

# 数据采集(DAQ)基础

基于PC进行进行测量的基础知识

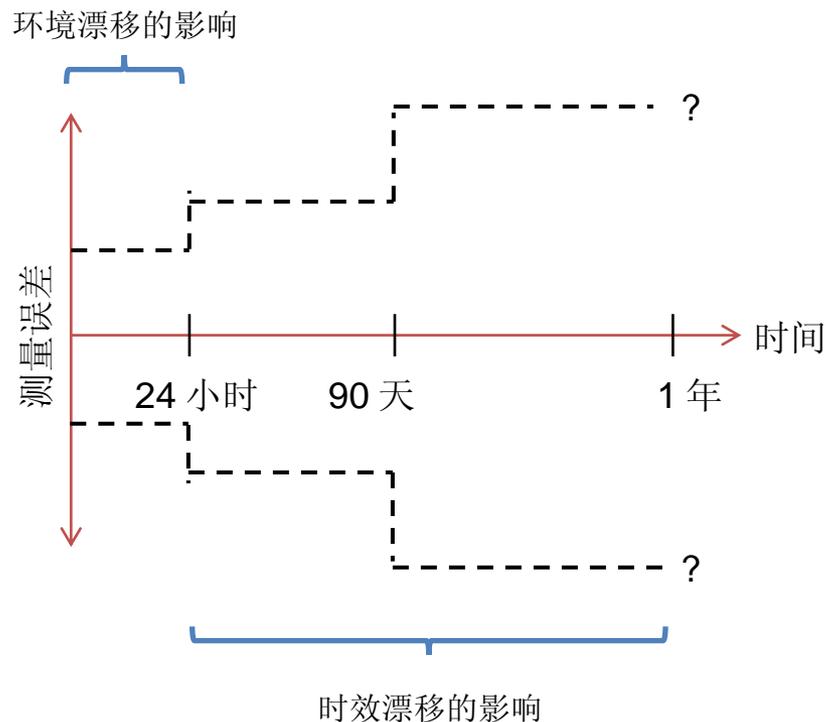
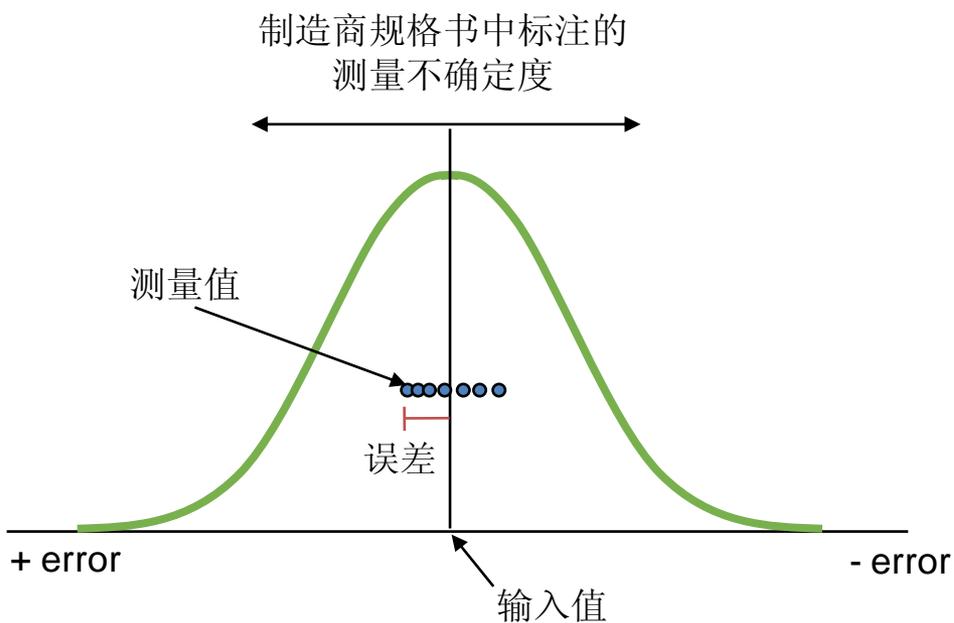
# 什么是数据采集(DAQ)?

数据采集是使用计算机测量电压、电流、温度、压力或声音等电子、物理现象的过程。

与传统的测量系统相比，基于PC的DAQ系统利用行业标准计算机的处理、生产、显示和连通能力，提供更强大、灵活且具有成本效益的测量解决方案。

# 严格来说所有测量都是不准确的

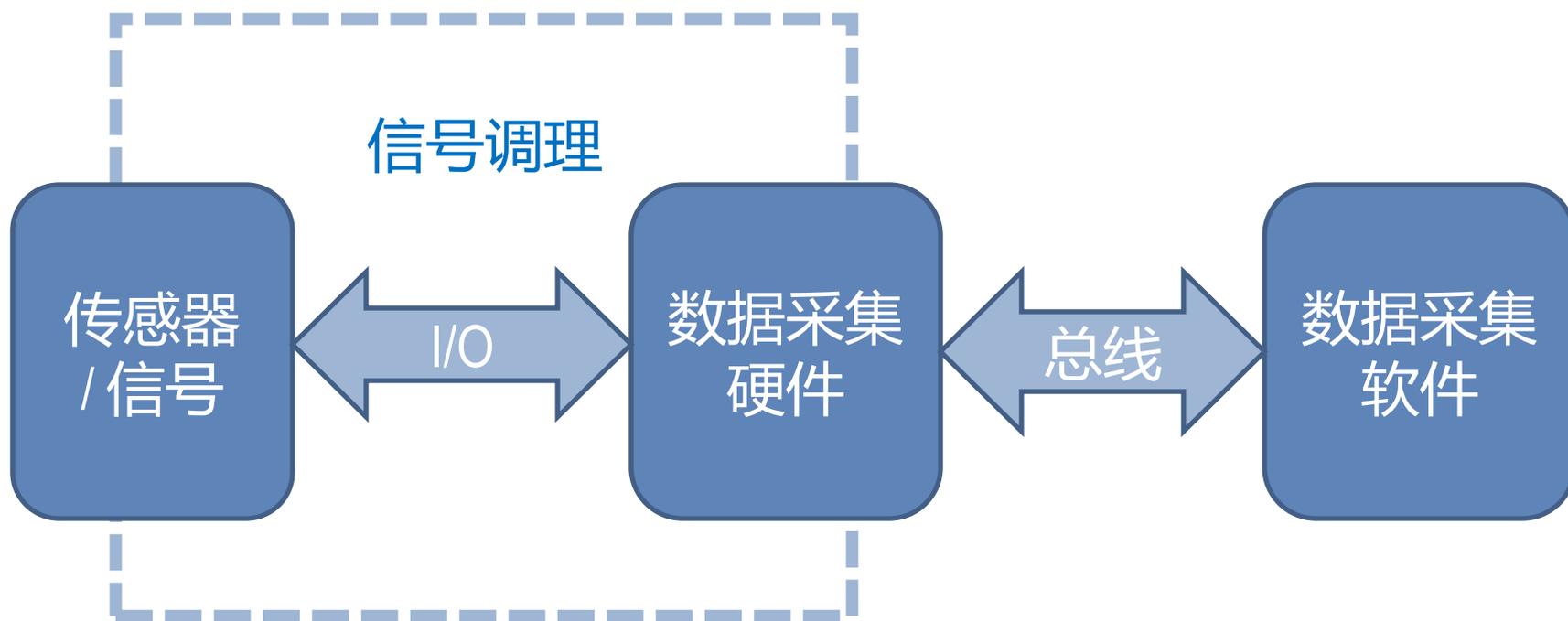
电子元器件随着时间会发生漂移，所以需要校准



# 数据采集的概念及应用

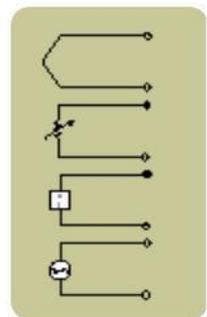
- 数据采集 (Data Acquisition, 简称DAQ)
  - 自动从布置于工厂、实验室、或现场的传感器、仪器、设备等收集获取数据的过程
  - 狭义的数据采集主要是模拟输入(AI)，其目的是为了测量某种电信号或物理信号，如电压、电流、温度、压力、加速度、声强等
  - 广义的数据采集还包括模拟输出、数字I/O等
    - 例如，目前市面上的多功能数据采集设备通常包括模拟输入、模拟输出、数字I/O、计数器/定时器等功能，如NI的M系列多功能DAQ卡
    - 现在一些传感器/变送器已经集成了A/D转换功能，直接通过数字接口读取数据，从而不需要模拟输入采集
  - 数据采集的应用十分广泛，几乎涵盖所有工程专业和科学研究方向
    - 电子、电气、机械、车辆工程、海洋工程、环境、化工、生物医学、土木工程、能源电力、高能物理...

# 数据采集系统概述



# 典型的数据采集系统硬件架构

数据采集硬件可以将PC变为一个自动化系统



传感器

- 任意类型



信号连接

- 直接连接
- 或通过接线端



DAQ设备

- PCI/PXI
- PCIe/PXle
- USB
- Ethernet



PC

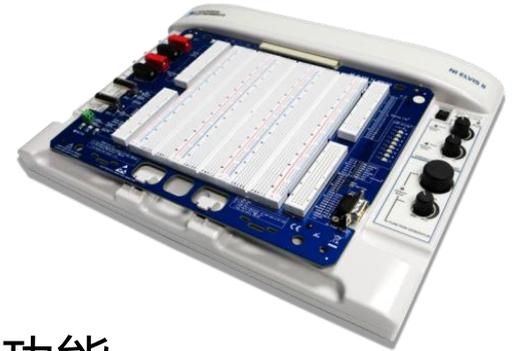
- Windows
- Linux
- Mac

# 部分常用的数据采集设备类型

- 实验室、工业环境使用
  - 基于PCI/PXI接口
  - 往往需要外接端子和线缆
- 便携式/远距离
  - USB, Ethernet接口
- 教学实验与学生课外练习
  - 如ELVIS、myDAQ
  - 除了数据采集硬件电路之外还集成了其他一些功能，如数字万用表、可编程电源等



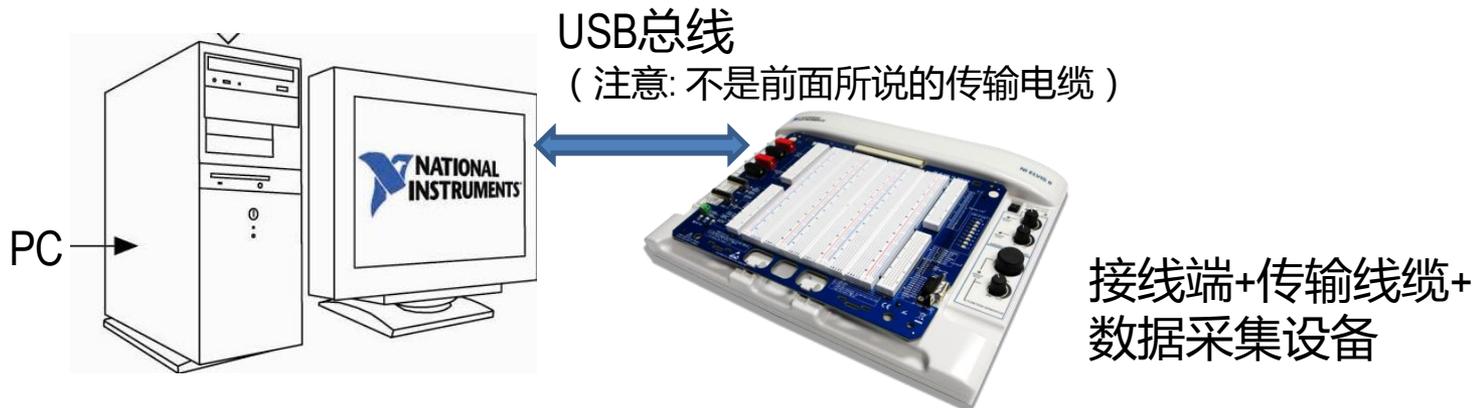
# 举例: 用于教学实验的NI ELVIS



- 一种集成了12种仪器的教学实验设备
  - 安装NI-ELVIS驱动后可通过ELVIS软面板实现这些功能

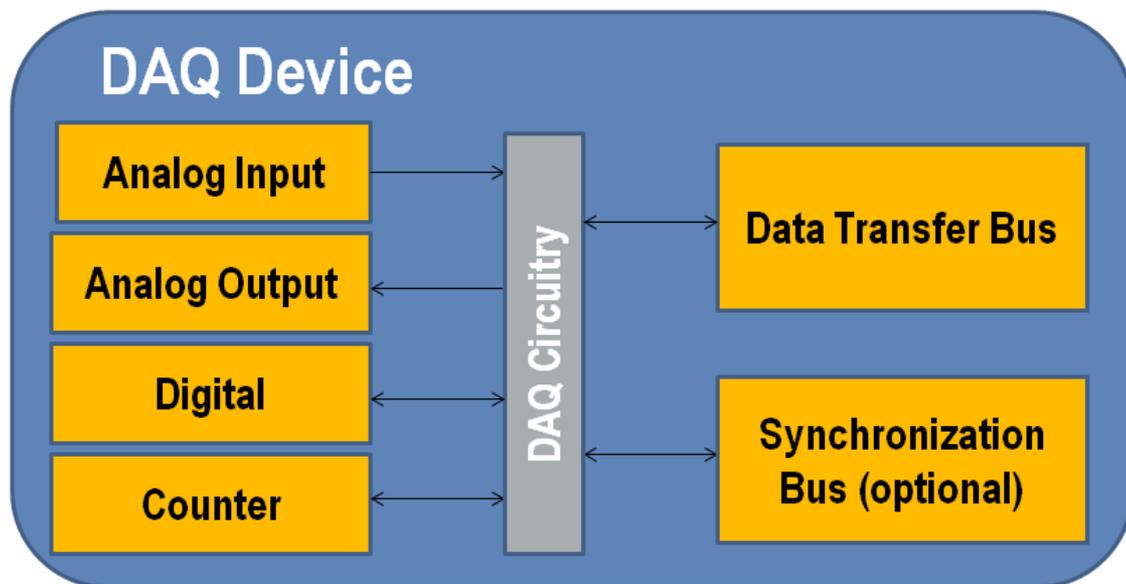


- 同时也可看做是一种基于USB总线的多功能数据采集设备
  - 用于学习虚拟仪器（尤其是数据采集）的相关编程技术



# 数据采集设备的构成

- 数据传输总线
- 同步总线
- DAQ Circuitry
  - 时钟/定时电路
  - 板载FIFO
  - 信号路由
  - 内部校准电路
- 前端电路
  - 模拟输入/模拟输出/数字IO/计数器
  - 注意: 模拟输入可能通过复用器共用一个ADC, 模拟输出通常是每通道专用DAC



# 学生创新动手实践平台： NI myDAQ —— 随时随地实践工程创新

## 即插即用的8种仪器

数字万用表 \* 示波器 \* 函数发生器 \*  
波特图仪 \* 动态信号采集仪 \* 任意  
信号发生器 \* 数字输入 \* 数字输出

与计算机的接口  
LabVIEW中的  
NI DAQmx 或  
ELVISmx驱动

集成的数字万用表  
V, I,  $\Omega$ , Diode



USB总线供电

$\pm 15 V$  +5V  
电源输出

8通道  
数字输入输出

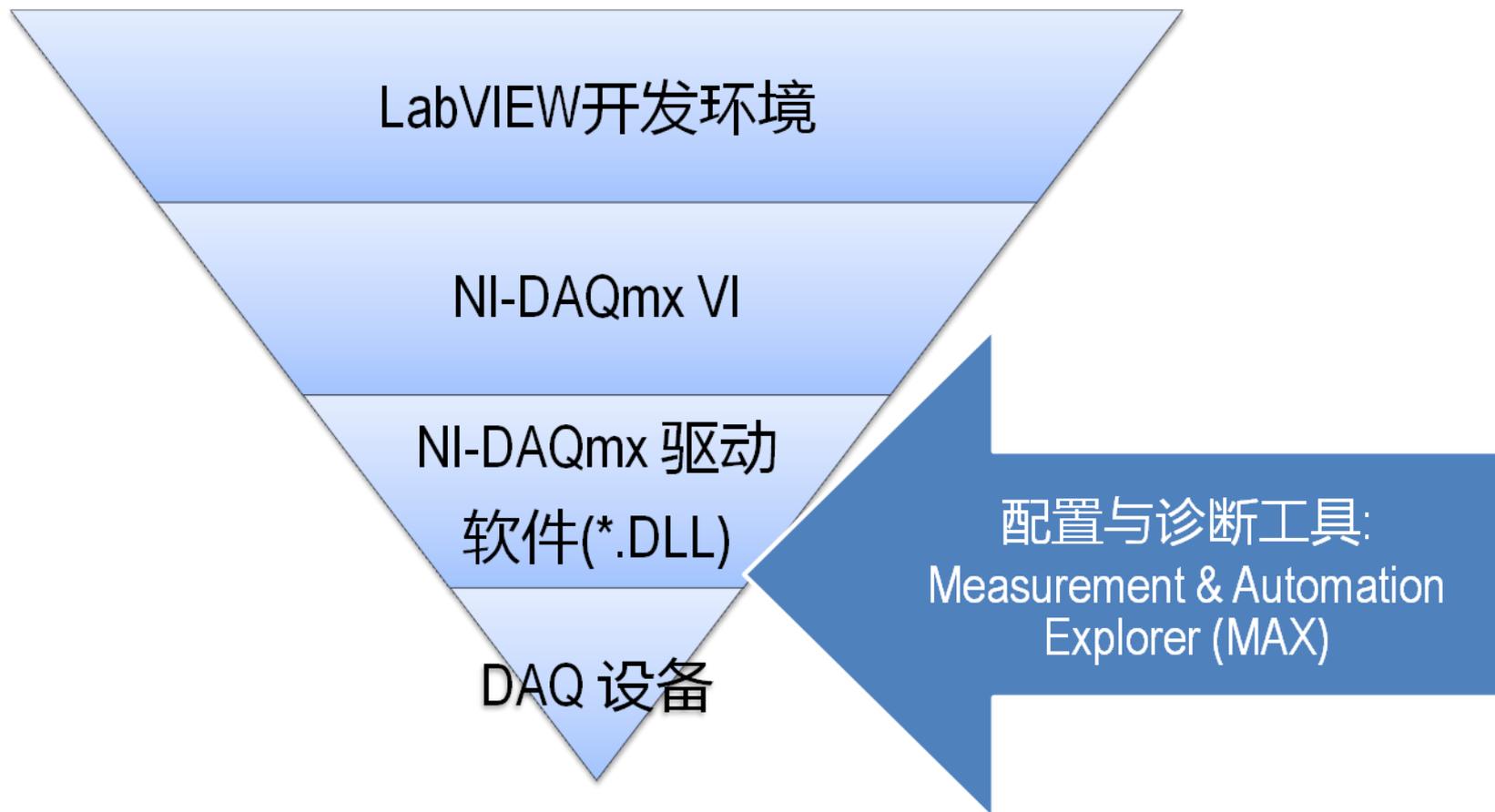
1个计数器

双通道差分模拟  
输入，双通道模  
拟输出，200ks/s

3.5mm  
音频输入与输出

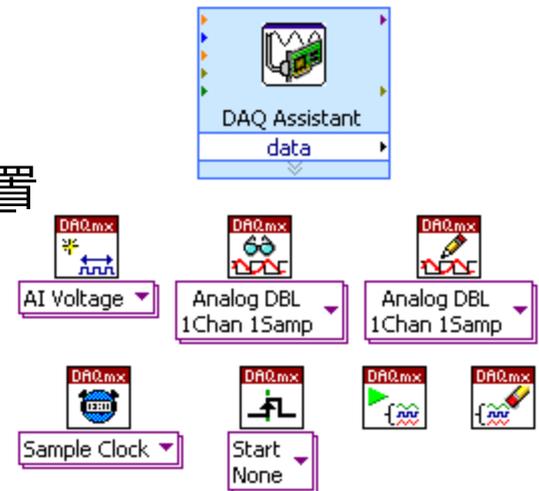
# 数据采集软件

以LabVIEW作为开发环境为例



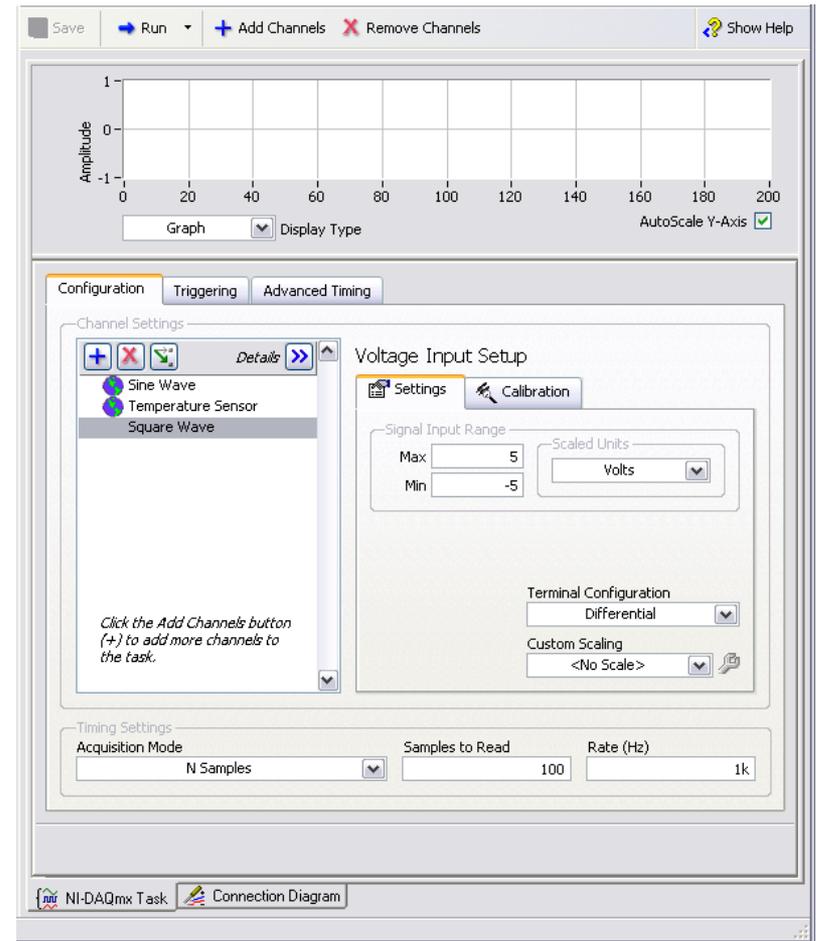
# NI数据采集软件方面的一些术语

- NI-DAQmx
  - 驱动层软件
  - 可以检测到数据采集硬件
  - 在LabVIEW中安装NI-DAQmx函数
- Measurement & Automation Explorer
  - 简称MAX，随NI-DAQmx或任何其他NI驱动软件安装
  - 配置或检测数据采集硬件
- DAQ Assistant (DAQ助手)
  - 用于开发数据采集应用的Express VI，基于配置
- DAQmx API
  - 一系列用于数据采集应用开发的API函数



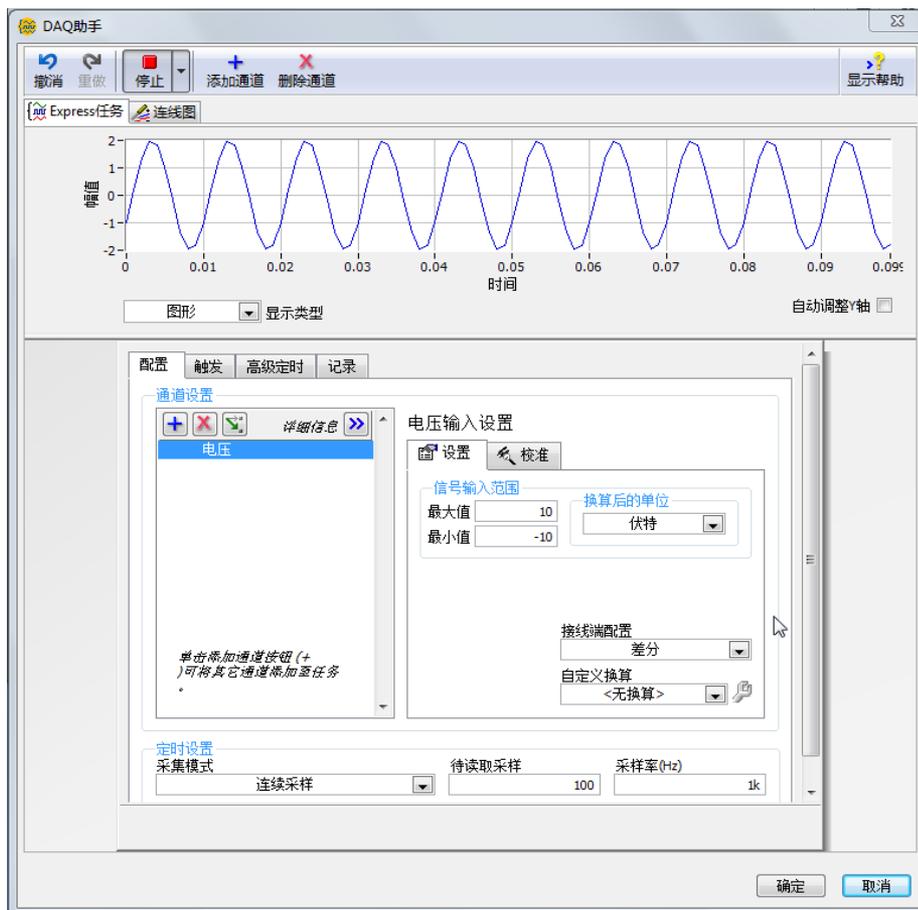
# 数据采集助手（LabVIEW基础培训内容）

- 两种调用方式
  - 在MAX中的“数据邻居”中创建任务
  - 通过LabVIEW中的Express VI
- 基于配置，无需编程
  - 在LabVIEW中可自动转化为调用NI-DAQmx底层API VI的程序，可自定义修改



# MAX 与 DAQ助手

- 该部分为LabVIEW基础培训内容，因此仅作为复习

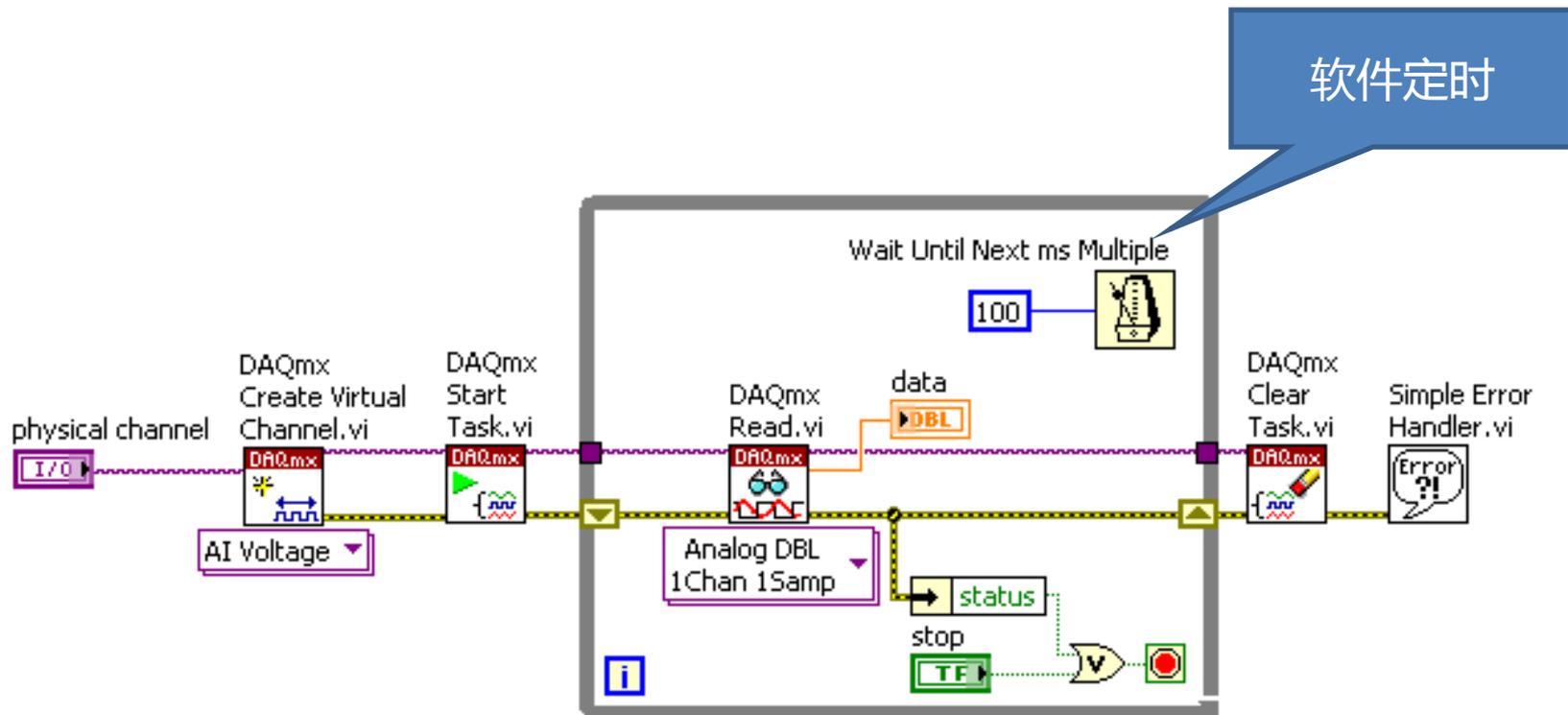


# 模拟输入 (Analog Input)

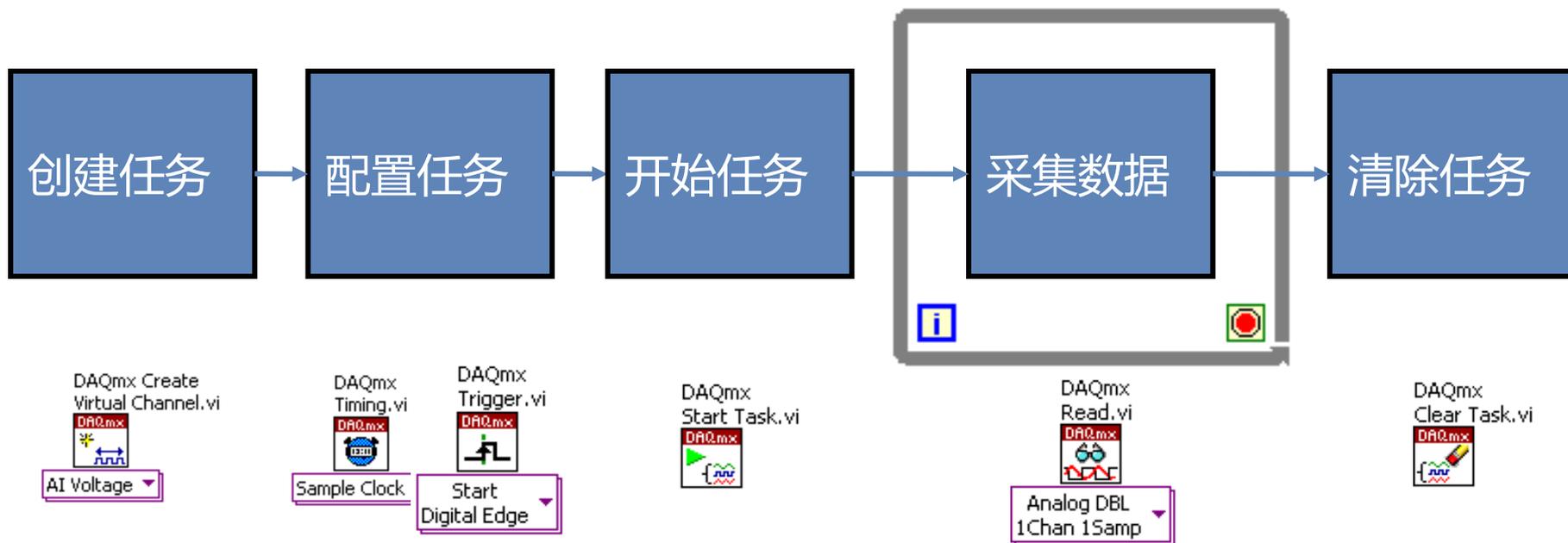
- 数据采集一词狭义即指模拟输入
  - 即通过A/D转换将模拟信号采样为数字信号，从而可被计算机设备进一步处理
- 常用于实现传感器信号的采集以及电信号的采集

# 一个最简单的模拟输入电压采集程序

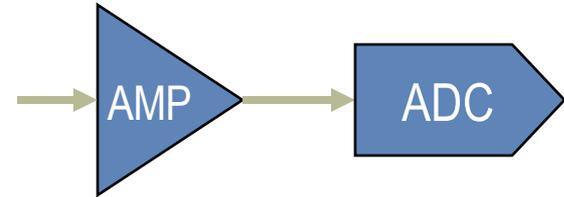
- 单点电压采集
- 分别用DAQ助手和DAQmx底层VI实现



# DAQmx数据采集程序的基本架构

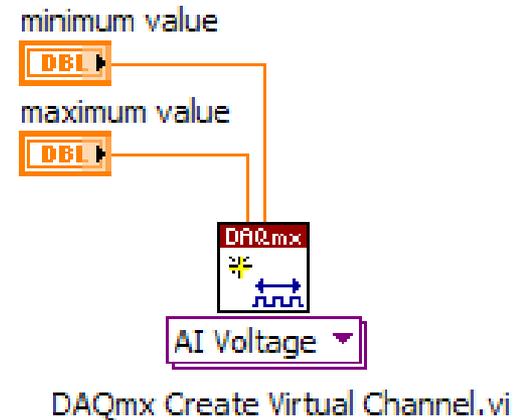
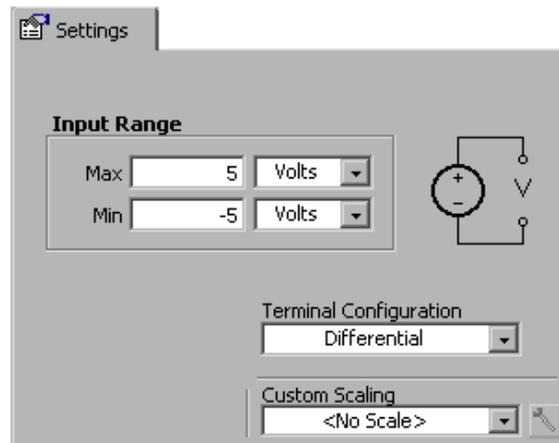


# 输入范围

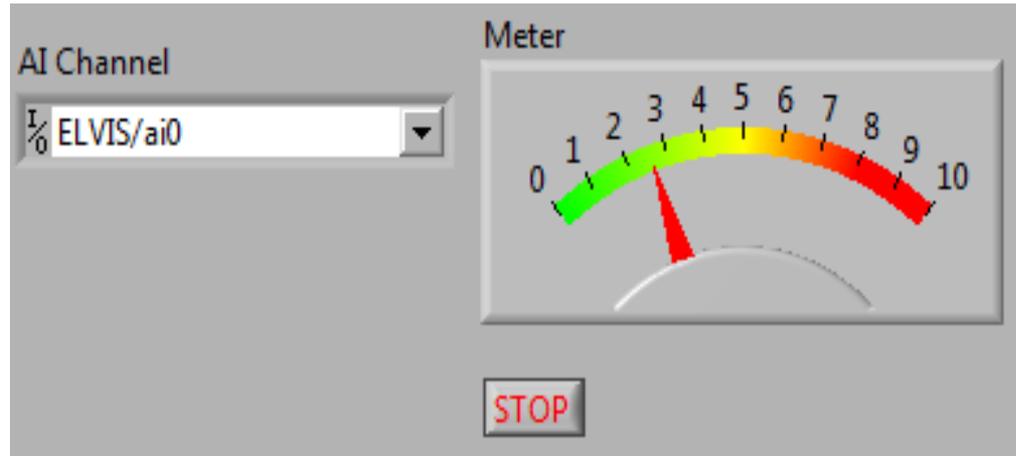


- 仪器放大器

- 为了尽量用满ADC位数，模拟采集通道配有仪器放大器
- 通过合理设置输入最大值和最小值参数，可以使DAQ设备自动配置最合适的仪器放大器增益，从而尽量用满ADC位数



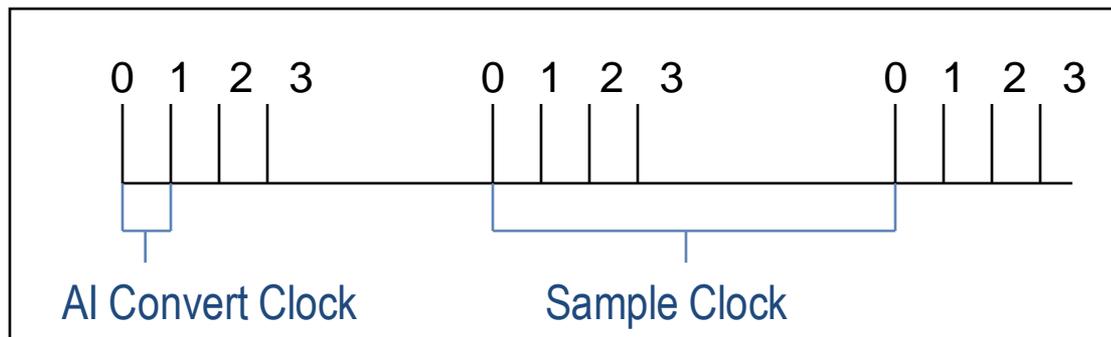
# Lab 3.1 软件定时的单点模拟采集



# 采样术语 (针对硬件定时)

- 采样率

- 单一通道每秒采样点数



- 采样时钟

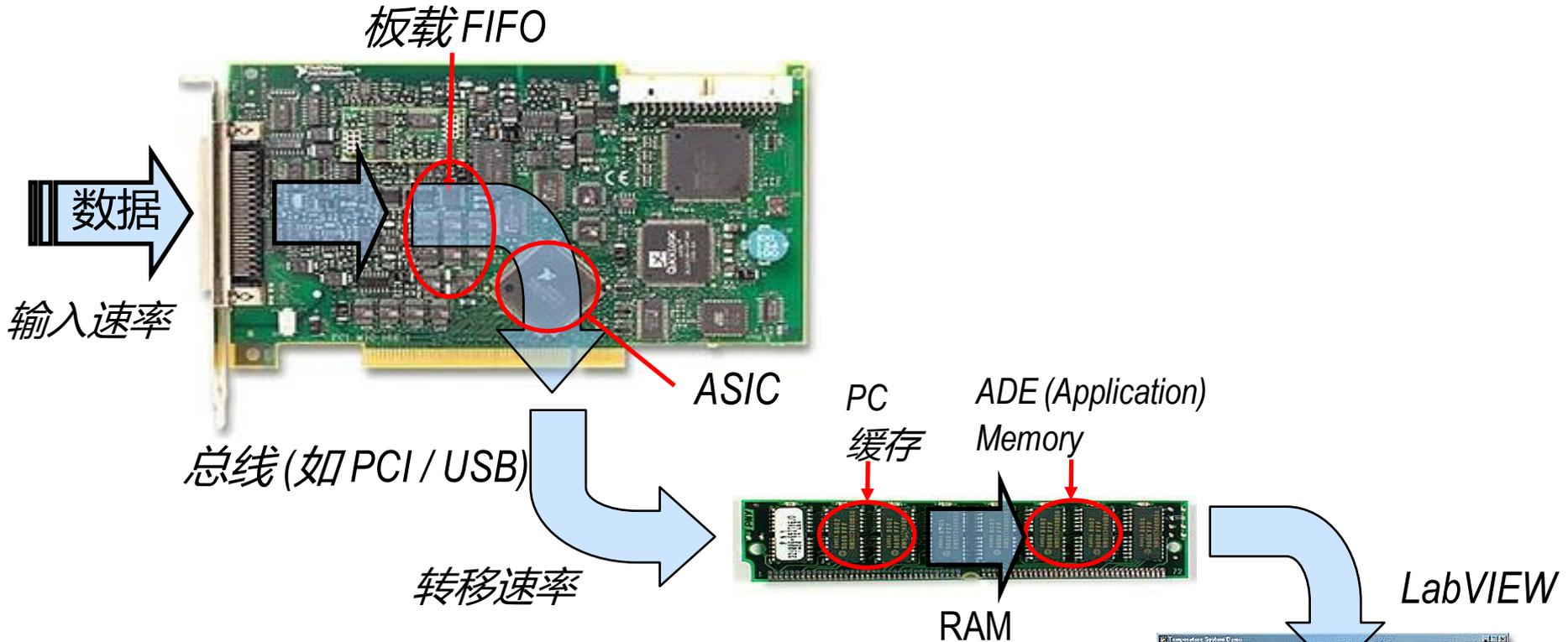
- 速率等于采样率

- AI转换时钟

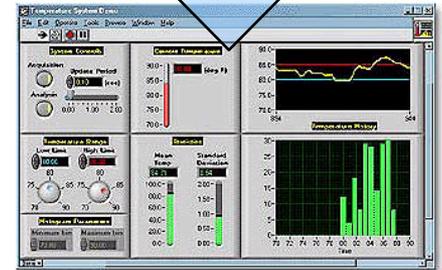
- 直接产生A/D转换的时钟
- 通道之间会有延时
- 同步采样架构相对多路复用采样架构来说，可认为通道之间的转换时钟是同步的

# 硬件定时的采集需要通过Buffer

- 有限点采集 (Finite) 和 连续采集 (Continuous)



- PC缓存必须够大 (至少需超过一次传递的数据量)
- 连续采集中, 如果要使两处缓存一直不溢出, 必须保证总线的数据转移速率大于数据的输入速率, 同时程序必须尽快读取PC缓存中的数据



# 有限点数据采集的LabVIEW程序

采样点数设置



Samples per Channel

132

sample mode

Finite Samples

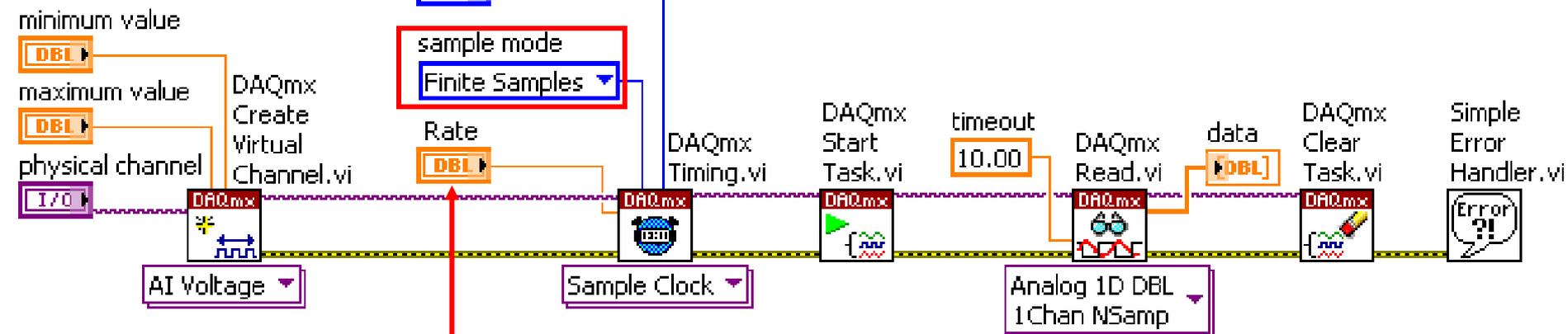
Rate

DBL

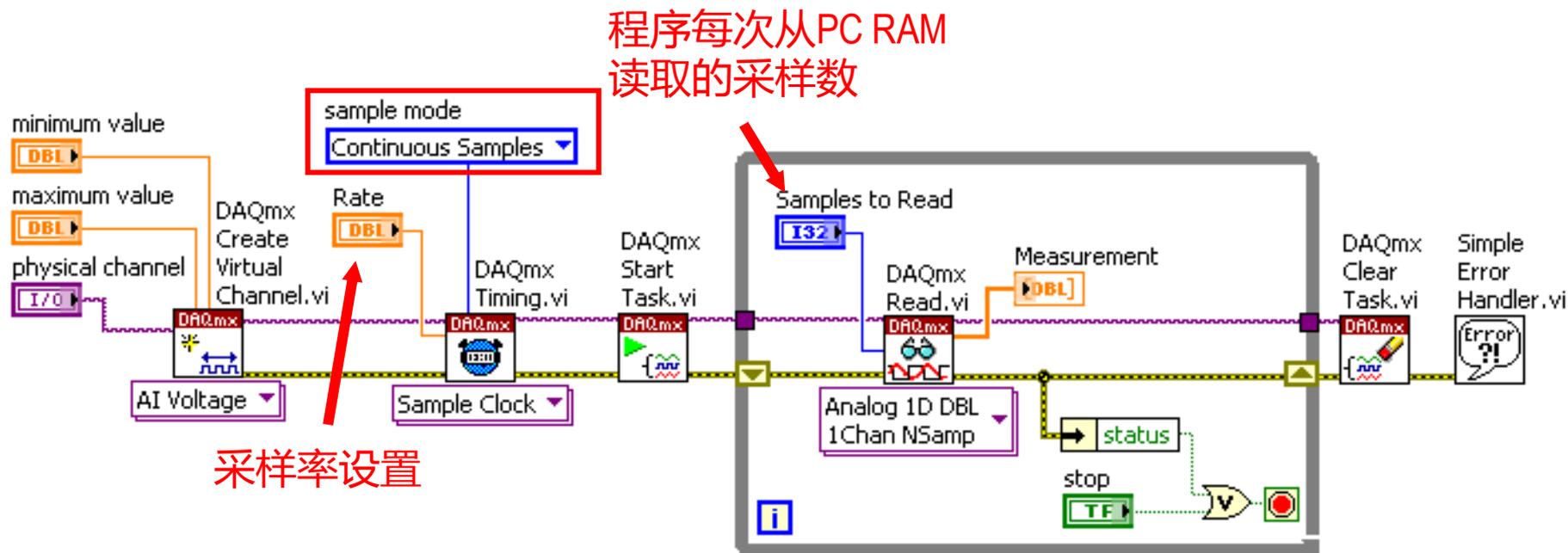
采样率设置



读取多个采样



# 连续数据采集的LabVIEW程序

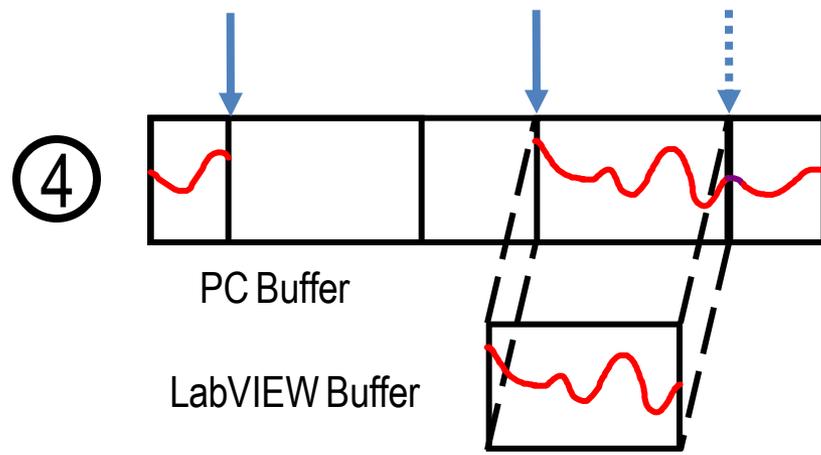
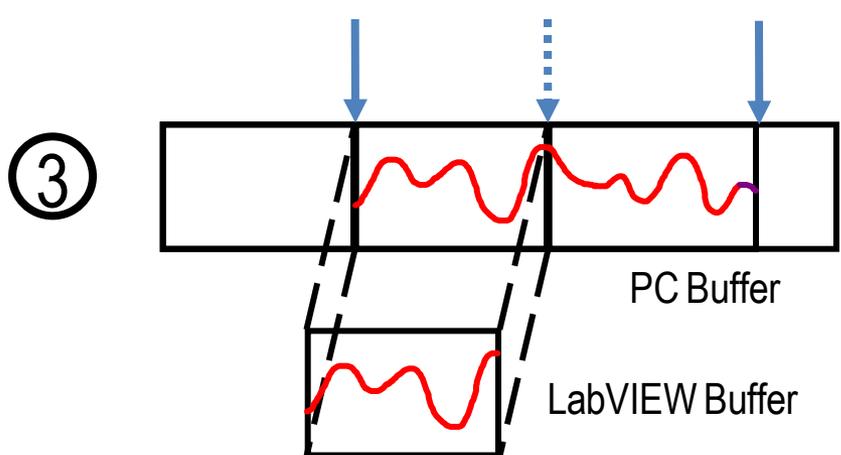
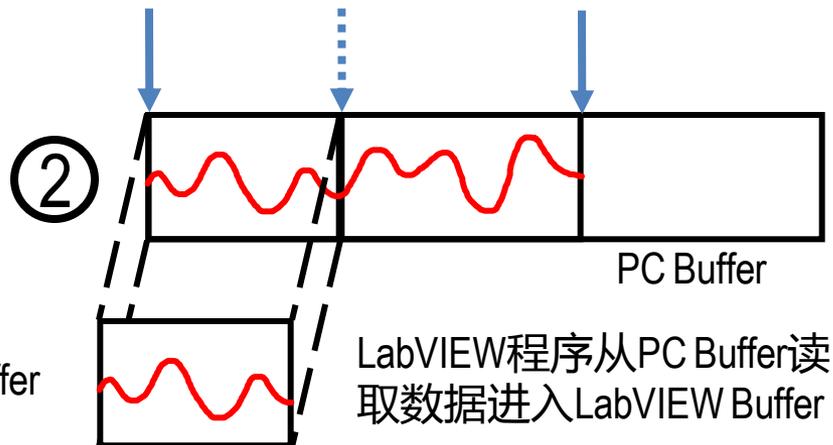
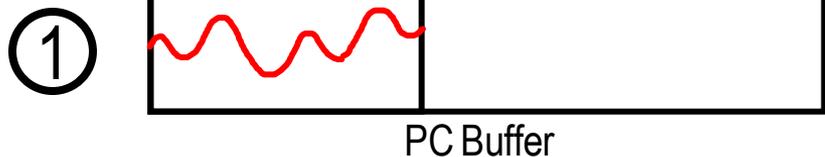


- 驱动会根据采样率设置自动选择合适的RAM Buffer大小

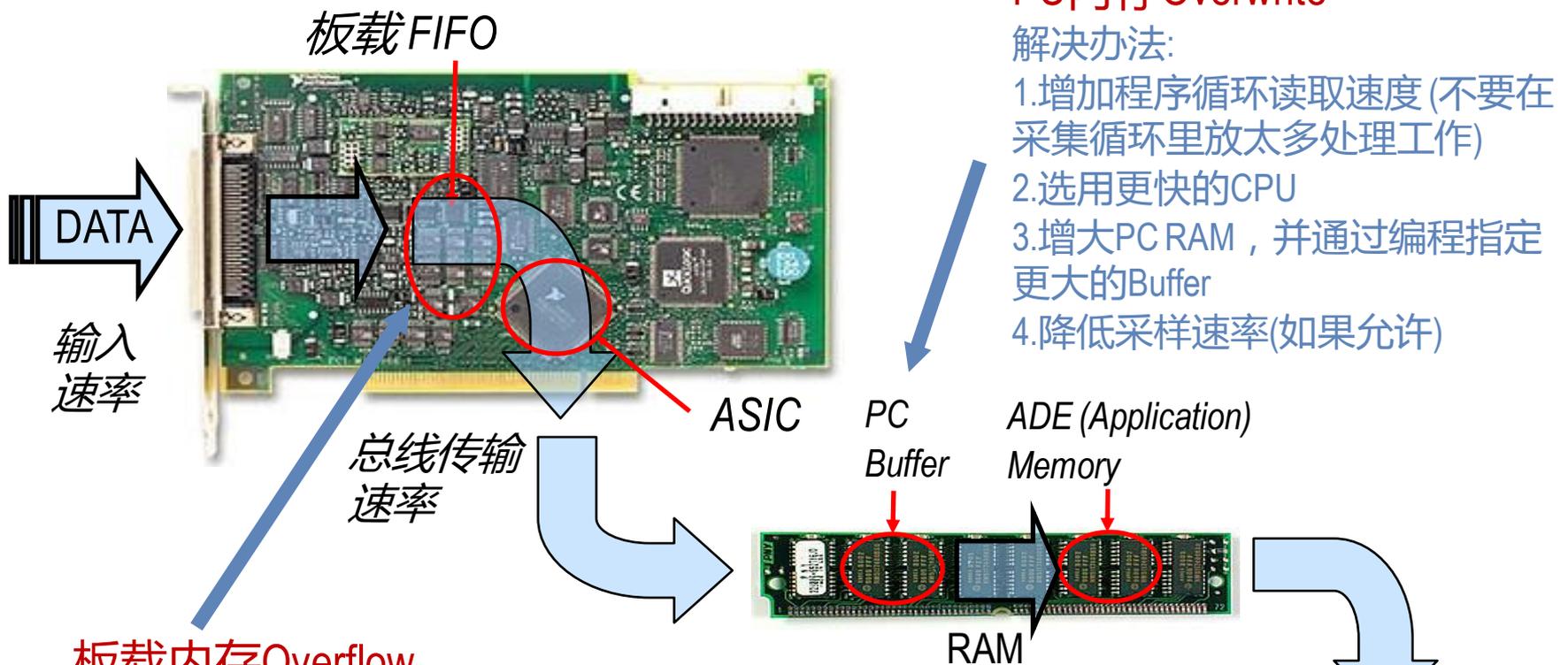
采样率	缓存
0-100 S/s	1 kS
100-10,000 S/s	10 kS
10,000-1,000,000 S/s	100 kS
> 1,000,000 S/s	1 MS

# 理解连续数据采集时PC Buffer

通过总线来自于采集设备的数据



# 连续采集时可能的数据传输异常



## PC内存Overwrite

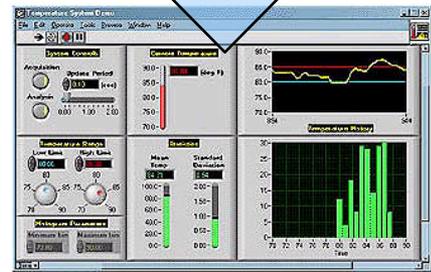
解决办法:

1. 增加程序循环读取速度 (不要在采集循环里放太多处理工作)
2. 选用更快的CPU
3. 增大PC RAM, 并通过编程指定更大的Buffer
4. 降低采样速率(如果允许)

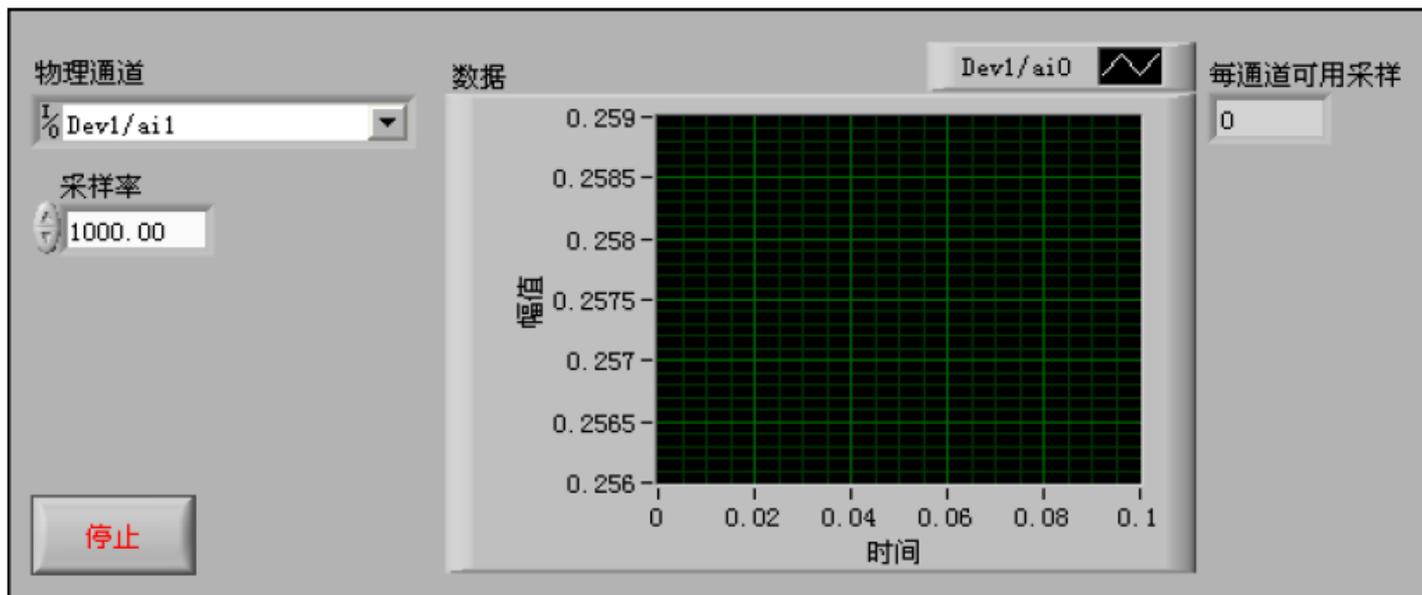
## 板载内存Overflow

解决办法:

1. 提高总线带宽
2. 选择板载FIFO较大的板卡
3. 降低采样速率(如果允许)



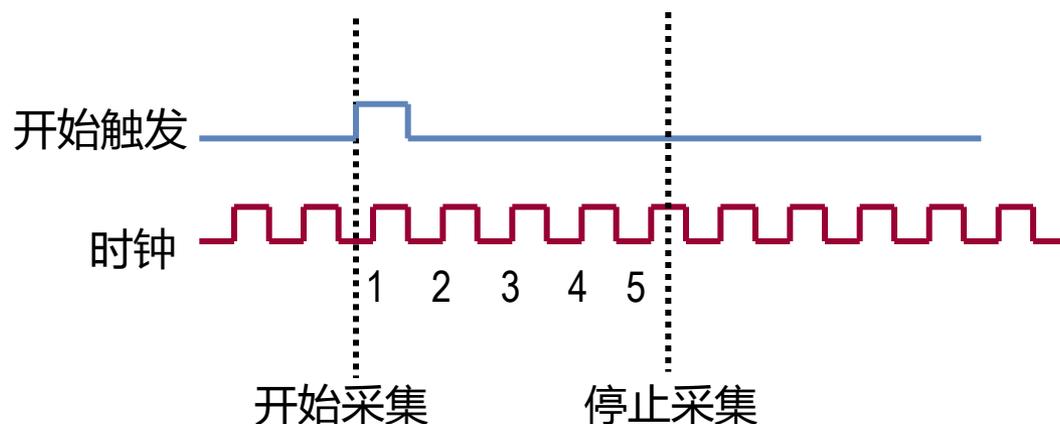
# Lab 3.2 连续信号采集



# 触发 (Trigger)

- 触发的概念

- 每个动作需要一个“激励”或“原因”
- 动作: 比如开始采集信号后产生波形输出

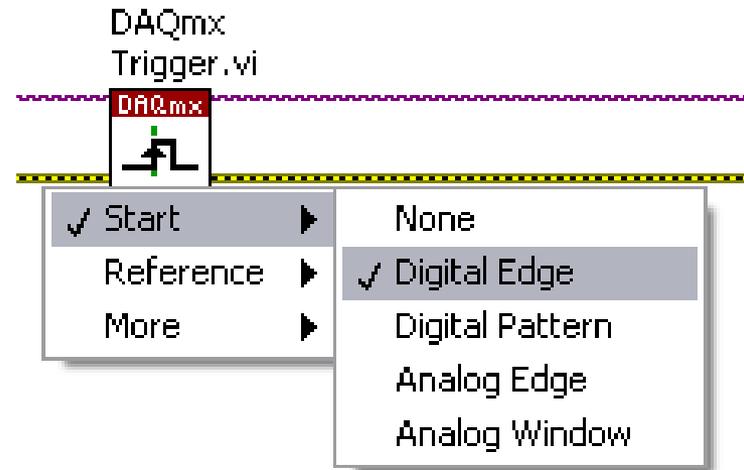


- 触发的分类

- 开始触发、参考触发、停止触发 (按动作结果来分)
- 模拟触发、数字触发 (依照触发“激励”信号来分)
- 不同的设备不一定支持所有触发方式, 可参阅相关手册

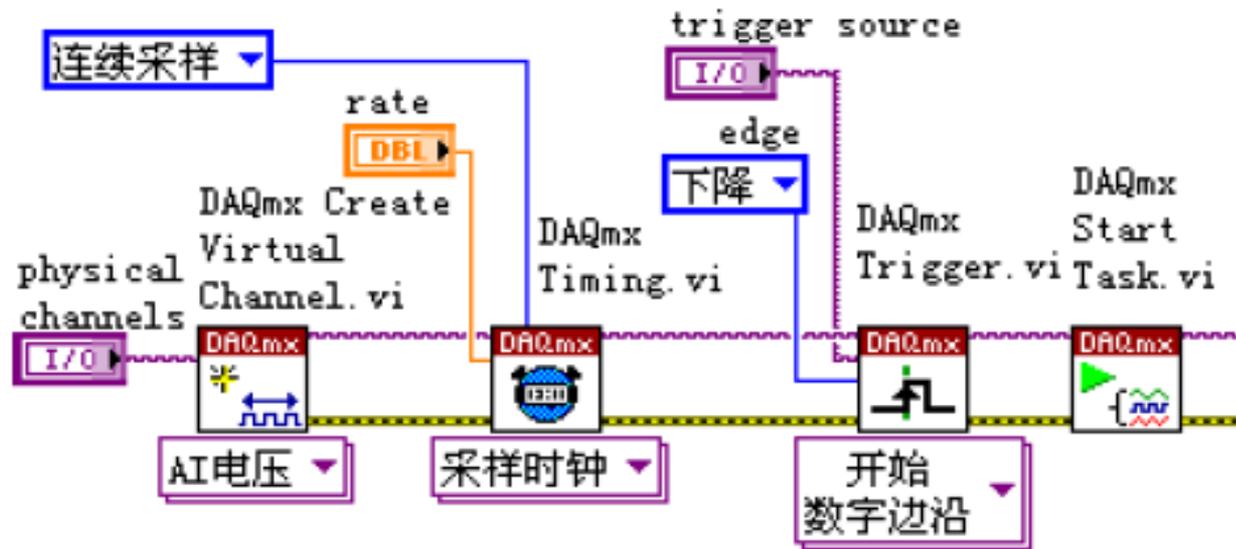
# LabVIEW中对触发的编程

- 在任务种增加DAQmx Trigger.vi并作相应配置

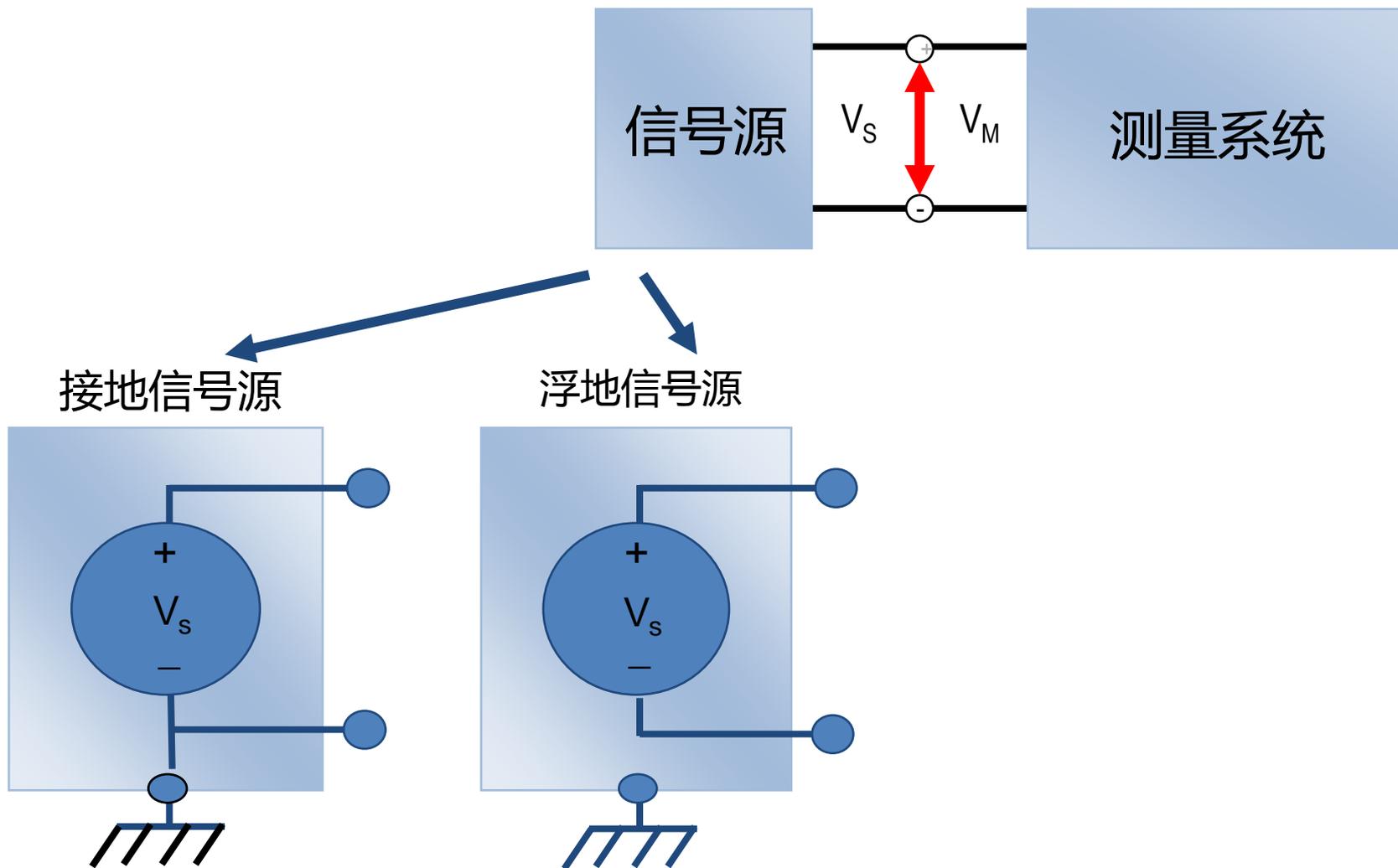


# Lab 3.3 带触发的连续信号采集\*

- \*仅支持ELVIS平台

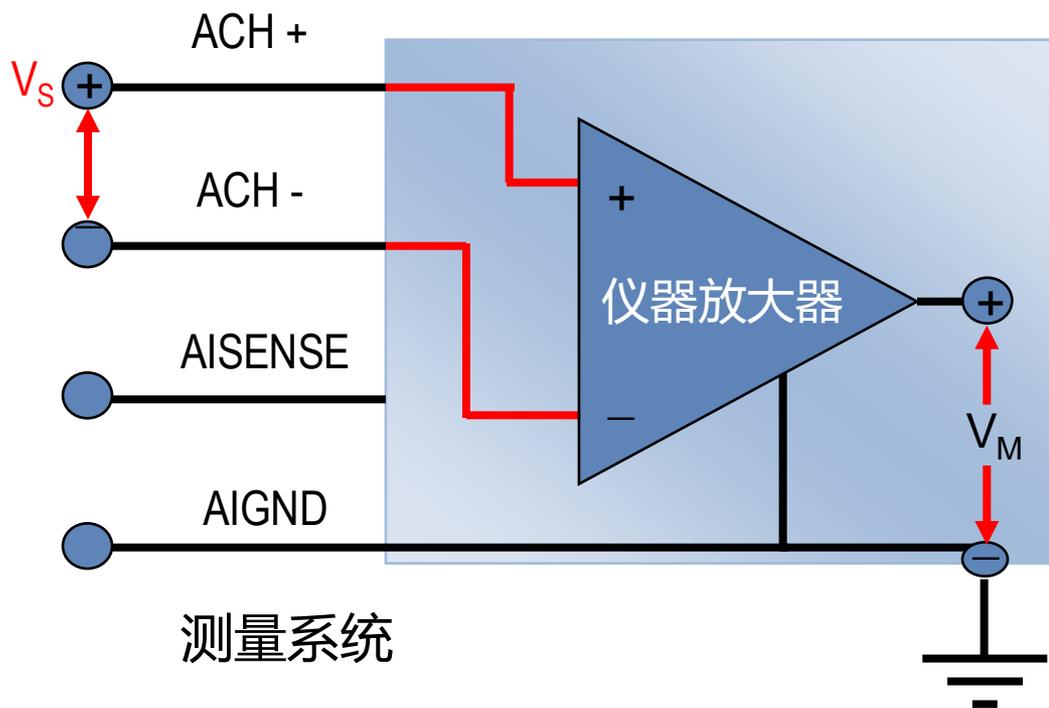


# 数据采集中的接地问题



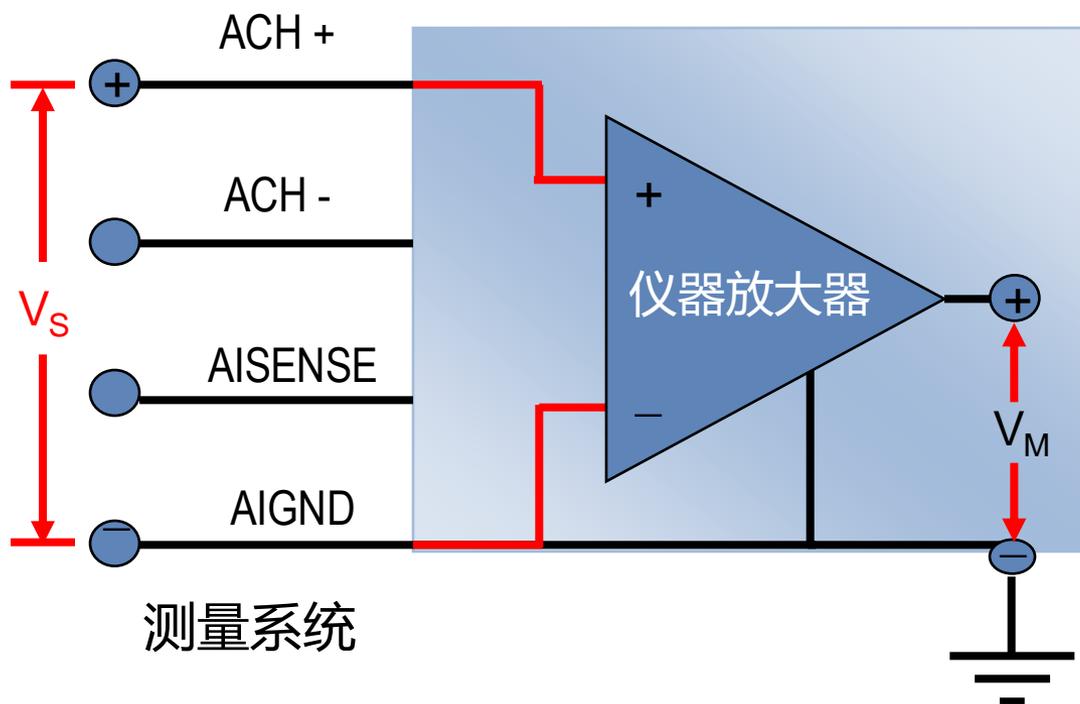
# 接线方式1：差分 (Differential)

- 可以抑制共模电压和共模噪声
- 我们此次培训中用到的主要是差分接线方式



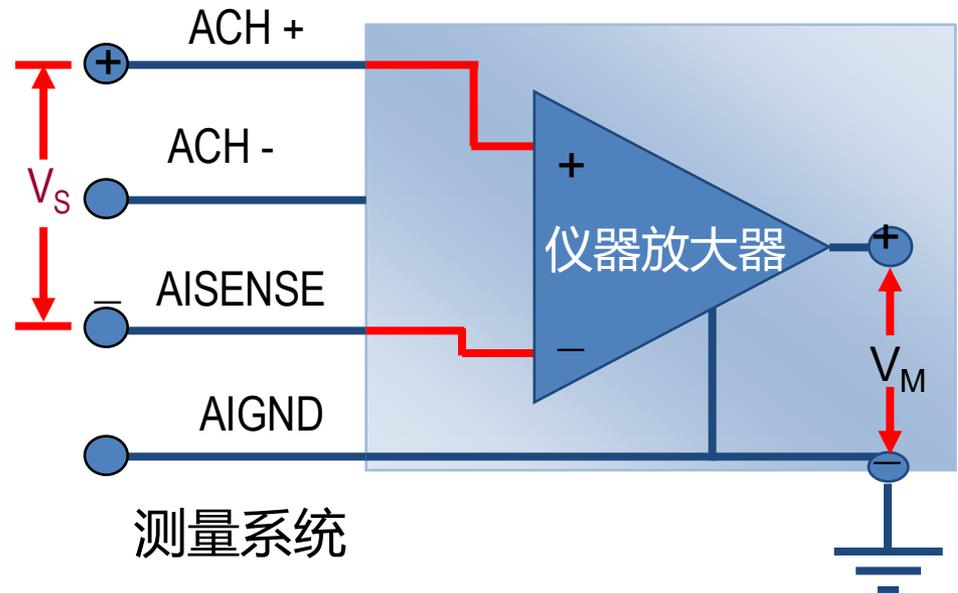
## 接线方式2：参考单端（RSE）

- 测量基于对地参考
- 不能抑制共模噪声

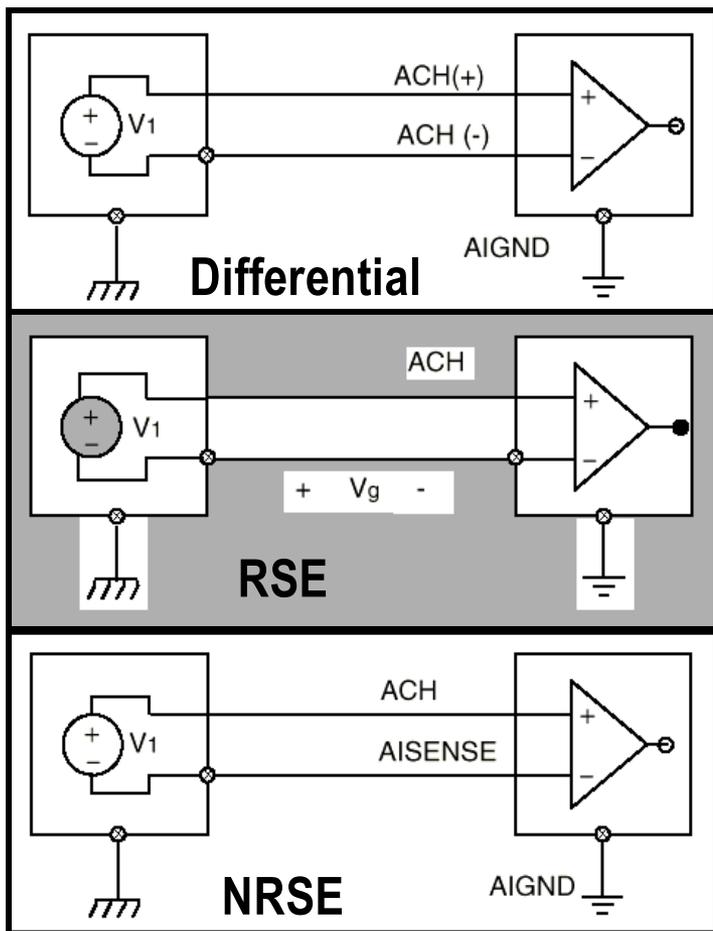
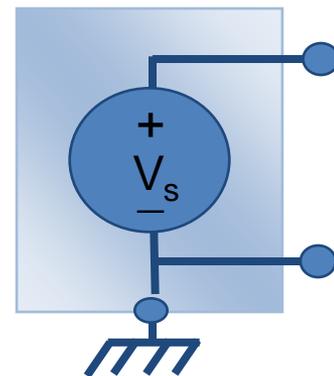


# 接线方式3：非参考单端 (NRSE)

- 测量基于对AISENSE端的参考
- 但是多个通道测量时，AISENSE是共用的
  - 不能抑制共模电压



# 对于接地信号源的测量



最好

- + 抑制共模电压
- 可用通道数减少一半

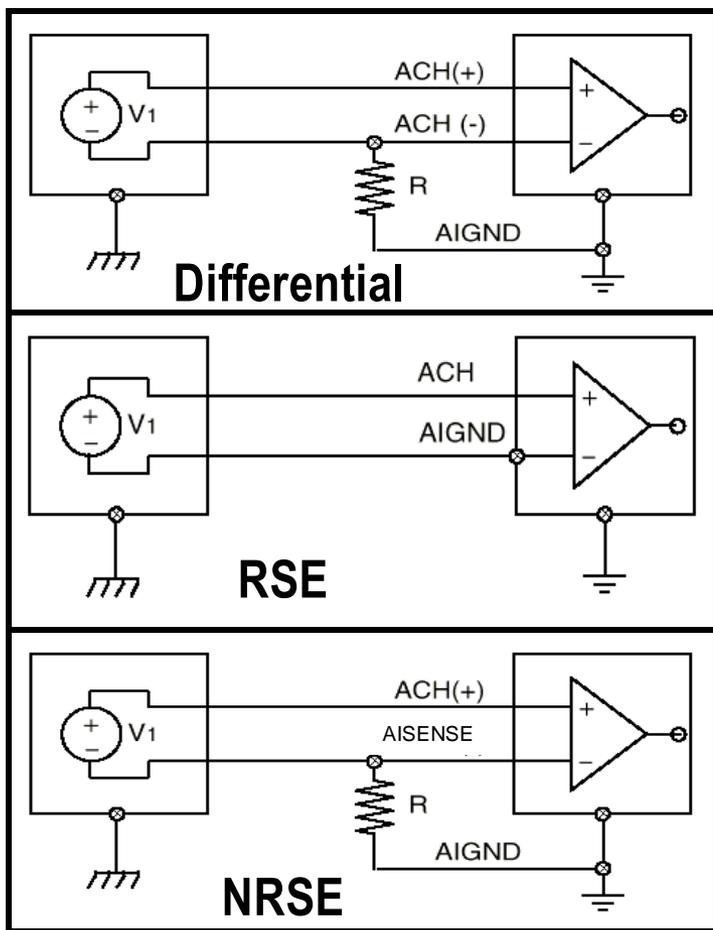
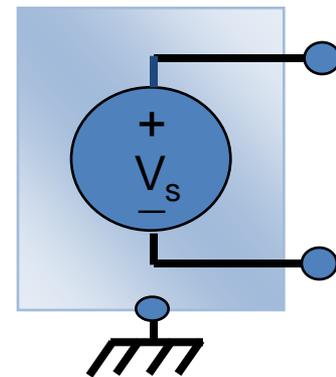
不推荐

- 两个地之间的电压  $V_g$  会产生接地回路, 所产生的电流有可能损坏设备

可以

- + 所有的通道都可以使用
- 不能抑制共模电压

# 对于浮地信号源的测量



最好

- + 抑制共模电压
- 可用通道数减少一半
- 需要偏置电阻

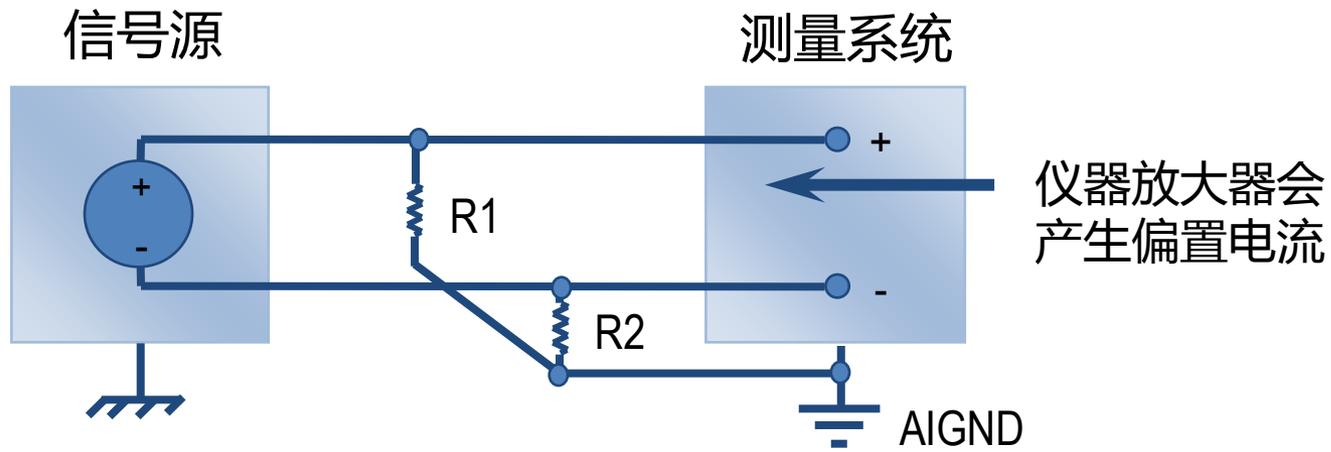
好

- + 所有的通道都可以使用
- + 不需要偏置电阻
- 不能抑制共模电压

可以

- + 所有的通道都可以使用
- 需要偏置电阻
- 不能抑制共模电压

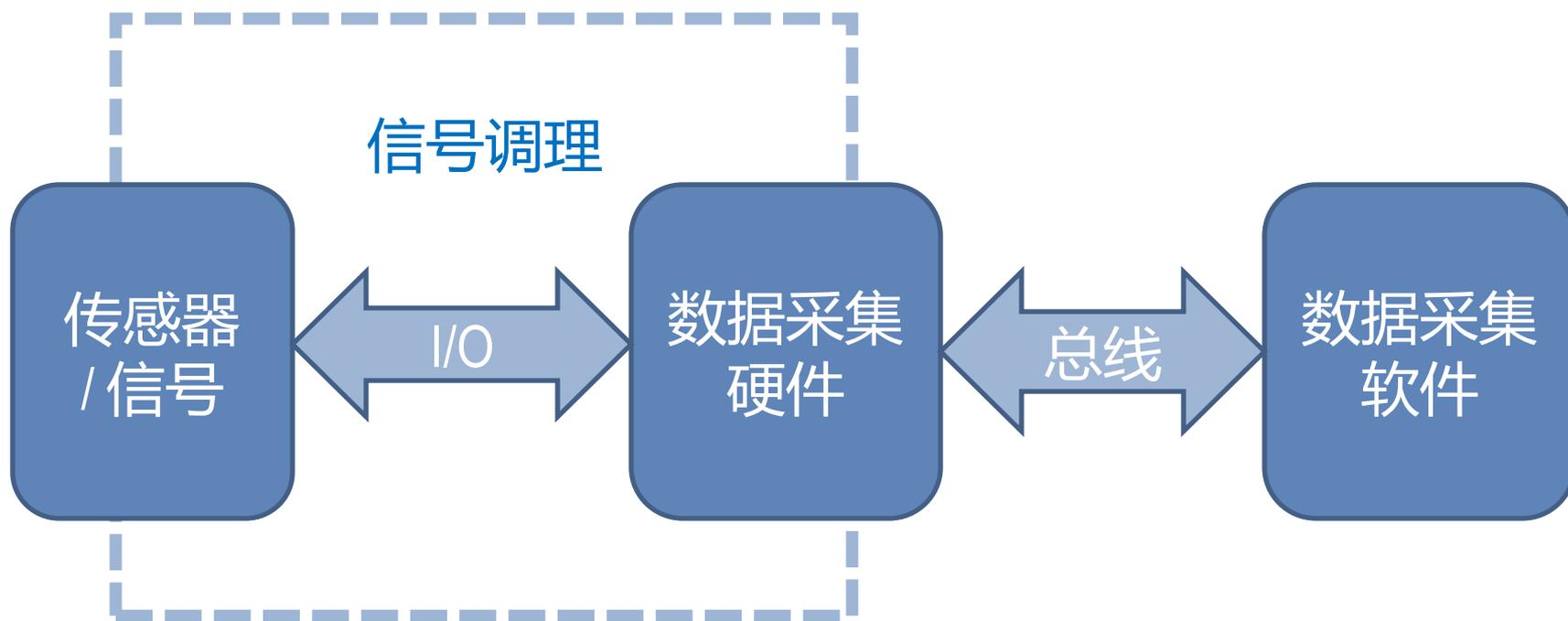
# 偏置电阻



- 浮地信号源采用差分或NRSE方式时需要
- 通过偏置电阻为偏置电流提供入地通道
  - 推荐值10 k $\Omega$  and 100 k $\Omega$

# 信号调理

- 为了正确（或更精确地）测量某些传感器的输出或信号，有时需要信号调理
- 不同的传感器需要不同的信号调理



# 信号调理设备

- 外置式
  - 如NI SCXI
  - 需要再连接数据采集设备
- 与数据采集设备相结合
  - 如NI CompactDAQ平台以及基于PXI Express的SC Express等
  - 模块中已经集成了数据采集（A/D转换）功能



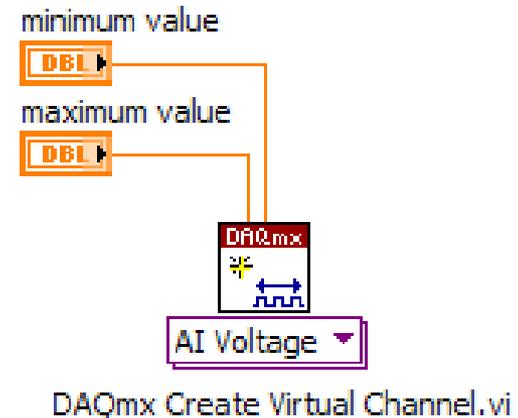
- 在软件方面，使用同样的DAQmx驱动
  - 正确配置系统和参数之后，用户编程时只需关心数据采集部分

# 针对电压信号测量的信号调理

- 放大
  - 针对小信号，为了尽可能用满ADC位数，提高信噪比（SNR）
- 衰减
  - 针对大信号，为了使测量信号范围在模拟输入通道范围之内
- 隔离
  - 通过电磁、光耦等方式使测量信号源与测量仪器没有直接电路相连
  - 可以抑制共模信号、解决接地回路问题、并保护仪器
- 滤波
  - 减小噪声、滤除干扰频率
  - 这里指的是前端硬件滤波，不同于后端数字滤波或软件滤波

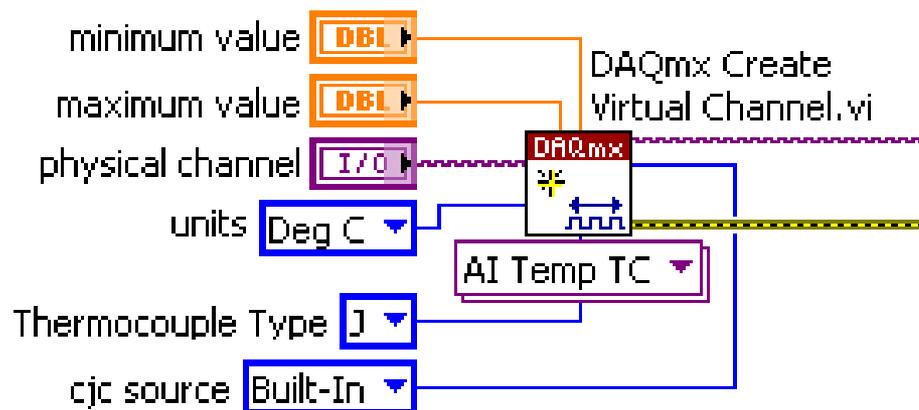
# LabVIEW中的电压信号调理设置

- 与普通的数据采集程序基本无异
  - 只需配置并选择相应的信号调理设备通道，并正确设置电压范围以便驱动自动设定合适的增益



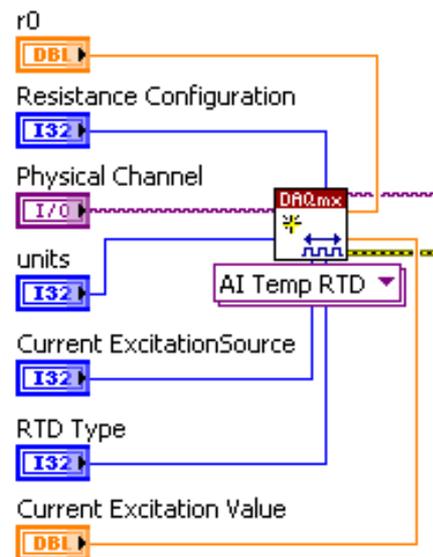
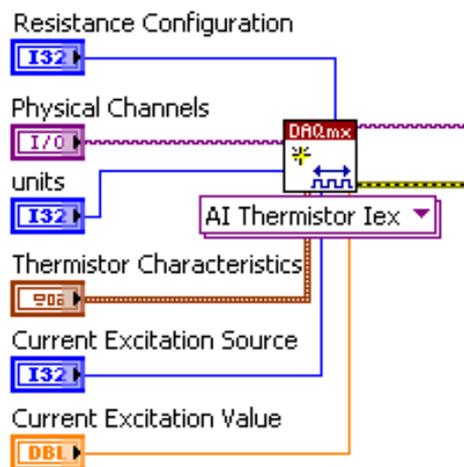
# 热电偶测量

- 热电偶信号调理模块
  - 自动冷端补偿功能: 许多热电偶信号调理模块带有直接读取传感器, 可以自动读取冷端补偿温度, 并自动对热电偶测量结果进行补偿计算
  - 热电偶模块通常还集成了滤波、放大、隔离等信号调理功能
- LabVIEW程序
  - 程序中只需在创建通道时做相应设置



# RTD与热敏电阻

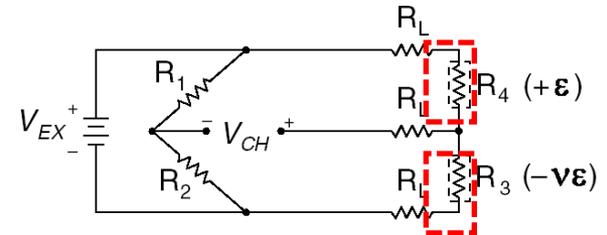
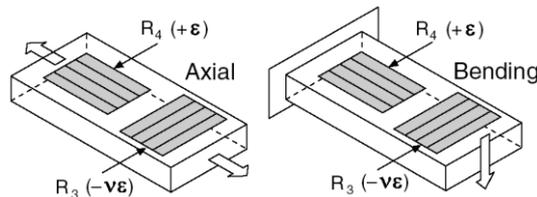
- 被动式的温度测量传感器
  - 需要来自外部源的电流或电压激励
  - 利用金属或金属氧化物的电阻与温度有关的原理
  - 测量时有不同的接线方式: 2-线、3-线、4-线
  - 除了激励之外对RTD与热敏电阻的信号调理还包括滤波和放大



# 应变测量电路

- 应变片接入惠斯通电桥的接法
  - 有1/4桥、半桥、全桥等不同方法
  - 具体参见 <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10636> 及相关资料

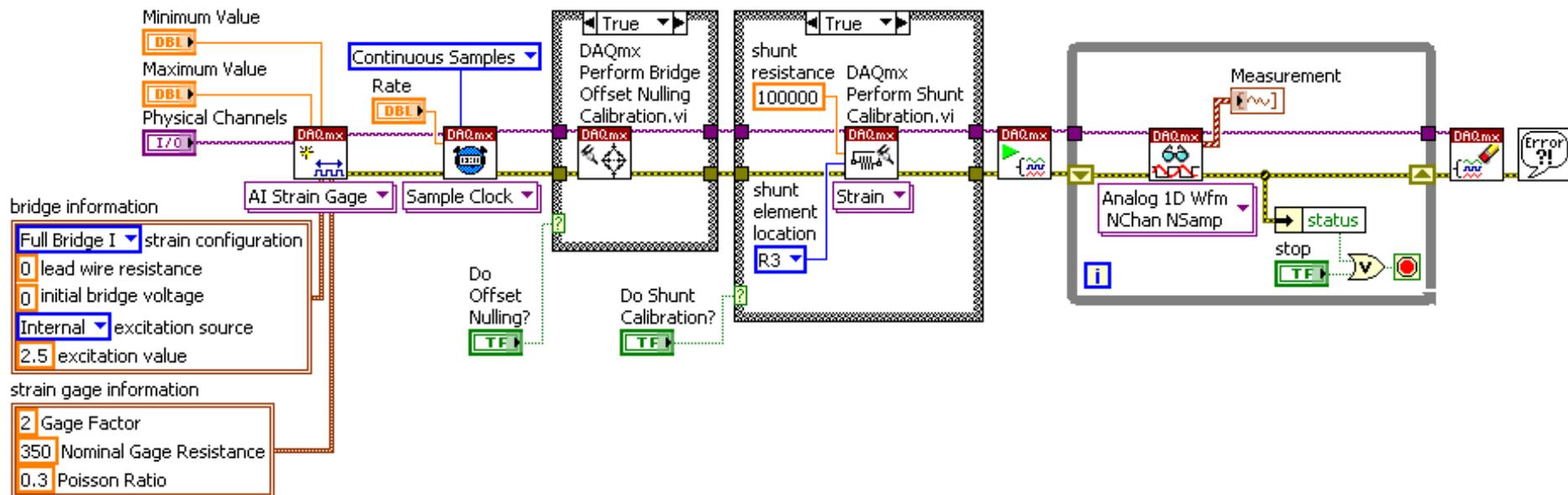
例: 半桥型接法



- 应变测量中的信号调理
  - 桥接电路及激励
  - 负载端电压采样
  - 失调清零
  - 分流校准
  - 放大/滤波

# 应变测量LabVIEW程序举例

- 配置电桥信息和应变计信息
- 可选进行失调清零和分流校准



# 负载、压力和扭矩测量



- 负载（称重）
  - 使用一组应变计测量结构的形变，该形变与力成比例
- 压力传感器
  - 使用固定在隔板的应变计测量隔板的形变，该形变与压力成比例
- 扭矩传感器
  - 使用附加在扭杆的应变计测量扭杆的剪应力，该剪应力与扭矩成比例

# 声音与振动测量

- 典型应用

- 噪声、振动与舒适度检测 ( NVH )

- 例: 用麦克风阵列进行噪声源定位

- 声学测试

- 例: 音箱声音品质测试

- 机器故障监测与诊断

- 例: 旋转机械的故障诊断

- 传感器

- 声压传感器 ( 麦克风 ) : 测量声压

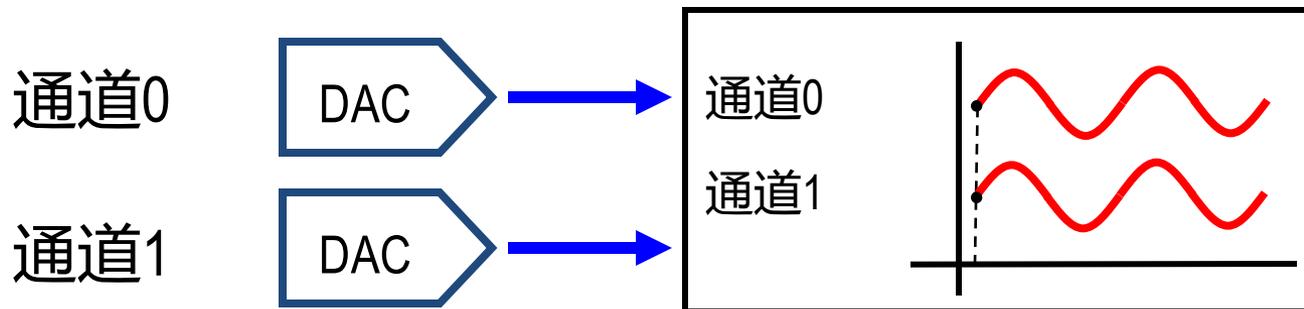
- 加速度传感器 : 根据压电理论测量加速度



# 声音与振动测量中的信号调理及程序

- 信号调理
  - 电流激励（IEPE激励）
  - AC耦合可消除DC偏置
  - 针对不同信号范围的灵活增益设置
    - 声音与振动信号的动态范围较大
  - 低通滤波器消除噪声和防止混叠
- 采集程序与普通输入采集程序几乎无差别
  - 只需对信号调理选项做相应配置（如AC/DC耦合、IEPE电流激励设置等）

# 模拟输出

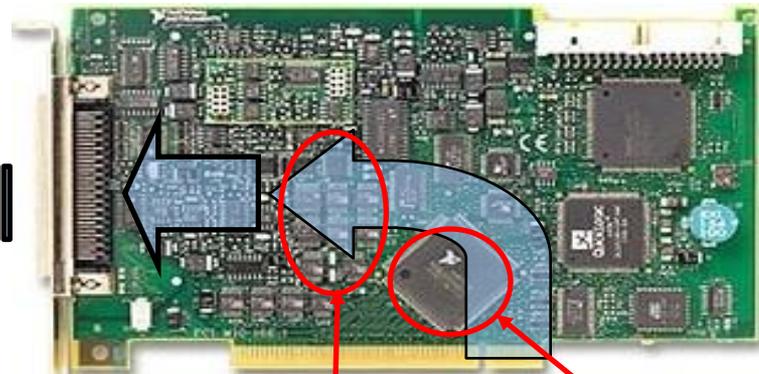


- 大多数多功能DAQ设备的每个模拟输出通道有一个DAC (同步更新)
- 与模拟输入的同步采集类似

# 输出操作的数据传输

输出  
频率

数据

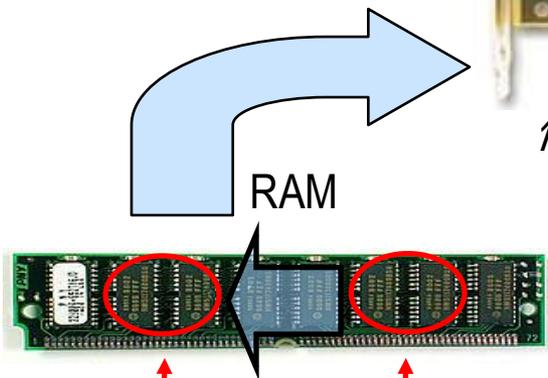


传输速率

PCI总线

ASIC

板载FIFO

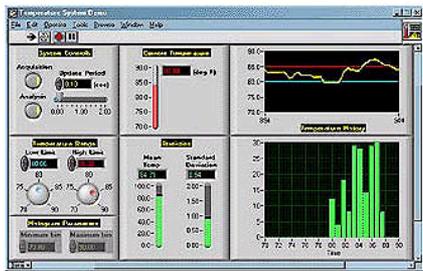


RAM

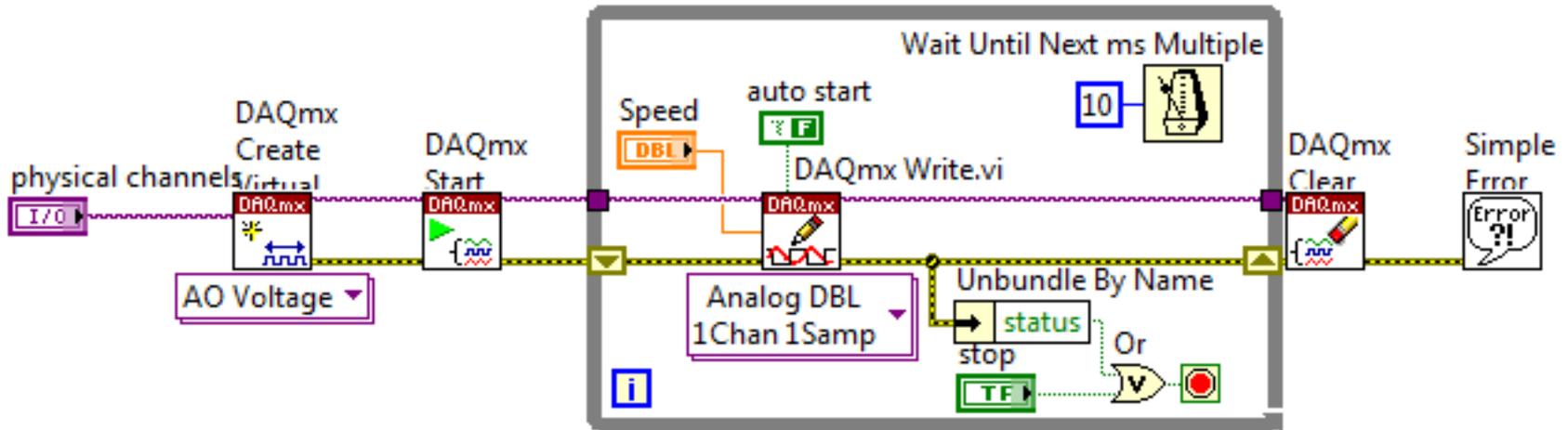
PC  
缓冲区

应用程序  
内存

LabVIEW

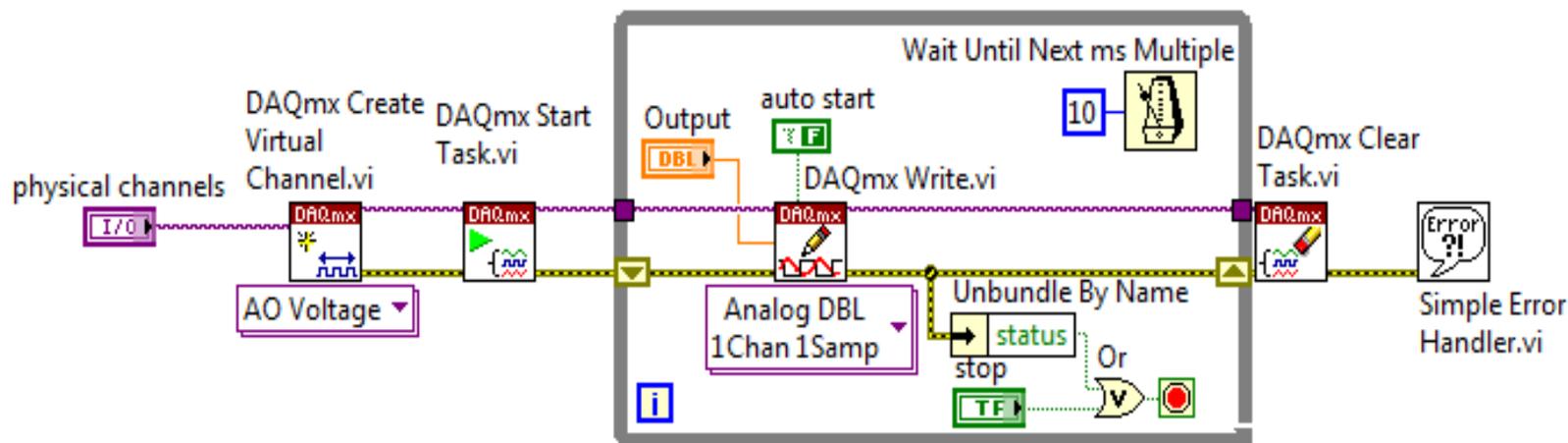
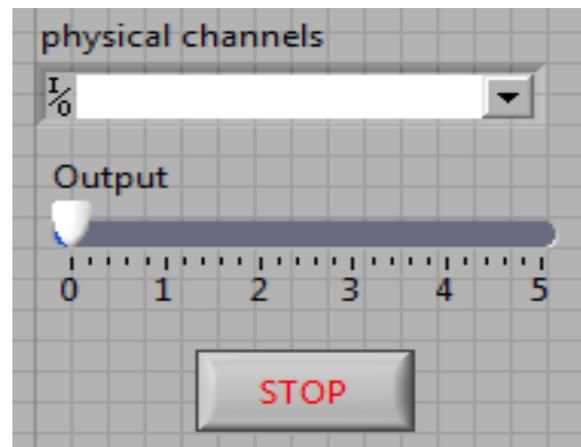


# 软件定时的模拟输出



- 软件定时
  - 速率决定于操作系统或程序（在生成循环中添加延时）
- 硬件定时
  - 设备上的时钟控制定时，比软件定时更快更精确

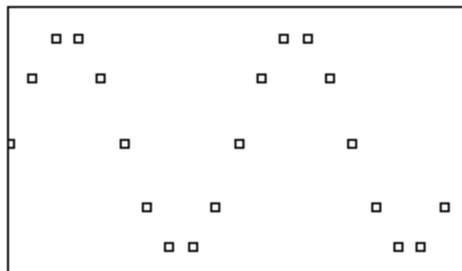
# Lab 4.1 单点模拟输出



# 带缓冲的波形生成

- 生成波形频率取决于下列三个因素
  - 更新率 (每秒多少个更新点)
  - 缓冲区中的数据点
  - 缓冲区中的周期数

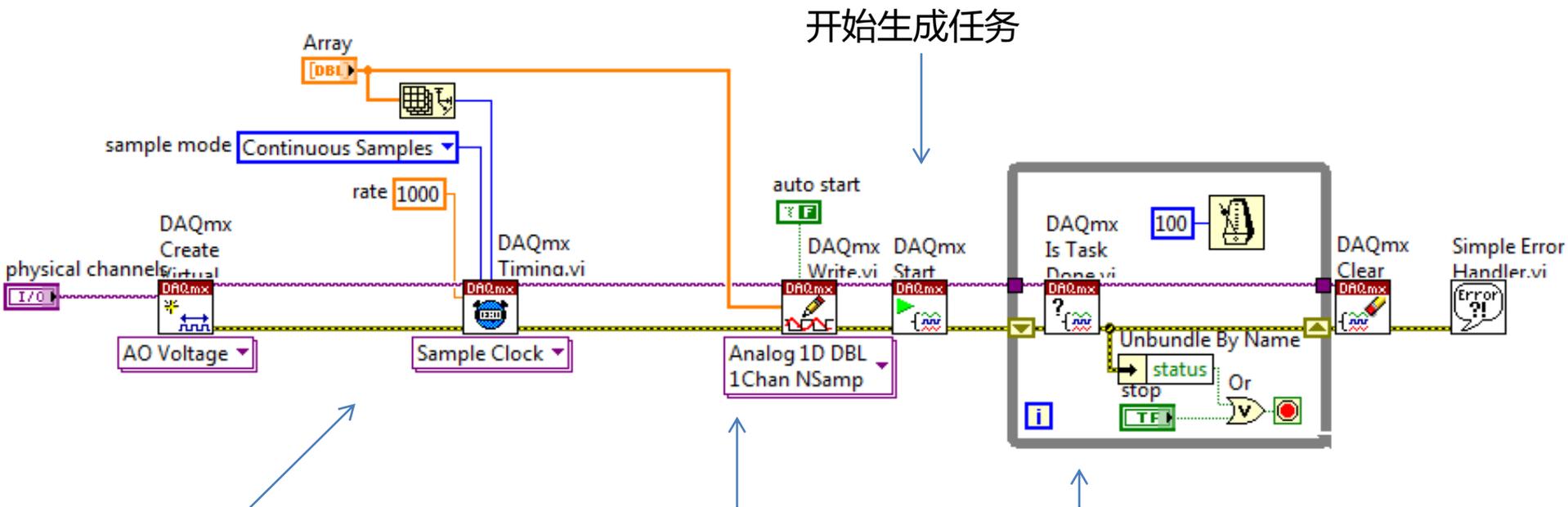
$$\text{信号频率} = \text{缓冲区中的周期数} \times \frac{\text{更新率}}{\text{缓冲区中的数据点}}$$



缓冲区大小 = 1000点  
缓冲区中的周期数 = 2  
更新率 = 1000 点/秒  
则, 信号频率 = 2 Hz

# 使用采样时钟的连续波形生成

- 硬件定时



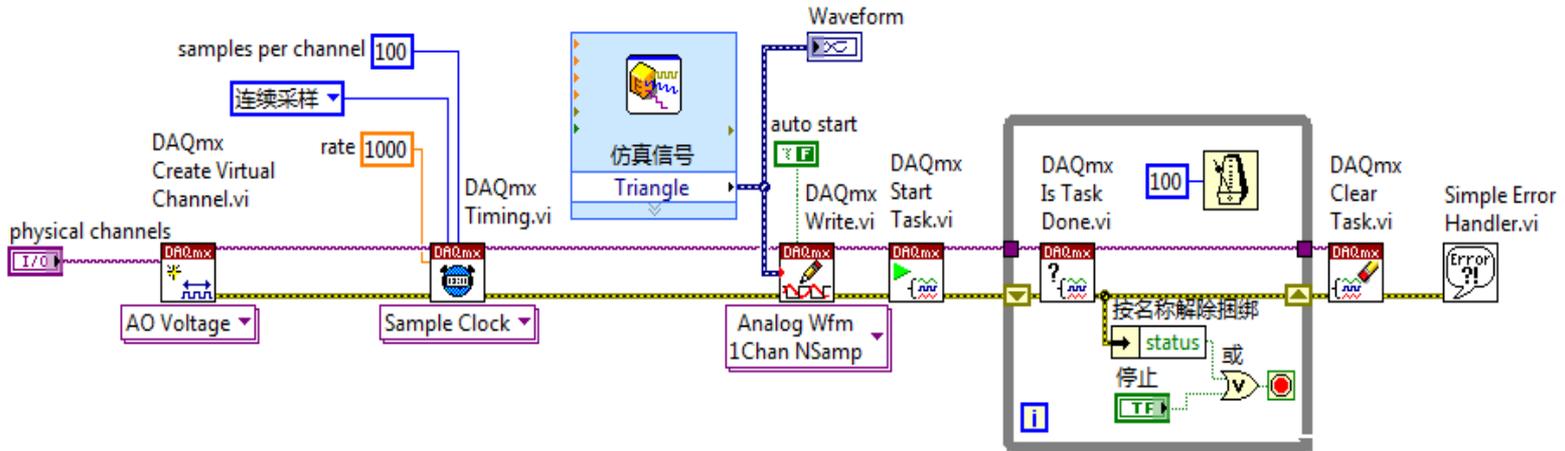
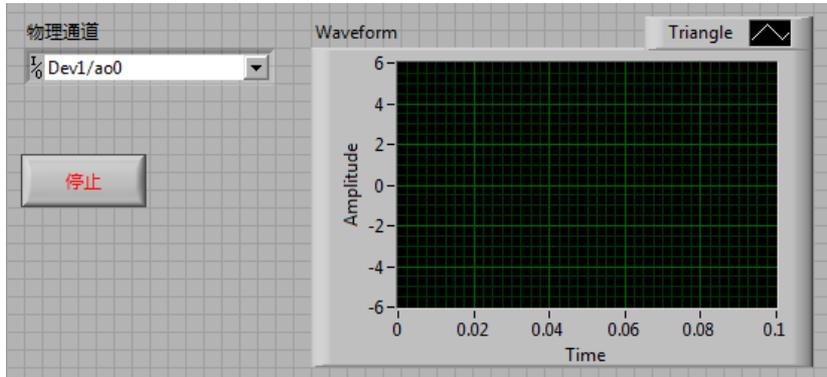
开始生成任务

基于时钟的硬件定时

写入生成数据

与模拟采集不同,循环在这里起的作用仅仅是不断检查任务状态,而非不断写入数据

# Lab 4.2 硬件定时的连续模拟信号输出



# 数字I/O

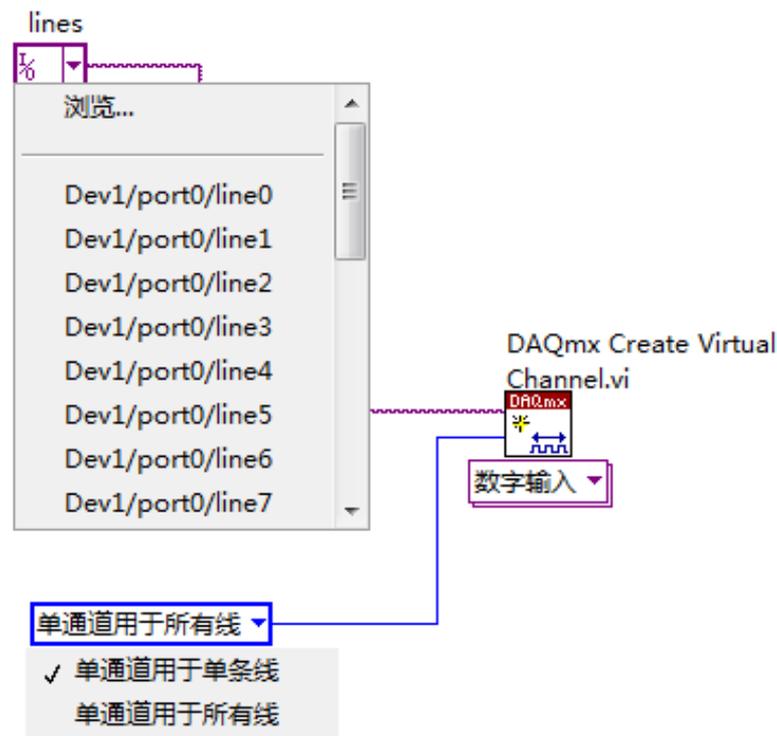
- 按照电平标准和电流驱动能力分类
  - TTL
  - LVTTTL(低电压)
  - LVDS (利用差分技术)
  - 工业数字I/O (如12V, 24V, 48V等)
- 需根据电平标准、驱动能力、所需速率等因素选用不同的数字I/O板卡
  - 大多数多功能数据采集卡上的数字I/O通道电平与TTL兼容
  - 课程中所用到的NI ELVIS及NI myDAQ上集成的数字I/O通道也是与TTL兼容

# 数字术语

- 位            数据的最小单位，每一位为1或0
- 字节        包含8位数据的二进制数
- 线            端口中的一路独立信号，位表示传输的数据，线是“位”在硬件上的表示
- 端口        数字线的集合（通常4或8路）
- 端口宽度    端口的数字线数目（通常4或8）

# 通过DAQmx API创建数字虚拟通道

- 创建一个端口、线或线集合的数字通道
- 选择如何将数字线编组为一个或多个虚拟通道
  - 影响DAQmx读取VI的配置



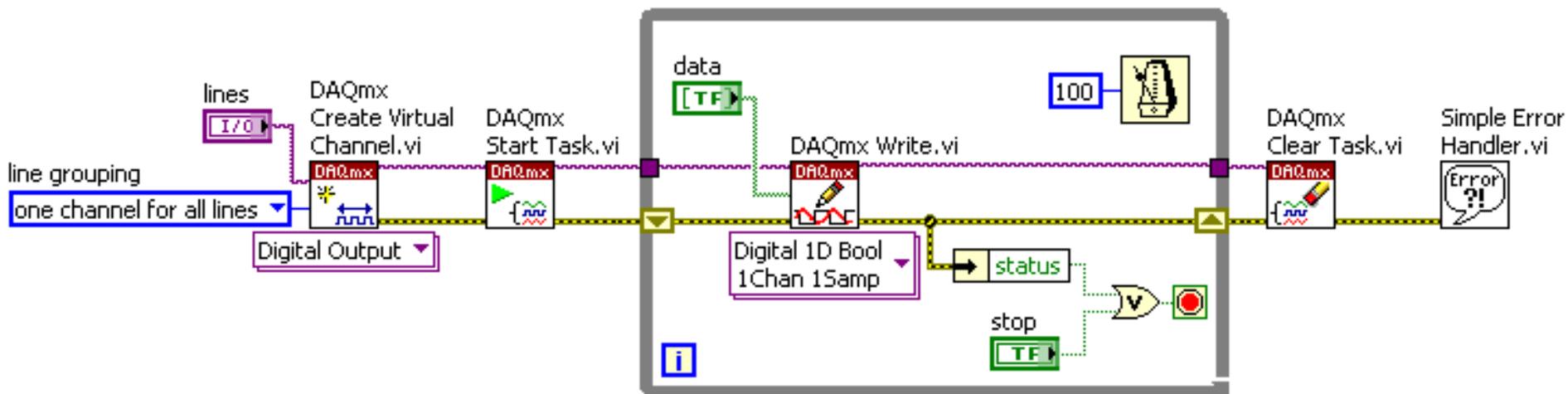
线格式



每个通道多条线

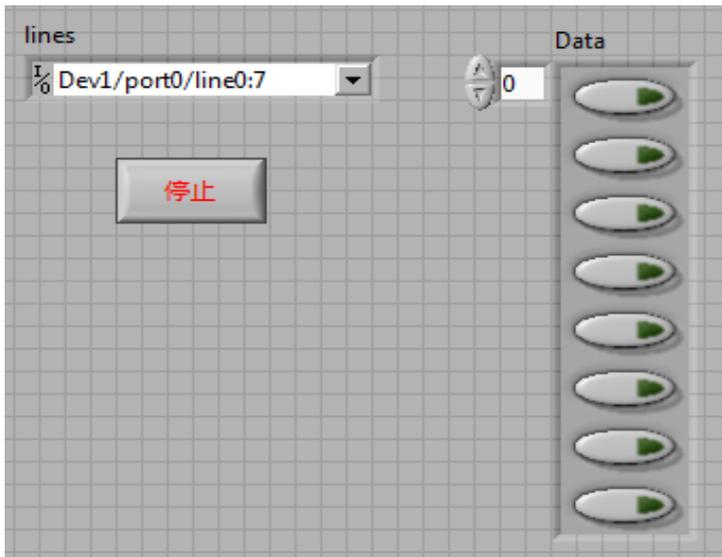
# 数字输出

- 软件定时 (Static Digital I/O)



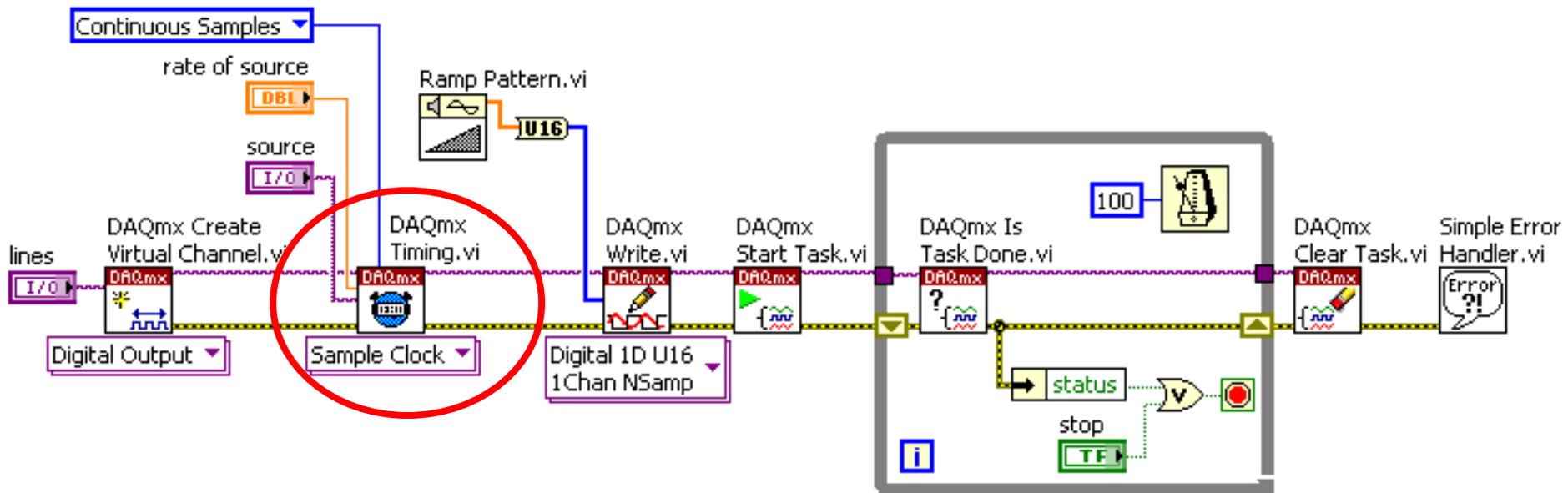
# Lab 5.1 数字输出

# Lab 5.2 数字输入



# 硬件定时的数字I/O

- 某些DAQ设备支持硬件定时的数字I/O
  - 与带缓冲的模拟输入输出原理相同
  - 采样时钟用于硬件定时的数字I/O (Correlated Digital I/O)
  - NI ELVIS的数字I/O端口Port1/Port2支持硬件定时，Port0只支持软件定时



# 计数器

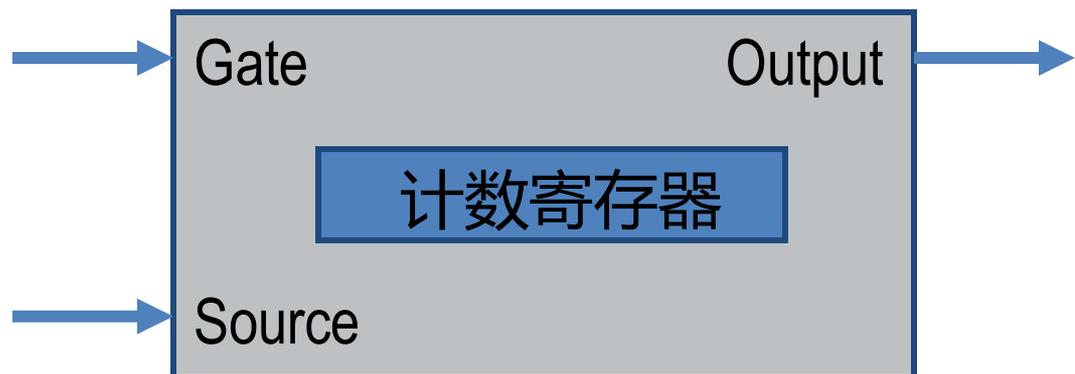
- 两个基本功能
  - 基于输入信号（门和源）的比较，进行计数
  - 基于输入和寄存器值，生成脉冲
- 许多应用由基本计数演变而来
  - 边沿计数，例如简单边沿计数和时间测量
  - 脉冲宽度、半周期和周期测量
  - 频率测量
  - 单脉冲和脉冲序列生成
  - 位置和速度测量



注: 由于课时限制，本课程中主要介绍 脉冲边沿计数、脉冲宽度测量、固定频率连续脉冲串生成 这三种应用，更多计数器的应用可以参考DAQmx帮助及LabVIEW中的范例程序自学

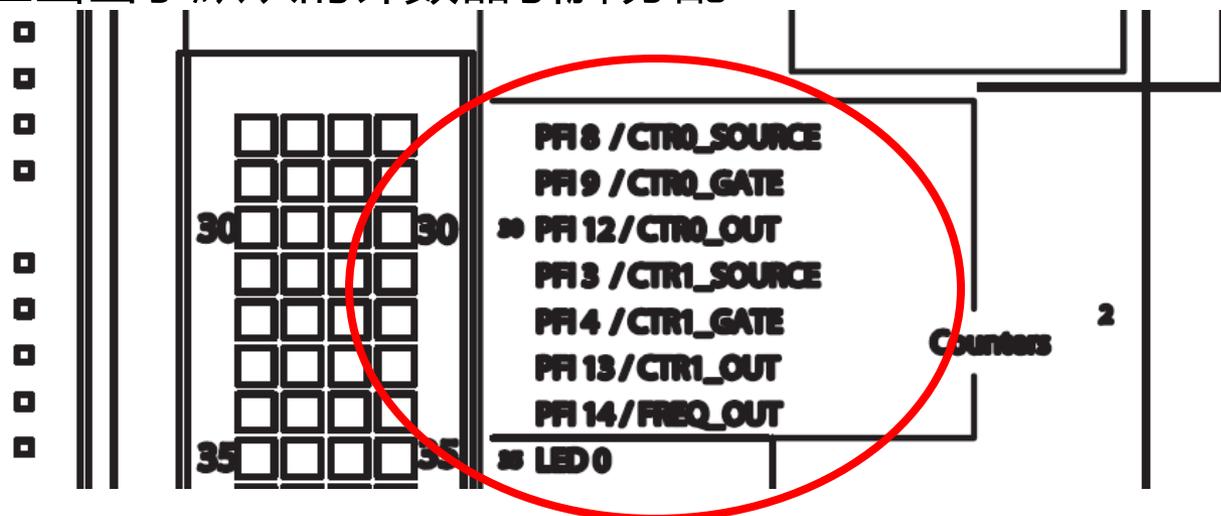
# 计数器的硬件组成

- 计数寄存器
  - 保存当前计数值
  - ELVIS II有两个32位的寄存器
  - 归零前最终计数 =  $2^{32} - 1$
  - 可设置每次计数寄存器加1或减1（向上计数或向下计数）
- 源 (Source)
  - 相当于计数时钟
  - 可设置上升沿或下降沿有效
- 门 (Gate)
  - 相当于使能控制信号
- 输出 (Output)
  - 用于生成脉冲



# 计数器引脚与接线

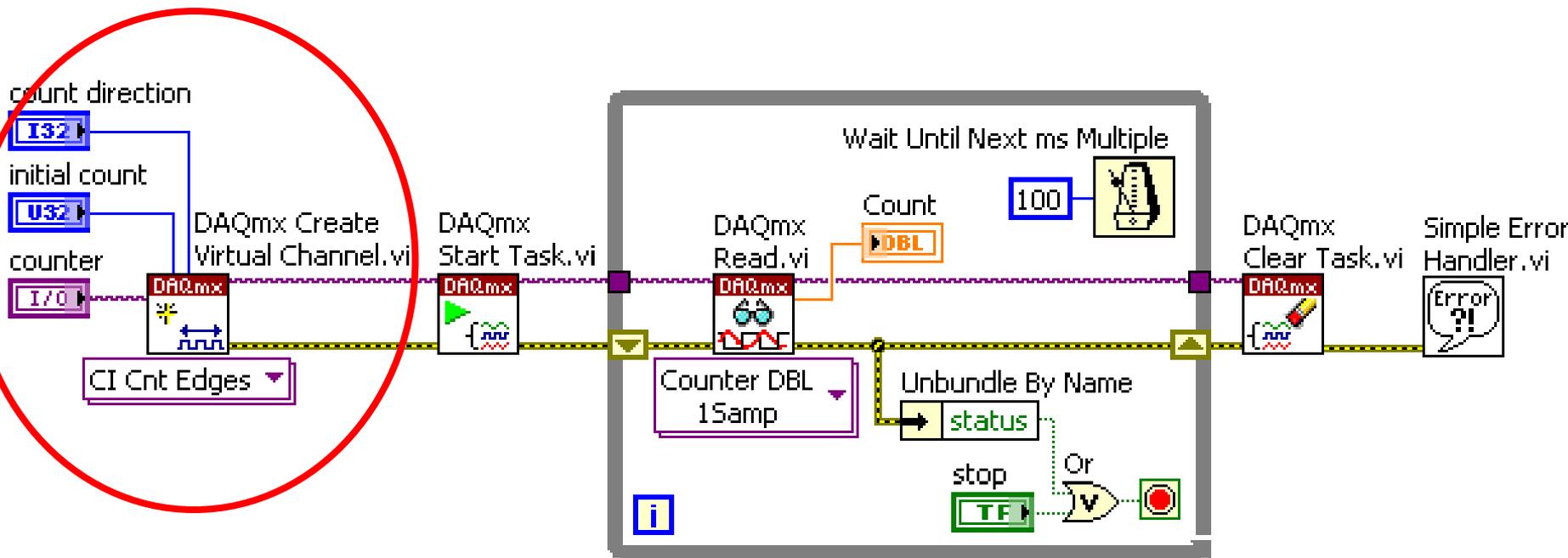
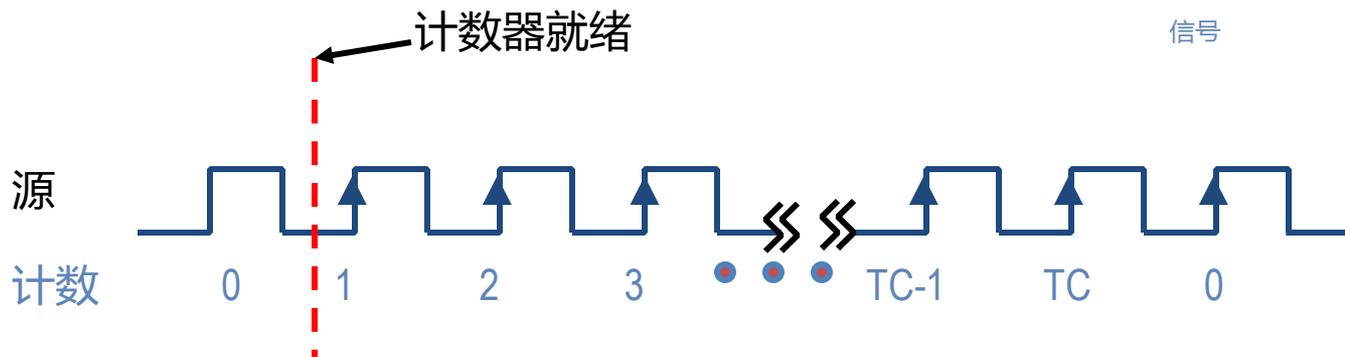
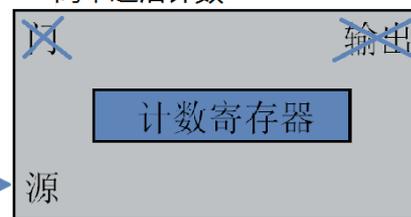
- 所有计数器相关应用的接线都是通过PFI引脚
  - 一个PFI引脚可有多种用途（例如既可以作为计数器的源信号又可以作为模拟采集的触发信号）
  - NI ELVIS的板子上画出了默认的计数器引脚分配



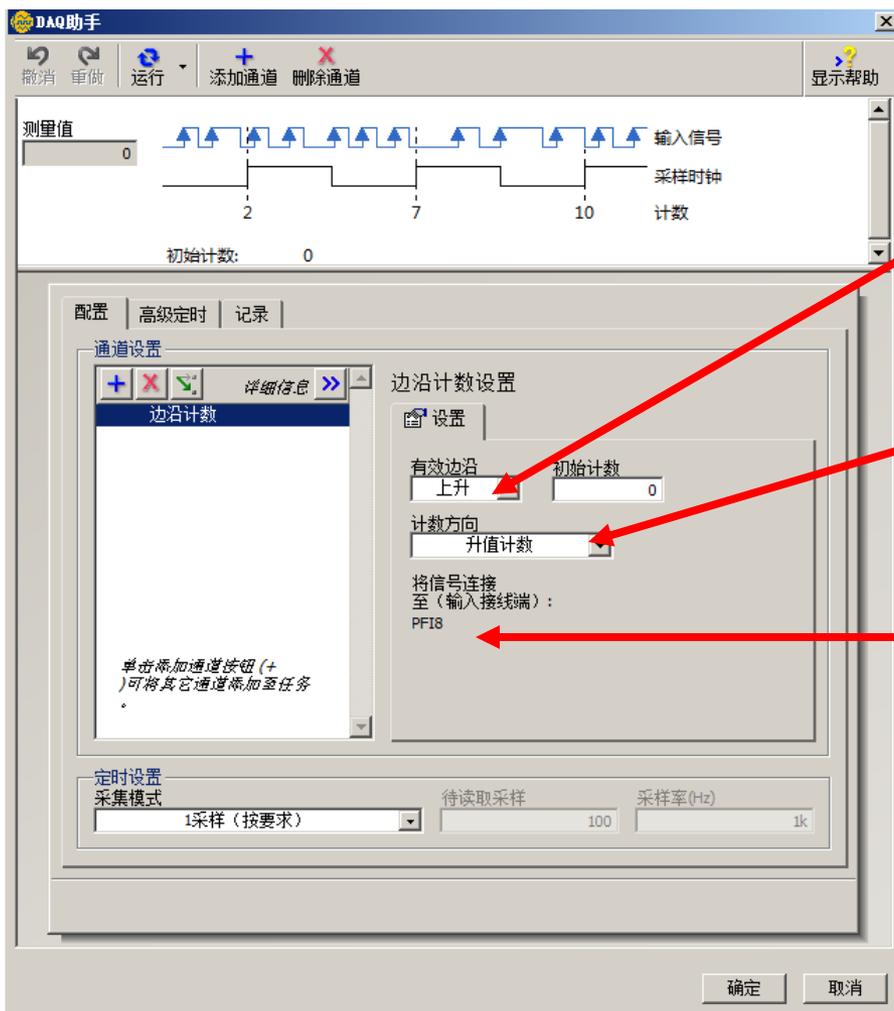
- 可以通过DAQmx帮助中Counter的部分查看针对不同计数器应用的信号连线方式（更方便的方式是在MAX中建立一个任务，DAQ助手会自动显示默认的正确引脚连线方式）

# 最简单的边沿计数

简单边沿计数



# 利用DAQ助手实现最简单的边沿计数



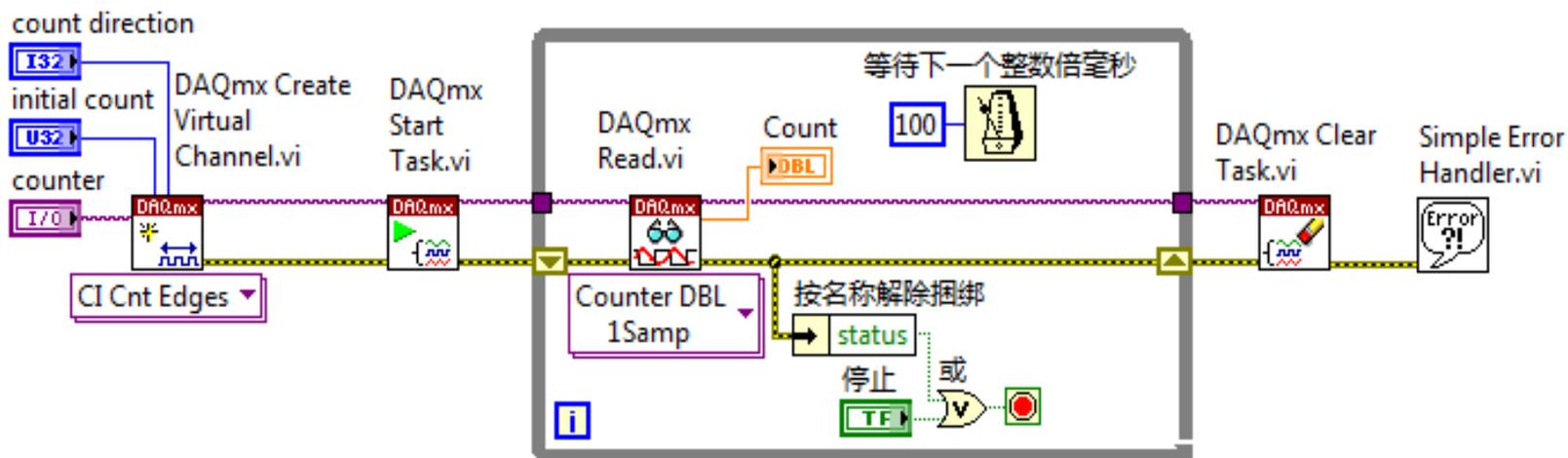
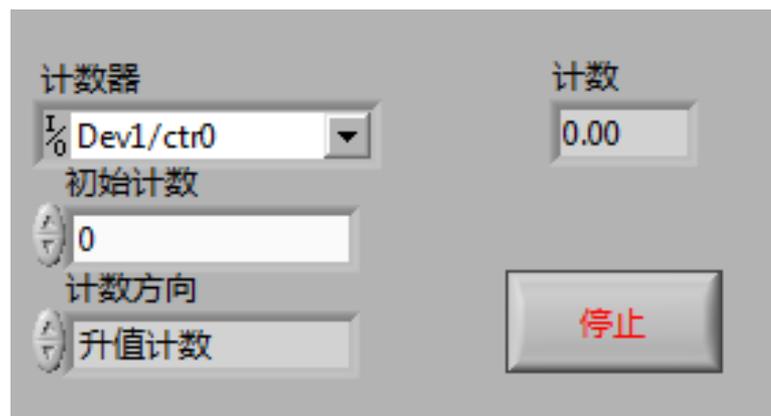
选择上升沿或下降沿

选择计数方向：  
升值计数  
减值计数

自动选择PFI线

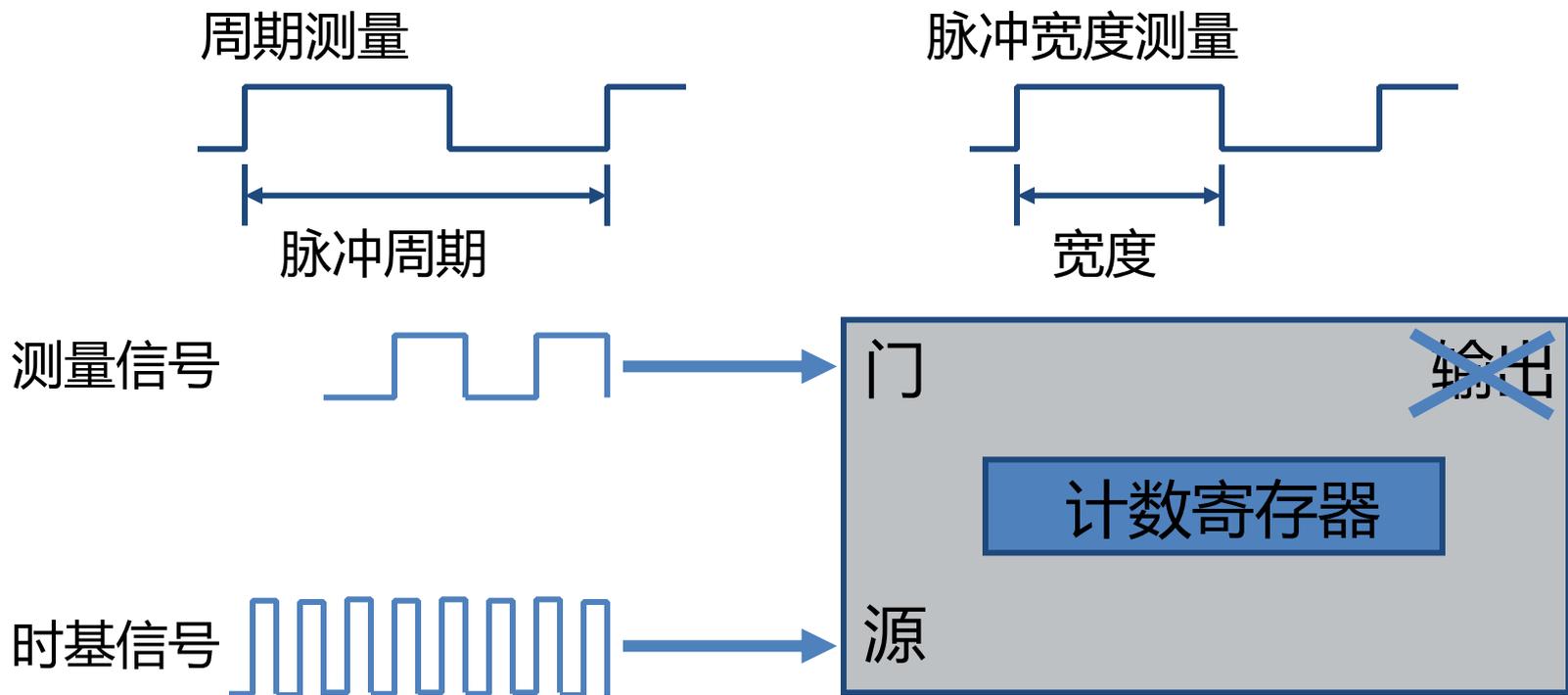
- 利用DAQ助手可以更直观地看到各种基于计数器应用的原理，同时方便地进行相关配置
- 适合作为参考，鼓励仍然基于DAQmx API实现

# Lab 6.1 底层API实现简单边沿计数



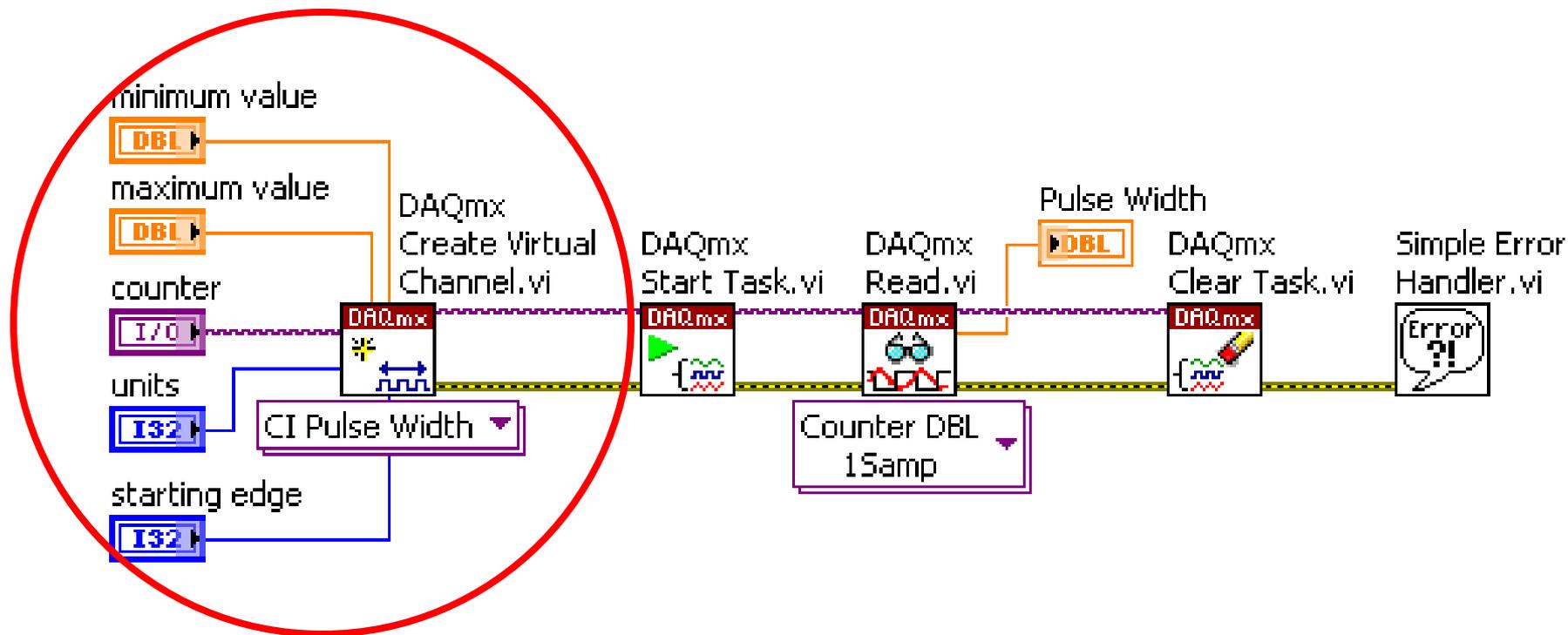
# 脉冲测量

- 使用已知频率的时基测量未知信号的特性
  - ELVIS中计数器自带的时基可选80 MHz, 20 MHz及100 kHz



# 例：单脉冲宽度测量

- 理解测量的原理很重要
  - 实际的程序中，DAQmx驱动已经帮我们进行了底层的计算，所以只要选择相应的功能并配置相关参数即可



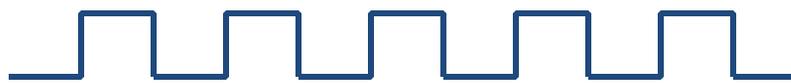


# 脉冲生成

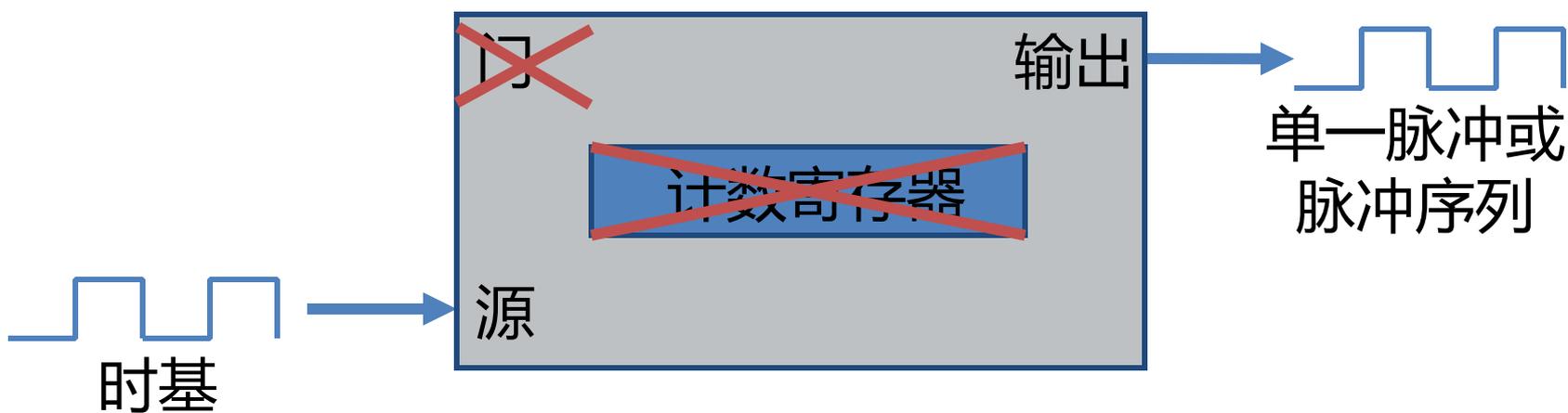
- 在计数器的输出引脚上生成TTL脉冲或脉冲序列



单个脉冲



脉冲序列



# Lab 6.3 连续脉冲序列生成

计数器

Dev1/ctr0

占空比

0.500000

频率

1.000000

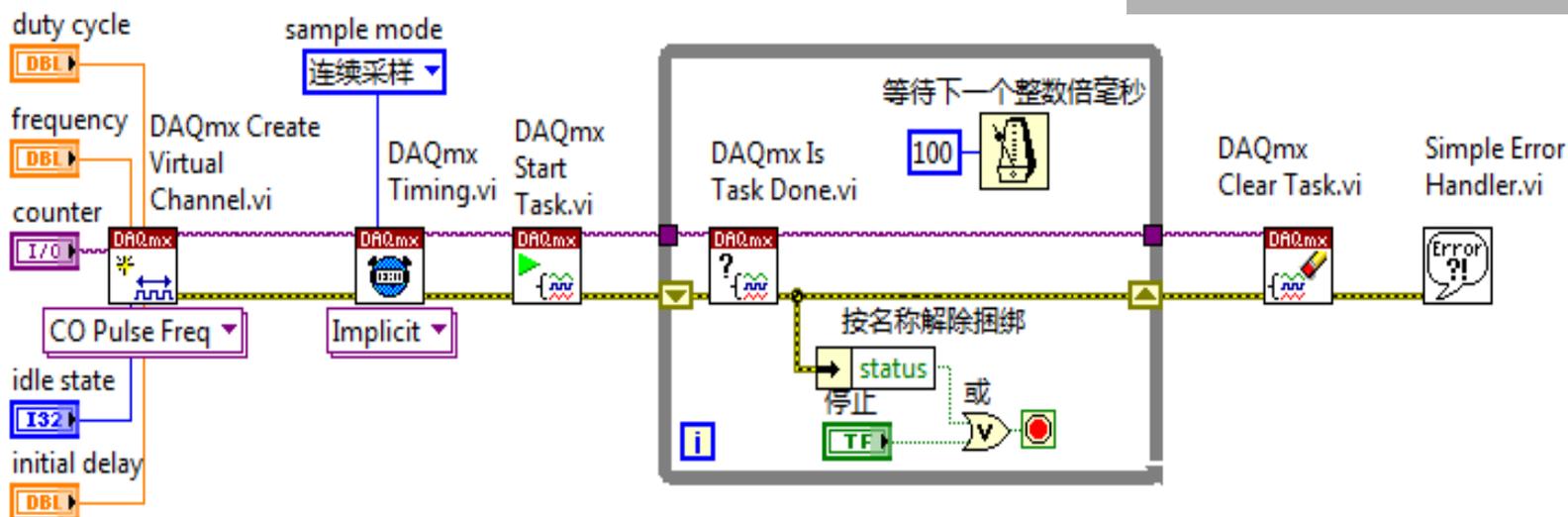
空闲状态

低

初始延迟

0.250000

停止



# 计数器的更多功能

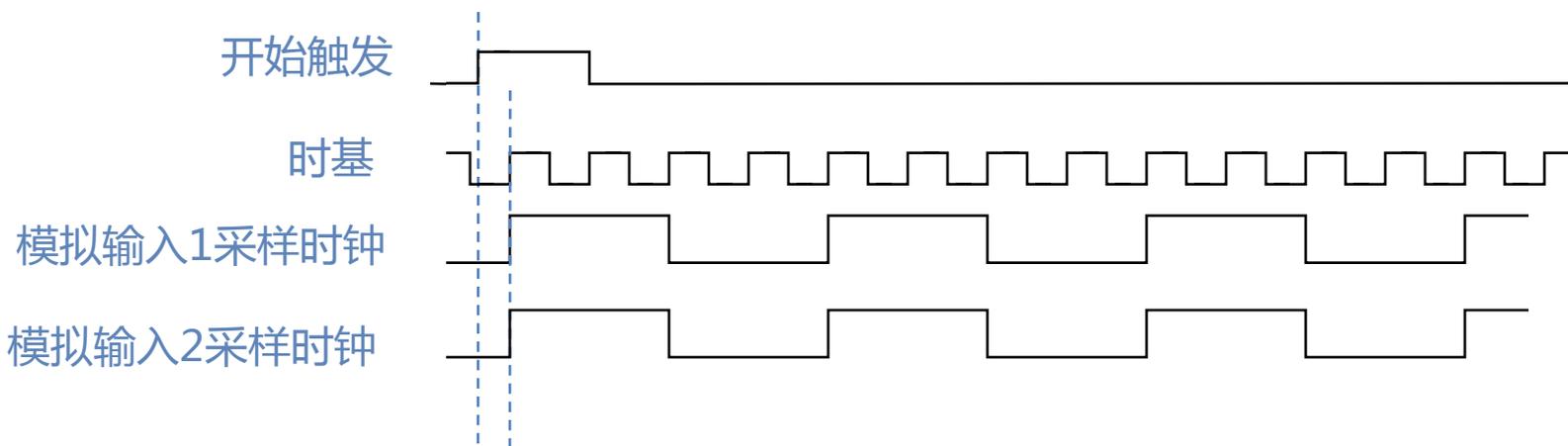
- 频率测量
  - 根据频率范围有3种不同测量方式
- 周期测量
- 正交编码器测量
- 有限脉冲序列生成
  
- 如何应用?
  - 可参考相关LabVIEW范例
  - 利用DAQ助手可以快速了解接线方式并进行验证（演示）

# 同步简介

- 许多数据采集应用中要求同步测量
- 概念
  - 同时测量
    - 操作同时发生，但无须严格同步
    - 无需证明测量在同一时刻发生
    - 如同发令枪响，同时开始跑，但是步伐不一定一致
  - 同步测量
    - 测量是相关的
    - 如同“齐步走”，同时开始，步伐也一致

# 同步原理

- 共享一个主时基和触发信号



- 采样时钟来自于同一个时基
  - 对于单块板卡，时基总是相同的
  - 多于多块板卡，必须共享时基以消除相位误差

# 同步误差来源

- 抖动 ( Jitter )
  - 抖动是时钟周期之间 ( 两次采样之间 ) 的微小差别
  - 在时钟路径上添加各种元器件均会导致抖动
- 时钟稳定性
  - 易受温度、老化等变化因素影响
  - 振荡器产生的频率不是绝对精确的频率
  - 误差通常用ppm ( 百万分之一 ) 和ppb ( 十亿分之一 ) 为单位
- 偏度 ( Skew )
  - 同一时钟信号到达两路不同位置时产生的传输延迟
  - 受信号路径的距离和阻抗影响

# 同一板卡多通道同步

- 同种通道同步非常容易实现
  - Lab 3.2 中已经提到



- 不同种通道的同步
  - 例如 AI 和 AO、AI 和 Counter
  - 不需要外部连线，可以仅通过软件编程控制内部时钟信号和触发信号的路由
  - 具体可参考LabVIEW相关范例