

示波器基础系列之十五

——探讨影响时间间隔精度的因素

美国力科公司

WaveMaster系列示波器的时间间隔测量精度采用下述公式表示： $\pm((0.06 * \text{采样间隔}) + (1 \text{ ppm的测量间隔}))$ 。这一公式反映了数字示波器上时间测量不确定性的两个主要来源。第二个部分(1 ppm的测量间隔)表示由于示波器时基导致的不确定性。WaveMaster系列示波器采用1 ppm的时基，这是当前精度最高的示波器时基。这个部分影响着较长的时间间隔，例如，如果测量的是1 GHz时钟(1 ns周期)，那么由于时基导致的不确定性是1 fs。

时间间隔精度的第一个部分($0.06 * \text{采样间隔}$)与示波器的测量内插算法和时基短期稳定性有关。在力科示波器中，时基对不确定性的影响非常小。内插算法是用来计算出信号穿越在某设定的电平的时间上轴上确切时刻。鉴于力科提供了80 GS/s的最大采样率，在有些情况下需要使用内插。在任何一定边沿上存在三个或三个以下的样点时，示波器中会自动执行内插。在整个波形上不执行内插。但是，在测量中只内插越过门限周围的点。为找到穿越点，我们使用立方内插，然后线性拟合到内插的数据，如图1所示

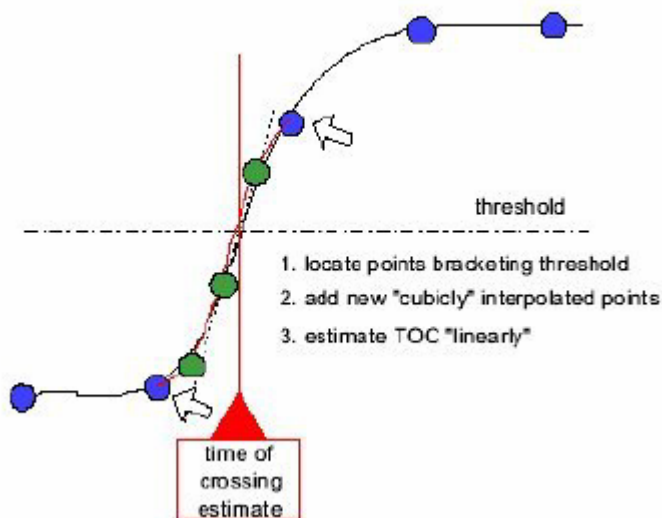


图1 测量内插的图形视图，显示怎样在采样的波形上确定越过时间(TOC)

内插精度取决于许多因素。主要因素是信号的跳变时间、采样率、垂直噪声和有效垂直分辨率。图2是通过使用简单的模型，利用8位数字化器以20 GS/s采样率对300 ps边沿信号的典型计算方式。信号幅度是全标的80%。垂直分辨率和时间分辨率之间的关系是：

$$\Delta t = \Delta v / dv/dt$$

其中：

Δt – 时间不确定性, Δv – 幅度不确定性, dv/dt – 跳变沿

对1 l.s.b.(1/256的全标)的垂直不确定性，以及在6个样点中0.8的全标的跳变沿(300 ps @ 50 ps/样点)，等效时间不确定性为：

$$\Delta t = (1/256) / (0.8/6) = 0.03 \text{ 个采样周期}$$

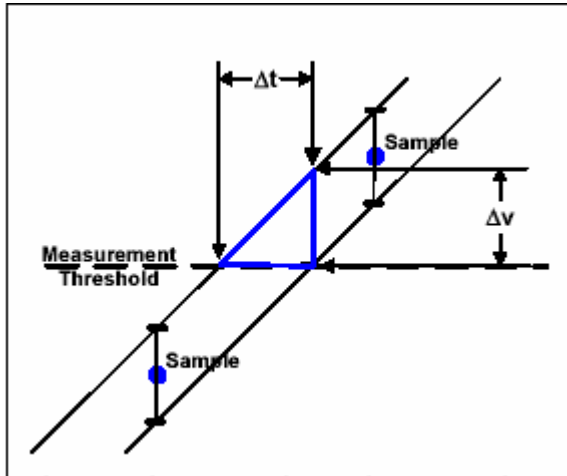


图2 简单的模型，表明垂直不确定性与定时不确定性的映射关系

由于采样周期是50 ps，这一测量的不确定性是1.5 ps。这种时间不确定性适用于任何一项测量。

大多数这类测量不是以孤立方式进行的。多次测量允许用户研究测量值的变化。在多次测量中，测量值的平均值的不确定性会下降。对高斯分布，测量不确定性会以测量次数的平方根下降。因此，重复测量100次可以使采样平均值的精度提高10倍。图3显示了在700 MHz方波上进行20次period@ level参数测量的结果。每次测量都在包括35,000个周期的采集上执行。这会把指定的不确定性降低到大约16 fs。测量与频率计数器相关，频率计数器的测量结果也绘制在了图上。注意，示波器测量很好地位于归一化后的指标极限内，与计数器测量结果高度一致。注意，图上的水平标度是每格20 fs。

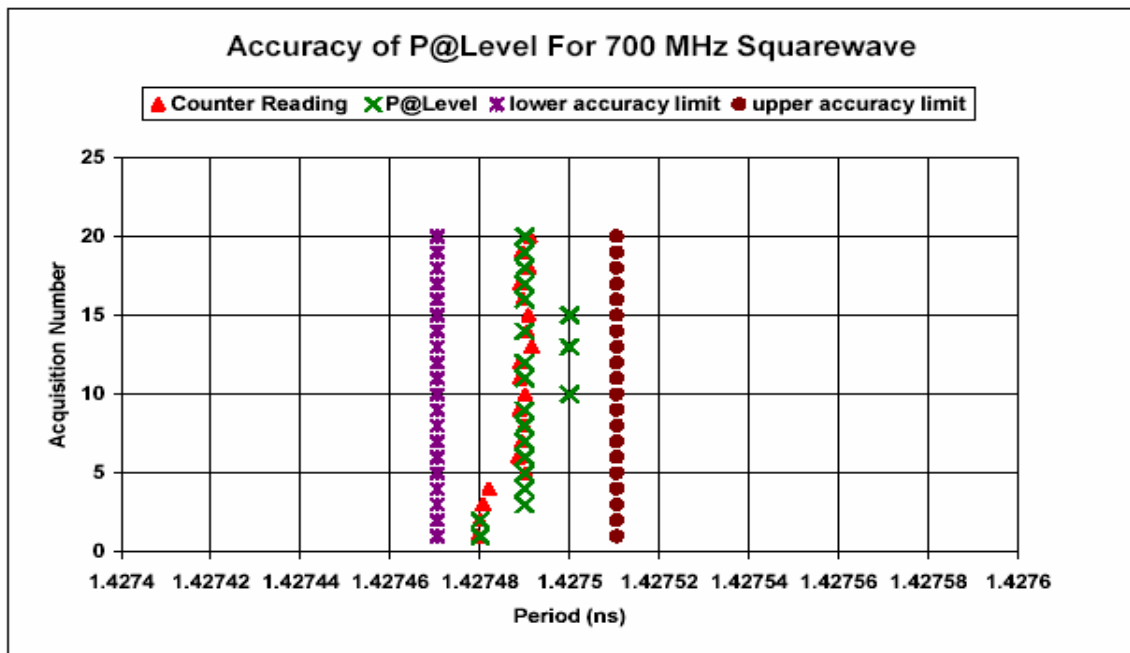


图3 在20次采集中进行period @ level测量的可重复性

使用采样数据不会把定时测量精度限制在采样周期中。可以以ps级的分辨率在正确采样的波形上进行定时测量，并支持直到几十fs的中间值统计精度。