MEMS简介

加速度、振动、冲击、倾斜和旋转（旋转除外）实际上都是加速度在不同时间段的不同表现。然而，我们人类无法基于直觉将这些运动感视为加速度/减速度的变化形式。分别考察各个模式有助于预见更多可能性。



加速度（记住，包括平移运动）衡量速度在单位时间内的变化。速度以米/秒(m/s)为单位，包括位移速度和运动方向。因此，加速度的单位是米/平方秒(m/s²)。负值的加速度—想像一下司机踩刹车时汽车减速—被称为减速度。

现在考虑不同时期周期的加速度。可以将振动想像成快速发生的周期性加速度和减速度。

类似地，冲击指突如其来加速度。但与振动不同，冲击具有非周期性，一般只发生一次。

我们再次延长时间来看。当物体因运动改变倾角时，其相对于重力的位置会发生一定的变化。与振动和冲击相比，这种运动一般非常缓慢。

因为前四种运动模式检测都涉及到加速度的某个方面，所以它们是通过 g 力来衡量的，即重力对地球上物体产生的力的单位（ $1g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ）。MEMS加速度计通过测量重力在加速度计轴上产生的作用来检测倾角。在三轴加速度计中，用三个独立的输出来测量X、Y和Z三个运动轴上的加速度。

目前，市场份额最大的加速度计用差分电容来测量 g 力，然后将其换算成伏特或位值（位值用于数字输出加速度计），随后将换算结果传至微处理器，以便微处理器执行操作。得益于技术的最新发展，已经可以制造出微型低 g 和高 g 检测范围的MEMS加速度计，其带宽比以前的加速度计要宽得多，极大地增加了潜在应用领域。低 g 检测范围小于 $20g$ ，用于处理人可以产生的运动。高 g 可用于检测与机器或车辆相关的运动—实际上指人无法产生的运动。

以上我们只讨论了线性速度运动，这类运动包括加速度、振动、冲击和倾斜。旋转是测量角速率运动的一个指标。这种模式与其他模式不同，因为旋转可能在加速度无变化的条件下发生。为了解其原理，不妨想像有一个3轴惯性传感器。假设该传感器的X和Y两轴与地球表面平行；Z轴指向地球中心。在此位置，Z轴的测得值为 $1g$ ；X轴和Y轴为 $0g$ 。现在旋转传感器，使其只绕Z轴运动。X平面和Y平面只是旋转，其值仍然为 $0g$ ，Z轴仍为 $1g$ 。

MEMS陀螺仪用于检测这种旋转运动。由于某些最终产品在其他形式的运动以外还须测量旋转，所以可以将陀螺仪集成到惯性测量单元(IMU)中，其中内嵌了一个多轴陀螺仪和一个多轴加速度计。

利用加速度提升可用性，进行电源管理

前面我们注意到，加速度可以用于检测运动和位置。如此就可以用MEMS加速度计来识别设备被拿起和放下两种状态，检测到后就可以产生一个中断，使设备能自动开启和关闭相应的功能。可以使各种功能组合保持活跃，或者使其进入最低功耗状态。运动驱动型开/关功能非常人性化，因为它们消除了用户的重复性动作。另外，这些功能有助于优化电源管理，延长充电间隔和电池替换周期。采用背光LCD的智能遥控是众多潜在应用场景之一。

用加速度计检测运动并产生中断的另一种方式是军人或公共安全人员使用的无线电系统。为了确保通信的安全性，当无线电不是处于被佩戴或携带的状态时，需要重新认证身份才能允许用户使用。注意，为了设计出实用的便携或小型产品，前述两种应用场景需要采用低功耗加速度计：最多几微安(μA)。

运动检测的另一种应用是在医疗设备中，如自动体外除颤器(AED)。一般情况下，根据设计，AED产生电击，使病人的心肝恢复跳动。如果失败，就必须实施人工心肺复苏术(CPR)。经验不足的救助人员可能无法将病人的胸部按压到位，无法进行有效的CPR。把加速度计嵌入AED胸垫，通过测量胸垫移动的距离，可以向救助人员提供反馈，使其知道要施加多大的压力。

利用振动进行监控，实现节能

振动的轻微变动是轴承磨损、机械组件定位失调和其他机械(包括工业设备)故障的前兆。带宽超宽的超小型MEMS加速度计是监控电机、风扇和压缩机内部振动的理想解决方案。如果能进行预防性维护，制造企业就能避免损坏昂贵的设备，预防故障，防止造成代价巨大的生产效率损失。

也可以通过测量设备振动特征的变化来检测机器是否经过调节优化，其工作模式有利于节能。除非经过校正，否则，这种低效工作模式可能会伤害到企业的绿色制造事业，增加电费开支，或者最终还会导致设备损坏。

冲击、手势识别等

许多笔记本电脑中采用的磁盘驱动器保护功能是冲击检测目前最为广泛的应用。一个加速度计检测表明笔记本电脑正在跌落微小的 g 力，这些 g 力是冲击事件的前兆：冲击地板。在数毫秒以内，系统会命令硬盘驱动器磁头停止运行。磁头停止运行后，在冲击持续过程中，磁头不再与磁盘盘片接触，从而防止损坏驱动器，避免数据丢失。

手势识别接口是这类惯性检测技术一种极具前景的新用途。通过轻击、双击、摇动等确定性手势，用户可以激活不同功能或者调整工作模式。在物理按钮和开关难以操作的情况下，手势识别可以提高设备的可用性。无按钮设计不但可以降低系统总成本，还可以提高最终产品的耐用性，比如水下摄像机，按钮周围的开口会使水浸入相机机身。

小型消费电子产品只是基于加速度计的手势识别技术的一个应用领域。得益于超小型低功耗MEMS加速度计，轻击式接口可能成为穿戴式和植入式医疗设备的良好选择，比如药物输送泵和助听器。

利用倾斜检测实现精密操作

倾斜检测在手势识别接口中也有着巨大的潜力。例如，在建筑或工业检测设备应用中，单手操作可能更适用。不操作设备的那只手可以控制操作员站立的铲斗或平台，或者可能握持系绳以保证安全。操作员只需“旋转”探针或设备即可调节设置。

在这种情况下，三轴加速度计会将旋转检测为倾斜：测量倾角在重力条件下的低速变化，检测重力向量的变化，并确定方向是顺时针还是反时针。倾斜检测也可以与轻击(冲击)识别结合起来，以便操作员能单手控制设备的更多功能。

设备位置补偿是倾斜测量的又一个重要用武之地。以GPS(全球定位系统)或手机中的电子罗盘为例。这里有一个著名的问题，即在罗盘不与地球表面完全平行时，结果产生的首向误差问题。

工业电子秤是另一个例子。在该应用中，必须计算装载桶相对于地球的倾角，以获得准确的重量读数。压力传感器(如汽车和工业机器中使用的传感器)同样存在重力影响问题。这些传感器含有薄膜，其挠度会随传感器安装位置而变化。在所有这些情况下，MEMS加速度计会进行必要的倾角检测，对误差进行补偿。

旋转：陀螺仪和IMU实际应用

如前所述，如果把旋转与其他惯性检测结合起来，结果有助于改进MEMS技术的实际应用。实际上，这要求使用加速度计和陀螺仪。

市场上已经出现惯性测量单元，其中包括一个多轴加速度计、一个多轴陀螺仪，并且为了进一步提高首向精度，还有一个多轴磁力计。另外，IMU还可支持全6自由度(6DoF)。这可为医学成像设备、手术仪器、高级假肢和工业车辆自动驾驶等应用带来超精细的分辨率。除高精度工作模式以外，选择IMU的另一个优势是其具备的多种功能可以由传感器制造商进行预测试和预校准。

IMU也可用在精度要求不太明显的应用之中。例如，智能高尔夫球杆可以跟踪和记录一次挥杆的每个动作，因而有助于提高高尔夫球手的技能。球杆内集成的加速度计测量加速度和挥杆平面，陀螺仪测量挥杆过程中的内旋动作，即高尔夫球手双手的扭动动作。这种高尔夫球杆记录比赛或练习中采集到的数据，供以后在电脑上分析。

信号处理新浪潮

无论是需要用户友好型功能，降低功耗，消除物理按钮和控制，补偿重力和位置，还是要实现更加智能化的操作，基于MEMS的惯性检测技术都有着丰富的选项，可以有效地捕捉运动五感。

诸如推出MEMS®运动信号处理系列产品的ADI公司一样的创新企业以巨大的领先优势，推出了可以满足下一波信号处理浪潮需求的各类加速度计和陀螺仪。日益增多的运动检测应用将从这些IC解决方案的小尺寸、高分辨率、低功耗、高可靠性、信号调理电路和集成功能等特性中大受裨益。

参考文献

Knivett, Vanessa. “MEMS加速度计：通向成功设计的快车道？” *EETimes Europe*. 2009年2月11日。

中文技术论坛支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问 ezchina.analog.com



Circuits from the Lab参考设计

Circuits from the Lab®参考设计由ADI工程师构建并测试，提供丰富的文档和经过工厂测试的评估硬件。

请访问 www.analog.com/cn/cftl

**Circuits
from the Lab®**
Reference Designs

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2017 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. T08189sc-0-3/17(A)

analog.com/cn

