

# 基于 MEMS 加速度计的地震触发器的设计<sup>\* 1</sup>

吴雄伟 陈志高 于来宝 吕 瀚

(中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室,武汉 430071))

**摘 要** 介绍基于 MEMS 加速度计的地震触发器的测量原理和软硬件设计。该设备可检测地面加速度峰值(PGA)和地面累积绝对速度(CAV),当检测值达到设定阈值时,对外发出报警。

**关键词** MEMS;地震触发器;强振动;PGA;CAV

**中图分类号**:TH762

**文献标识码**:A

## DESIGN OF SEISMIC TRIGGER BASED ON MEMS ACCELEROMETER

Wu Xiongwei, Chen Zhigao, Yu Laibao and Lü Han

(Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)

**Abstract** The measurement principle and software/hardware designs of a seismic trigger based on the MEMS accelerometer are introduced. This instrument can detect peak ground acceleration(PGA) and cumulative absolute velocity(CAV). If the test result exceeds the set threshold, the seismic switch will give alarm command.

**Key words**: Micro-Electro-Mechanical Systems(MEMS); seismic trigger; violent vibration; Peak Ground Acceleration(PGA); Cumulative Absolute Velocity(CAV)

## 1 引言

地震发生时,产生的强振动会使物体结构产生变形甚至断裂,这些破坏性的隐患可能在地震后引起次生灾害,导致更大的损失<sup>[1]</sup>。震后需对建筑体所经受的加速度峰值以及累计值(CAV)作出评估,若超出安全标准立即报警,以减少人员伤亡和财产损失。

MEMS 加速度拾振器由于体积较小、重量轻、功耗小等优点,集成化后一致性较好,性能优异<sup>[2]</sup>。本文主要讨论 MEMS 加速度计的地震触发器的设计方法,并分析实际应用过程中的难点和解决方法。

## 2 PGA 与 CAV 的检测原理

### 2.1 PGA 的检测方法

地震到来时,造成破坏的地震波主要是横波,其一般为 1 Hz 至几十 Hz,在地震信号检测时必须滤

除高频干扰信号。长短平均滤波法是一种非常有效的地震数据滤波法,具体计算方法为:设定仪器按照一定的频率连续采样,则一段时间内  $n$  个数据累加和平均值为:

$$\bar{M}_n = \sum_n a_n / n \quad (1)$$

式中,  $a_n$  为各点采样加速度值,  $\bar{M}_n$  为几个数据累加和平均值。

设定短时间仪器采集数据量为  $m$ ,同一时段内长时间仪器采集数据量为  $n$ ,则

$$A = \bar{M}_m / \bar{M}_n = \frac{\sum_n a_m / m}{\sum_n a_n / n} \quad (2)$$

式中,  $\bar{M}_m$  为短平均值,  $\bar{M}_n$  为长平均值,  $A$  为长短平均比值。由式(2)可知,选定合适的  $m$ 、 $n$  值,可有效地剔除干扰和低频振动噪声。设定均值比值结果为常数,则该常数即地震峰值报警阈值。

\* 收稿日期:2013-08-06

基金项目:中国地震局地震研究所所长重点基金(1366)

作者简介:吴雄伟,男,1981 年生,硕士,工程师,主要从事地震监测仪器的设计研发工作. E-mail:wugrand@163.com

## 2.2 CAV 的检测方法

为了对地震累计破坏性进行判别,在系统中引入 CAV 报警项。当加速度值超过 CAV 阈值时,对一段时间的数据进行累加,累加和超过报警设定阈值时,向外发送报警。根据强震的频率范围,每次累加时间按 1 s 进行累加计算<sup>[3]</sup>:

$$CAV = CAV_i + \sum_{1s}^N a(n) \tag{3}$$

式中, $a(n)$ 为  $N$  个连续采样数据。

## 3 地震触发器的系统电路

地震触发器的系统电路原理如图 1 所示, MEMS 加速度传感器将待测点三轴向的加速度值转化为电压值,传送到 A/D 转换器转化为数字信号进行处理计算,当计算结果超过设定阈值时,控制报警单元发出声光报警,地震事件数据同步存储在非易失性存储卡中,用于震后分析。

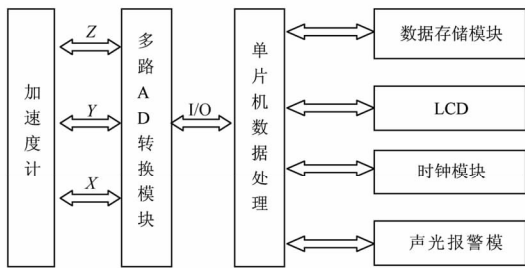


图 1 地震触发器的系统电路原理框图

Fig. 1 Circuit principle diagram of seismic trigger

系统选用 HAAM-326 型 MEMS 加速度计进行强振加速度检测, C8051F005 单片机作为数据采集系统的核心处理器, SD 卡存储记录数据, SD2405AP 时钟芯片记录振动事件时标。

地震动加速度的采集选用 HAAM-326A 型 MEMS 加速度计,同时检测三个正交方向上的加速度信号,量程为  $\pm 2\text{ g}$ <sup>[4]</sup>,响应频带可从 0 Hz 开始,最高响应频率为 200 Hz,涵盖了地震波频段,输出的电压为 0.4 V ~ 1.2 V,后端连接放大器 AD704 进行信号调整放大。

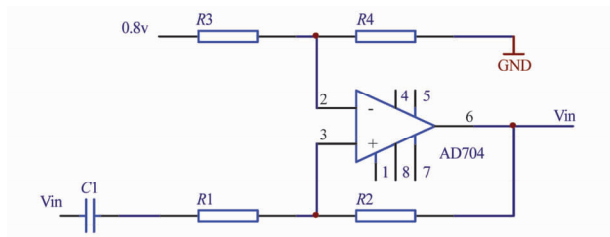


图 2 信号调理电路原理图

Fig. 2 Signals regulation circuit principle diagram

如图 2 所示,传感器输出的电压信号经过电容  $C1$  滤波,再输入到运放的同向输入端。精确选定两

个电阻  $R1$  与  $R2$  的阻值,令运放放大比为 25,使得电压信号放大后在  $\pm 10\text{ V}$  范围内变化,方便与 A/D 转换器连接。

AD7716 模块采集加速度计输出的电压信号。该模块具有数字滤波功能,是 22 位  $\Sigma$ - $\Delta$ AD 转换模块,转换电压范围为  $\pm 10\text{ V}$ ,单通道转换速度可到 800 Hz。

C8051F005 单片机作为数据采集系统的核心处理器;使用 SD 卡存储记录数据;为了记录振动事件发生的事件,在硬件中配置了 SD2405AP 型时钟日历芯片,系统使用电池供电。

## 4 地震触发器的系统软件设计

地震触发器的系统软件主要对 A/D 转换器传送的数据进行计算,通过长短平均法判别地震事件并显示加速度峰值,存储地震事件;同时完成绝对累积速度值的计算,当计算结果超过阈值时,发送报警<sup>[5]</sup>,报警流程如图 3 所示。

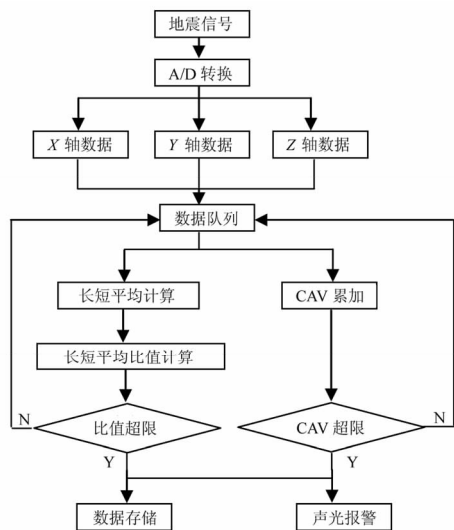


图 3 系统软件流程框图

Fig. 3 Flow chart of system software

当采样长短平均值小于设定阈值,则判断振动事件结束。为了完整记录一次地震事件,在处理器内部数据存储区域建立 FIFO 队列,实时暂存 5 秒以内的采样数据,若触发了一次地震事件,立即存储队列数据,并持续记录至地震事件结束。

## 5 系统测试

系统测试主要是对地震触发器的频响、灵敏度以及仪器的可靠性进行检测。仪器装配完成后,随机抽样其中三台进行振动测试,并通过标准传感器进行对比记录,记录结果显示,在 1 ~ 33 Hz 的频段内响应平坦;能有效记录 0.01 g 以上的强振动加速度值,并实时报警。

(下转第 99 页)