

## MCC 技术指南：关于精确度，准确度，分辨率和灵敏度

### 目的

本文档对测量系统领域中精确度、准确度、分辨率和灵敏度之间的区别作出解释。

### 适用人群

本文档适用于需要处理并解释 DAQ 测量系统结果的用户。

### 概述

仪器制造商通常都会提供设备规格，其中标注了精确度、准确度、分辨率与灵敏度。不幸的是，并不是所有规格都互相统一或拥有相同术语表达方式。此外，即使这些参数已经被标注，您知道如何将其应用于您的系统或者正在测量的变量吗？有些规格仅给出了最坏情况下的参数，而有些则考虑了您的真实测量情况。

### 精确度

精确度被定义为测量中相对于绝对标准的不确定数值。精确度规格通常包括由增益和偏移参数引起的误差影响。偏移误差以测量单位（如 V 或  $\Omega$ ）的形式给出，且与被测输入信号幅值无关。例如指定偏移误差为  $\pm 1.0$  毫伏（mV），这与幅值范围和增益设置毫不相关。相反，增益误差则依赖于输入信号幅值，并以读数的百分比形式表示，如  $\pm 0.1\%$ 。因此，总精确度等于以上二者之和： $\pm(\text{输入的 } 0.1\% + 1.0\text{mV})$ 。表 1 给出一个示例：

**表 1. 作为精确度函数的读数**

**条件：输入为 0-10V，精确度  $\pm(\text{输入的 } 0.1\% + 1\text{mV})$**

输入电压	精确度规格下的读数范围
0V	-1mV 至 +1mV
5V	4.994V 至 5.006V ( $\pm 6\text{mV}$ )
10V	9.989V 至 10.011V ( $\pm 11\text{mV}$ )

### 准确度

准确度描述了测量的可重复性。例如，多次测量某一稳态信号。在此情况下如果测量值十分接近，那么其

准确度或可重复性就很高。测量值并不需要是真实值，只需彼此接近。测量结果的平均值与真实值之间的差就是精确度。

## 分辨率

分辨率可用两种方式表示：

- 可测量最大信号与可被分辨最小电压的比值 --- 常见于模数（A/D）转换器。
- 理论上可检测的最小变化程度，通常表示为比特数。这将分辨率的比特数与实际电压测量关联起来。

为确定系统的电压分辨率，我们需要做一些计算。首先，假设一个测量系统（使用 16 位 A/D 转换器）可以测量±10V 范围内（20V 量程）的电压。然后，确定我们在 16 位可检测的最小电压增量，即  $2^{16}=65536$ ，或者 65536 中的 1 份，所以  $20V / 65536 = 305\mu V/A/D$  比较次数。因此，理论上可检测的最小电压变化是  $305\mu V$ 。

不幸的是，噪声之类的因素会混入公式中，导致可被使用的理论分辨率位数有所下降。一个拥有 16 位分辨率的数据采集系统可能也包含 16 种噪声情况。考虑到此，16 种情况等于 4 比特（ $2^4=16$ ）；因此测量系统标定的 16 位分辨率减少了 4 位，所以 A/D 转换器的真实分辨率只有 12 位，并非 16 位。

一种“取平均值”的方法可以提高分辨率，但会牺牲速度。这种方法可减少的噪声幅度为样点数的平方根大小，因此它需将多次采样的数据相加，再除以总样点数。例如，一个包含 3 比特噪声的系统存在 8 种噪声情况，可取 64 个采样点的平均值来降低噪声的影响。但这种方法并不能减少非线性噪声的影响，且噪声必须服从高斯分布。

## 灵敏度

灵敏度是一个绝对数值，即测量系统可检测的最小绝对变化量。考虑一个电压输入范围为±1.0V，噪声为±4 个样本点的测量设备，如果 A/D 转换器的分辨率为  $2^{12}$ ，那么灵敏度的峰峰值为±4 counts×(2 ÷ 4096) 或 ±1.9mV p-p。这表明了传感器的响应性能。例如，某传感器在 0 – 1 伏特（V）的输出电压内划分 1000 个单元，这意味着 1V 的等价测量为 1000 个单元或 1mV 等价于 1 个单元。然而由于灵敏度为 1.9mV p-p，所以传感器的输出需变化两个单位，输入端才能检测到变化。

### 以 MCC USB-1608G 系列产品为例

我们以 [USB-1608G](#) DAQ 设备为例，确定其分辨率、精确度与灵敏度（其规格详见以下表 2 和表 3）。考

考虑某传感器输出信号在 0 至 3V，其与 [USB-1608G](#) 的模拟输入通道连接。我们分别在两种条件下确定精确度，条件 1：传感器输出 200mV；条件 2：传感器输出 3V。

#### 精确度：USB-1608G 使用 16 位 A/D 转换器

**条件 1：**采用单端输入，在±1V 量程下测量 200mV 的信号

- 温度 = 25°C
- 分辨率 =  $2V \div 2^{16} = 30.5\mu V$
- 灵敏度 =  $30.5\mu V \times 1.36 \text{ LSB rms} = 41.5\mu V \text{ rms}$
- 增益误差 =  $0.024\% \times 200\text{mV} = \pm 48\mu V$
- 偏移误差 =  $\pm 245\mu V$
- 线性误差 =  $0.0076\% \text{ of range} = 76\mu V$
- 总误差 =  $48\mu V + 245\mu V + 76\mu V = 369\mu V$

因此，对于 200mV 的输入，其读数在 199.631mV 至 200.369mV 之间波动。

**条件 2：**采用单端输入，在±5V 的量程下测量 3V 的信号

- 温度 = 25°C
- 分辨率 =  $10V \div 2^{16} = 152.6\mu V$
- 灵敏度 =  $152.6\mu V \times 0.91 \text{ LSB rms} = 138.8\mu V \text{ rms}$
- 增益误差 =  $0.024\% \times 3.0V = 720\mu V$
- 偏移误差 =  $686\mu V$
- 线性误差 =  $0.0076\% \text{ of range} = 380\mu V$
- 总误差 =  $720\mu V + 686\mu V + 380\mu V = 1.786\text{mV}$

因此，对于 3.0V 的输入，其读数将在 2.9982V 至 3.0018V 之间波动。

#### 综合分析

**精确度：**考虑条件 1，总精确度为  $369\mu V \div 2V \times 100 = 0.0184\%$

**精确度：**考虑条件 2，总精确度为  $1.786\text{mV} \div 10V \times 100 = 0.0177\%$

**有效分辨率:** [USB-1608G](#) 拥有 16 位理论分辨率的规格。而有效分辨率是被测量的最大信号和可被分辨的最小电压（即灵敏度）的比例。例如，如果我们考虑条件 2，用测量信号电压值除以灵敏度或计算  $(138.5\mu\text{V} \div 3.0\text{V}) = 46.5\text{e}^{-6}$ ，再将转换成等价数字量： $(1\text{V} \div 46.5\text{e}^{-6}) = 21660$ ，或 14.4 比特的有效分辨率。可考虑采用以上提到的取平均值法提高有效分辨率。

**灵敏度:** 相较于 5V 量程下 138.8 $\mu\text{V}$  rms 的灵敏度，量程为 $\pm 1\text{V}$  且噪声仅为 41.5 $\mu\text{V}$  rms 时的测量灵敏性最强。总之，选择传感器时，应使设备利用最好的灵敏度捕获最高输出电压。例如 0 至 3V 的输出信号应选择 5V 的量程，而不是 10V。

表 2.

模拟输入直流测量，所有值都带有(±)						
量程	增益误差 (读数的百分比)	偏移误差 ( $\mu\text{V}$ )	INL 误差 (量程的百 分比)	满量程绝 对精确度 ( $\mu\text{V}$ )	增益温度 系数(读数 的百分比/ $^{\circ}\text{C}$ )	偏移温 度系数 ( $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ )
$\pm 10\text{V}$	0.024	915	0.0076	4075	0.0014	47
$\pm 5\text{V}$	0.024	686	0.0076	2266	0.0014	24
$\pm 2\text{V}$	0.024	336	0.0076	968	0.0014	10
$\pm 1\text{V}$	0.024	245	0.0076	561	0.0014	5

表 3.

噪声性能		
范围	情况个数	LSBrms
$\pm 10\text{V}$	6	0.91
$\pm 5\text{V}$	6	0.91
$\pm 2\text{V}$	7	1.06
$\pm 1\text{V}$	9	1.36