

加速度计—幻想与现实

作者: Harvey Weinberg

作为ADI公司紧凑的低成本、重力敏感型/MEMS®加速度计¹的应用支持工程师, 我们有机会听到许多有关如何运用加速度计的创意想法, 但有些想法违背了物理定律! 我们依据实现这些想法的可能性, 非正式地对其中一些予以评定:

- **现实**—切实可行, 目前并已经实现的实际应用。
- **幻想**—如果我们有更先进的技术就可能实现的应用。
- **想入非非**—我们能想到的任何实际实施方案将会违背物理定律。

洗衣机负荷平衡。洗衣机高速旋转时, 负荷不平衡将导致洗衣机摇晃, 如果不加以限制, 洗衣机甚至能在地板上“走动”起来。利用加速度计检测旋转期间的加速度。如果存在不平衡, 洗衣机²将来回抖动滚筒以重新分布负荷, 直至负荷达到平衡为止。

现实。负荷平衡更佳时, 旋转速度可以更快, 从而将更多水从衣服中甩出, 使用干过程能效更高, 这可是当今大力倡导的事情! 还有一个好处是滚筒运动减震所需的机械部件将更少, 使得整体系统更轻, 成本更低。如果实施得当, 马达的峰值负荷更低, 传动和轴承系统的使用寿命将得以延长。这项应用已经实现。

机械健康状况监控。许多行业按照预防性维修日程计划更换或彻底检修机械设备, 尤其在人们无法容忍无计划停机的应用中。因此, 许多行业经常过早地花费巨资改造尚有很长使用寿命的机械。将加速度计嵌入轴承或其它旋转设备中, 就可以延长其使用寿命, 而不用担心突发故障。加速度计通过检测轴承或其它旋转设备的振动, 确定其工作状况。

现实。利用轴承的**振动**³“特征”来确定其状况是业界公认且成熟的设备维护方法, 但为了获得精确结果, 需要较宽的测量带宽。在ADXL001⁴推出之前, 加速度计和相关信号调理设备的成本非常高。现在, 具有宽带宽 (22 kHz) 和内部信号调理功能的ADXL001已成为低成本轴承维护应用的理想之选。

自动校平。加速度计测量大型机器或活动房屋等物体的绝对倾斜度。微控制器利用该倾斜信息自动校平物体。

介于现实和幻想之间 (取决于应用)。自动校平是一项要求极高的应用, 要求绝对精确。表面微加工加速度计具有极高的分辨率, 但高精度 (优于1°倾斜度) 的绝对倾斜度测量对温度稳定性和迟滞性能的要求极高, 采用当今的表面微加工加速度计无法实现。对于温度范围适中的应用, ADXL203⁵等高稳定性加速度计可以胜任。对于

宽温度范围、绝对精度要求在±5°以内的应用, 这些加速度计也能处理。但是, 要在宽温度范围内实现更精确的校平, 则需要外部温度补偿。即使利用外部温度补偿, 仍然难以实现优于±0.5°倾斜度的绝对精度。有些应用目前已经实现。

手机的人机界面。微控制器借助加速度计识别用户手势, 从而实现对移动设备的单手控制。

现实。手机⁶屏幕占用了控制区域的大部分可用面积。手机制造商可以将加速度计用于用户界面功能, 以便增加“无按钮”特性, 例如单振/双振 (模拟鼠标单击/双击)、屏幕旋转、倾斜控制的滚动、基于方向的振铃控制等。此外, 手机制造商可以利用加速度计改善导航功能的精度和使用性能, 以及开发其它新应用。这项应用目前已经实现。

汽车报警。加速度计检测汽车是否被顶起或被拖车抓起, 如果是则报警。

现实。最常见的偷车手法之一是直接用拖车拖走。传统的**汽车报警**⁷对此无能为力。冲击检测器无法测量倾斜度的变化, 点火禁用系统也不起作用。本应用利用ADXL213的高分辨率能力。如果加速度计测量到倾斜度变化超过每分钟0.5°, 汽车就发出警报——但愿能吓跑窃贼。这需要良好的温度稳定性, 没有人希望自己的汽车因为天气变化而发出警报, 因此高度稳定的ADXL213⁸可谓理想选择。这项应用目前已在OEM和售后汽车防盗系统中实现。

滑雪板固定器。加速度计测量总冲击能量和“特征”, 确定是否应当松开固定器。

幻想。机械式滑雪板固定器已经高度先进, 但性能受限。如果能测量滑雪者所感受到的实际冲击力, 就能精确判定是否应当松开固定器。智能系统可以考虑每个人的能力和生理状况。这是一项实用的加速度计应用, 但目前的电池技术不敷所需。等到将来开发出小而轻且在低温下保持良好性能的电池时, 这项应用就能变成现实。

个人导航。本应用通过航位推算法确定位置 (利用加速度对时间的二重积分确定实际位置)。

想入非非。加速度测量结果中的小误差日积月累, 将导致长期积分结果出现较大误差。二重积分将加剧误差 (t²)。如果不采取措施不时地重新设定实际位置, 误差将变得十分巨大。这与简单地将电容放在运算放大器上来构建积分器类似。即使将来加速度计的精度能够比现在高出十倍或百倍, 最终仍然会产生巨大误差, 只是所需时间长一点。

加速度计可以结合GPS**导航系统**⁹使用, 在GPS信号短暂不可用时提供服务。较短的积分周期 (一分钟左右) 可以获得令人满意的结果,

而且巧妙的算法可以利用替代方法提供良好的精度。例如在步行时，每走一步，身体都会上下运动。加速度计可以用来制作高度精确的计步器，其测量步行距离的精度可达 $\pm 1\%$ 以内。

重低音伺服控制。将加速度计安装在重低音喇叭上，以便提供位置反馈，进而通过伺服方法消除失真。

现实。目前市场上已有多种带伺服控制的有源重低音音箱。伺服控制可以大大降低谐波失真和功率压缩。伺服控制也可以通过电子方式降低扬声器/音箱系统的 Q ，从而允许使用更小的音箱，详见**扬声器失真降低**¹⁰ (Richard A. Greiner和Travis M. Sims, Jr., JAES Vol. 32, No. 12)。**ADXL193**¹¹小而轻，加到扬声器喇叭上之后，并不会显著改变整体声学特征。

神经肌肉刺激器。本应用可以在适当的时候刺激肌肉，以帮助对小腿肌肉失去控制的人走路。

现实。走路时，一般先抬脚，使腿部前移，然后落下，向后推腿部。加速度计戴在小腿或脚上的某个位置，以便检测腿的位置。然后通过电子方式刺激适当的肌肉，使脚根据需要而屈伸。

这是微加工加速度计使一项产品切实可行的范例。早期型号使用液体倾斜传感器或活动滚珠轴承（用作开关）来确定腿的位置。液体倾斜传感器的问题在于液体会晃动，因此只能慢速步行。在山路上行走时，很容易迷惑滚珠轴承开关。加速度计则是测量腿后移与腿前移之间的差别，因此山路无法愚弄该系统，而且也不存在液体晃动问题。加速度计功耗很低，系统可以采用小型锂电池工作，使得最终封装产品并不显眼。这项应用已经实现。

汽车噪声消除。加速度计检测车厢内的低频振动，消除噪声系统利用立体声系统中的扬声器消除该振动。

想入非非。虽然加速度计可以毫无困难地拾取车厢内的振动，但消除噪声在很大程度上取决于相位。虽然我们可以消除某个位置的噪声（例如驾驶员头部周围），但其它位置的噪声可能会增加。

结束语

表面微加工加速度计具有高灵敏度、小尺寸、低成本、封装结实等特点，能够测量静态和动态加速力，因而使众多新型应用得以实现。其中有许多应用并不属于加速度计的传统应用范围，超出了人们的预期。现在看来，设计人员的想象力似乎才是潜在应用范围的限制因素，但有时候，设计人员也会想象过头！性能的不断改进将催生越来越多的应用，但对那些违背物理定律的所谓“解决方案”最好敬而远之。

参考文献

- 1 www.analog.com/cn/sensors/inertial-sensors/adxl193/products/product.html
- 2 www.analog.com/en/industrial-solutions/white-goods/applications/index.html
- 3 www.analog.com/en/industrial
- 4 www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/adxl001/products/product.html
- 5 www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/adxl203/products/product.html
- 6 www.analog.com/en/wireless-solutions/featurephonesmartphone/applications/index.html
- 7 www.analog.com/static/imported-files/application_notes/50324364571097434954321528495730car_app.pdf
- 8 www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/adxl213/products/product.html
- 9 www.analog.com/en/automotive-solutions/navigation/applications/index.html
- 10 www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=4467
- 11 www.analog.com/cn/sensors/inertial-sensors/adxl193/products/product.html

