

采用ADXL375的自主冲击事件监控

作者: Venkataraman Chandrasekaran和Neil Zhao

简介

根据Piersol和Paez在《哈里斯冲击与振动手册》中所述,冲击定义为物理系统受到的动态激励,并且该激励持续时间与遭受激励的系统完全作出响应所需的时间相比较短(见参考文献部分)。

在《振动与冲击手册》中(同样列于参考文献部分),DeSilva指出当力、位置、速度或加速度突然改变,并在考察的系统中产生瞬态时,即表示发生了冲击。冲击是矢量,具有幅度和方向。

很多应用中都需要用到精确的冲击信息,如租赁资产和敏感设备的使用分析、航运数据记录器以及考察高g事件造成的运动伪像。在接触运动、单车或军事领域,医生能通过碰撞或冲击指标(如幅度、接触点和方向)更好地诊断事故造成的脑震荡或头部创伤。

若要在这些应用中(通常是便携式和电池供电式应用)高效嵌入测量系统,采用低功耗、小型3轴传感器很重要,另外还需提供足够的动态范围和带宽,以便精确捕获冲击事件。

本应用笔记描述采用低功耗、高g、3轴数字MEMS加速度计自主检测和捕获冲击事件的技巧,可最大程度减少主机处理器干预。加速度计可设置为沿X、Y和/或Z轴的任意组合监控单次或双重(初级和次级)冲击。另外还可以捕获整个冲击特性,并使用集成的32样本存储器进一步分析。

关于ADXL375

ADXL375是一款3轴数字MEMS加速度计,具有低功耗($145\text{ }\mu\text{A}$)和高分辨率(98 mg/LSB)性能,1600 Hz带宽下最高可测量 $\pm 200\text{ g}$ 。数字输出数据为16位二进制补码格式,可通过SPI(3线或4线式)或者I²C数字接口访问。

集成式存储器管理系统采用32级先进先出(FIFO)缓冲器,可用于存储数据,从而将主机处理器负荷降至最低,并降低整体系统功耗。ADXL375采用 $3\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 、14引脚LGA封装。

目录

简介	1	捕获冲击特性	5
关于ADXL375	1	评估软件	6
修订历史	2	示例代码	6
监控冲击事件	3	参考文献	6
检测冲击事件	3		

修订历史

2013年9月—修订版0：初始版

监控冲击事件

冲击可用其峰值幅度和脉冲宽度加以表征。碰撞、弹道、弹药发射、工具震颤等都会产生冲击。碰撞产生的撞击性冲击的特性或时间关系曲线受到接触表面的影响。例如，图1显示钢质夹具落在不同表面上时产生的冲击脉冲。此外，还可通过冲击特性的频谱对其进行表征(见图2)，这在设置报警频带时非常有用。

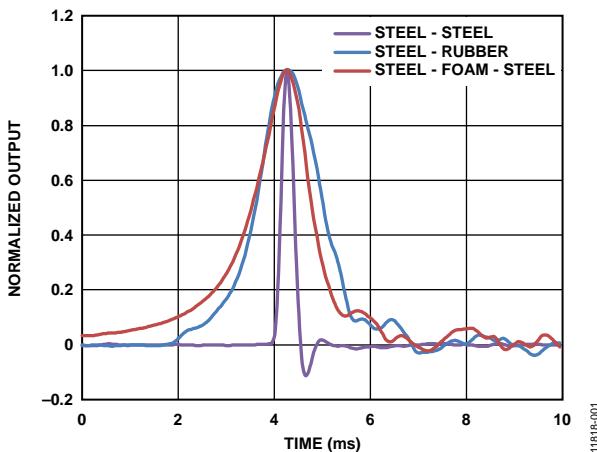


图1. 撞击接口对冲击脉冲锐度的影响

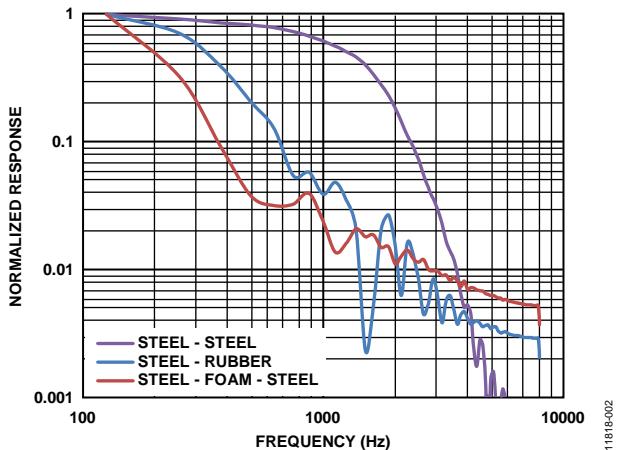


图2. 不同冲击脉冲的频谱

ADXL375提供一种同时根据幅度和脉冲宽度分离并记录目标冲击事件的方法。冲击检测功能允许用户定义冲击的最小阈值和持续时间，从而区分两个冲击脉冲。两个脉冲均超过设定的最小阈值，但锐度不同。

除特性外，方向也是确定冲击事件严重程度时的重要参数。ADXL375允许监控全部3个轴上的冲击事件，从而精

准获知特性和方向。图3显示加速度计与导向型下落夹具连接，方向与X-Y封装平面呈45°角时的输出信号。

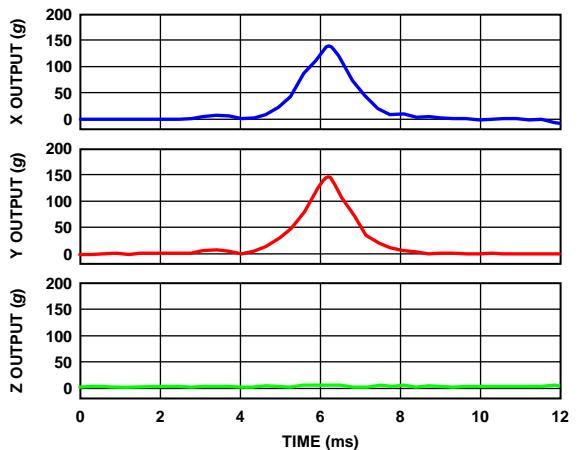


图3. ADXL375对导向型下落的响应
(加速度计与X-Y平面呈45°)

检测冲击事件

ADXL375的冲击中断功能可用来检测预定义冲击事件。

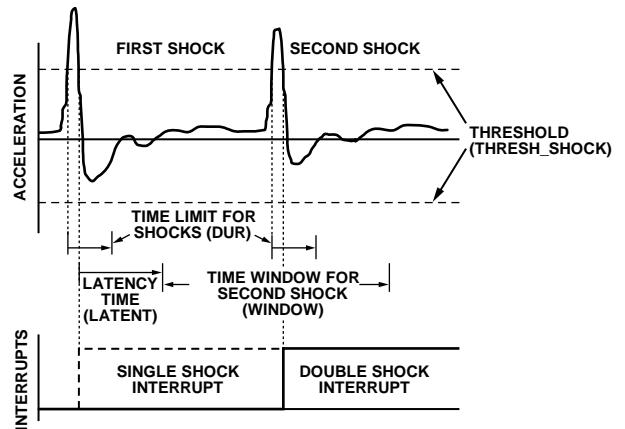


图4. 冲击中断功能

图4显示检测到冲击事件时，ADXL375如何产生中断。加速度计使用两个参数检测单次冲击事件：最小冲击阈值(THRESH_SHOCK)和最大冲击持续时间(DUR)。THRESH_SHOCK寄存器长度为8位，含有无符号阈值，用来产生冲击中断。冲击事件幅度与THRESH_SHOCK寄存器中的值进行比较，以便进行冲击检测。阈值设置的分辨率为780 mg/LSB。DUR寄存器长度为8位，包含无符号时间值，表示一个事件能够超过THRESH_SHOCK阈值从而构成冲击事件的最大时间。冲击持续时间设置的分辨率为625 μs/LSB。

冲击检测功能始终采用3200 Hz下的非抽取数据样本。抽取内部3200 Hz采样频率可获得较低的输出数据速率(100 Hz至1600 Hz)。由于-3 dB带宽随输出数据速率而改变，且可能低于非抽取数据带宽(1600 Hz)，因此检查加速度计输出时用于确定冲击事件的高频率和高g数据可能不会出现。这可能导致在输出数据似乎不满足用户针对相应功能设置的条件时触发冲击中断，如图5所示。

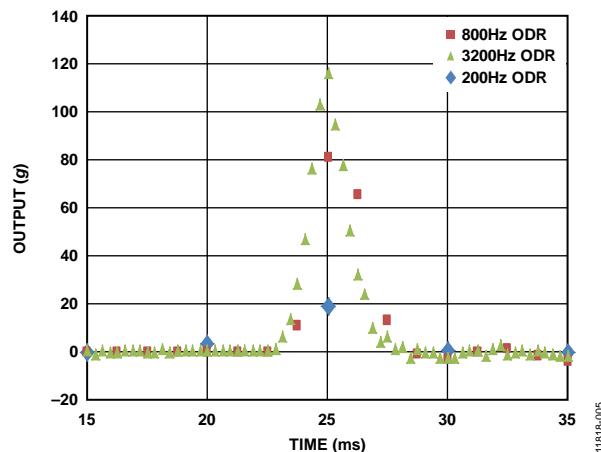


图5. 不同输出数据速率(ODR)下捕获的相同冲击脉冲
(-3 dB带宽为ODR的 $\frac{1}{2}$)

阈值设置

由于冲击持续时间设置的分辨率有限，触发冲击中断的阈值设置应尽量低，以便有效通过脉冲宽度区分不同冲击脉冲。如图1所示，接近峰值幅度处的脉冲宽度差异逐渐减小。但是，设置最小阈值时，噪声也是一个重要的考虑因素。

图6显示ADXL375在非抽取3200 Hz采样速率下的X、Y和Z输出噪声。若要最大程度降低误检率并可靠地位于噪底之上，则了解峰值噪声非常有用。峰峰值噪声仅可通过统计方法估算，并假定噪声呈高斯分布。例如，噪声超过峰峰值8乘以均方根值的时间百分比为0.006%。这相当于2 g或至少3 LSB。除加速度计外，还需要考虑应用中的任何背景噪声。

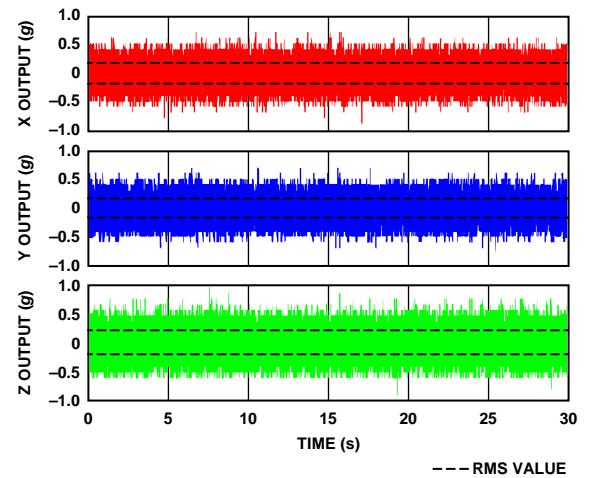


图6. 3200 Hz输出数据速率下的噪声

除初级冲击事件外，使用延迟和时间窗口参数还能检测次级事件。延迟参数允许用户于两次冲击之间设置最小等待时间，在此期间的任何额外冲击都将被忽略，甚至符合预定定义特性的冲击也不例外。

Latent寄存器长度为8位，包含无符号时间值，表示从冲击事件检测到时间窗口(由Window寄存器定义)开始的等待时间，在此期间，能检测出可能的第二次冲击事件。比例因子为1.25 ms/LSB。尽管延迟时间过后必须开始第二次冲击，但不需要在Window寄存器定义的时间结束前完成。对Latent寄存器写入0将禁用双重冲击功能。

使能单次或双重冲击中断(INT_ENABLE)并使用INT_MAP寄存器将其映射到INT1或INT2引脚后，通过在SHOCK_AXES寄存器中置位适当的位，可使能或禁用单轴冲击事件检测。

若中断已触发，结果将显示在INT_SOURCE和ACT_SHOCK_STATUS寄存器中。图7显示给定输入冲击特性的正确寄存器输出。

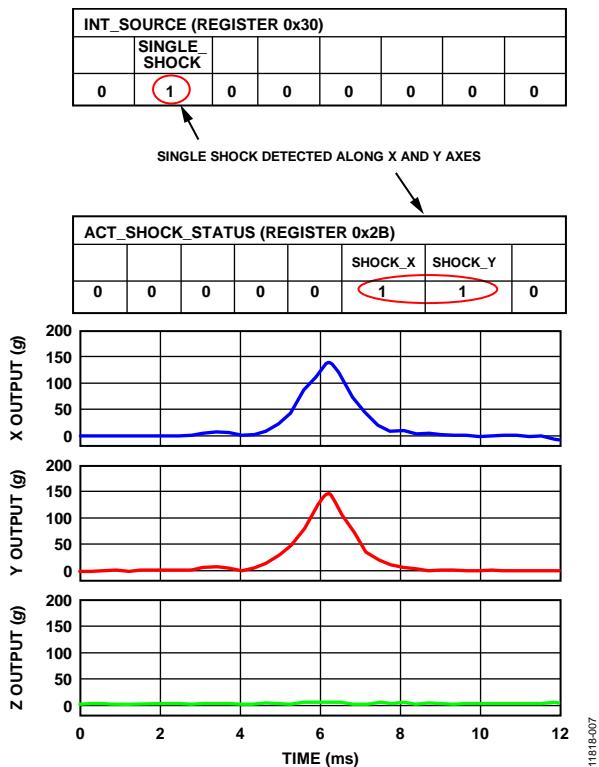


图7. 输入冲击特性和相应的中断(设置：
阈值 = 19.5 g, 持续时间 = 5 ms)

捕获冲击特性

除检测冲击事件并产生中断外, ADXL375还提供捕获整个冲击特性的选项, 可用于进一步分析而无需主机处理器干预。使用冲击中断寄存器并结合加速度计的内部FIFO, 可实现该功能。有关使用FIFO的详细信息, 请参考AN-1025(见参考文献部分)。

其思路是一旦触发冲击事件, 就开始在存储器中保存输出样本。然而, 仅当输出低于预定义最小阈值时才触发冲击中断(如图4所示), 这样会导致整个冲击特性数据的丢失。但是, 已触发FIFO模式提供实际触发事件发生之前保存样本(最多32个)的灵活性。可以通过FIFO_CTL寄存器对其进行配置。

理想情况下, 加速度计应设为3200 Hz ODR, 以便匹配冲击中断功能的采样。图8显示设置为不同预触发样本长度时, FIFO中存储的样本。

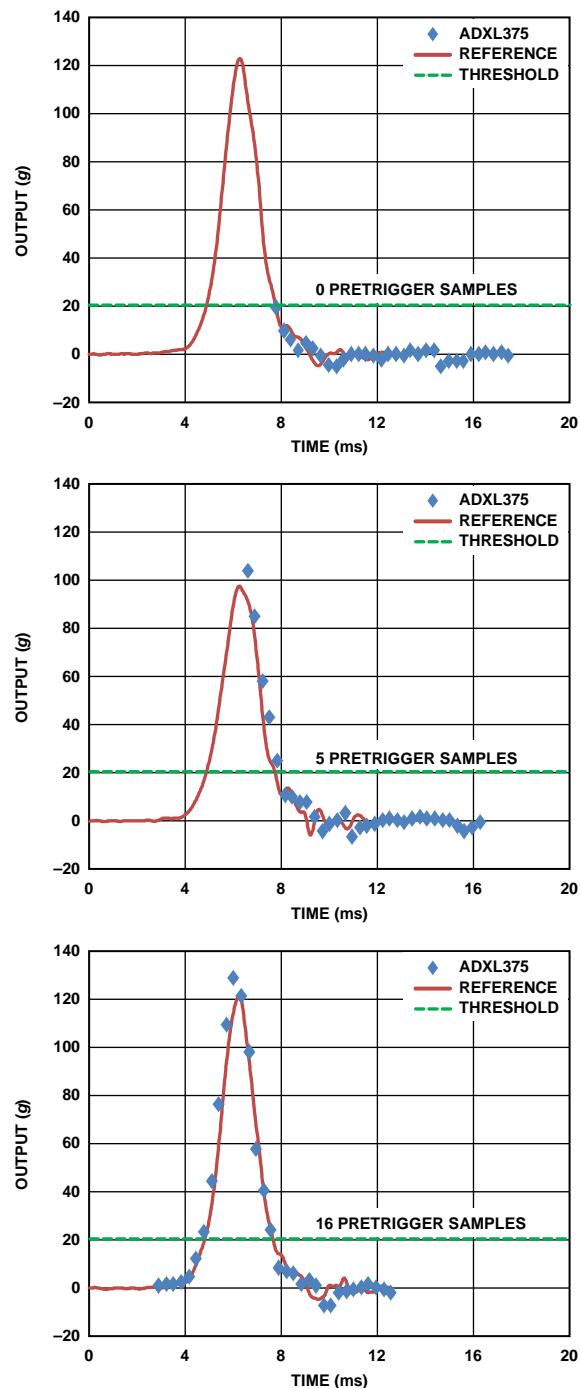


图8. 使用已触发FIFO模式捕获冲击特性

整个过程无需主机处理器干预(读取FIFO内容除外)。若FIFO未工作在已触发模式下, 则主机处理器将以3200 Hz频率不断轮询加速度计, 并分析结果, 以捕获瞬态事件。ADXL375让处理器大部分时间处于低功耗状态从而大幅降低功耗, 尤其是冲击事件非常罕见(发生周期为数月或数年)的应用中。

评估软件

冲击监控功能亦可通过评估软件实现([EVAL-ADXL375Z-M](#))。用户可通过图形用户界面体验该项功能。

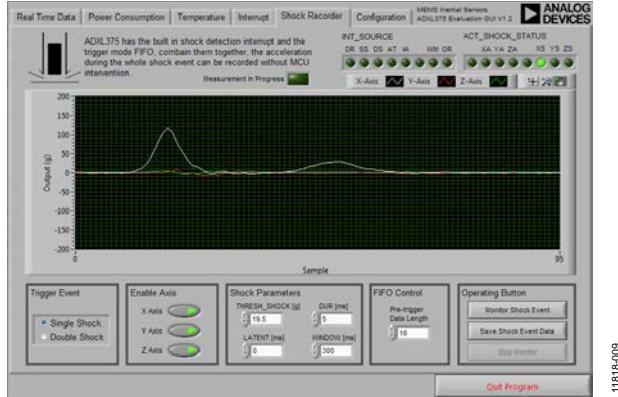


图9. [ADXL375](#)评估软件

示例代码

本节描述使能ADXL375内置冲击检测和数据捕获功能的步骤，用于自主冲击事件监控和记录。本节中的寄存器值可针对特定应用并根据系统机械特性进行微调，如下示例提供了很好的参考。

1. 将0x28写入寄存器0x1D；将冲击阈值设为31.2 g。
2. 将0x50写入寄存器0x21；将冲击持续时间设为50 ms。
3. 将0x20写入寄存器0x22；将延迟设为40 ms。

4. 将0xF0写入寄存器0x23；将冲击窗口设为300 ms。
5. 将0x07写入寄存器0x2A，使X、Y和Z轴参与冲击检测。
6. 将0x0F写入寄存器0x2C，将输出数据速率设置为3200 Hz。
7. 将0x40/0x20写入寄存器0x2E，分别使能单次冲击或双重冲击。
8. 将0x40/0x20写入寄存器0x2F，分别将单次冲击或双重冲击中断分配至INT2引脚。
9. 将0xEA写入寄存器0x38以使能已触发FIFO模式。若在INT2引脚上检测到中断，FIFO便会记录触发事件加速度，其中10个样本来自触发事件发生以前。
10. 将0x08写入寄存器0x2D以开始测量。建议最后配置POWER_CTL寄存器。

参考文献

De Silva, C. W. 2005. *Vibration and Shock Handbook*. CRC Press.

Fisher, Christopher J., Tomoaki Tsuzuki, and James Lee. 2009. "Utilization of the First In, First Out (FIFO) Buffers in Analog Devices, Inc., Digital Accelerometers. Application Note [AN-1025](#). Analog Devices, Inc.

Piersol, A. G. and T. L. Paez. 2009. *Harris' Shock and Vibration Handbook*, Sixth Edition. McGraw-Hill Professional.

注释

注释

I²C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。