

Digitales Filtern (Enhanced Resolution)

Die verfügbare Abtastrate der LeCroy-Oszilloskope ist oft höher, als für die Bandbreite des zu analysierenden Signals erforderlich ist. Dieses "oversampling", das auf den Tiefspeicher-Modellen besonders ausgeprägt ist, kann dazu benutzt werden, die effektive Auflösung des angezeigten Signalzugs zu erhöhen: die Fähigkeit des Geräts, eng beieinanderliegende Spannungspegel zu unterscheiden. Dies erfolgt mittels Filterung des digitalisierten Signals unter Verwendung der Enhanced Resolution, verfügbar im als Option erhältlichen Advanced Math-Paket WP02.

Diese Methode ähnelt dem Glätten des Signals mit einem einfachen beweglichen Mittelungsfiler, ist jedoch bezüglich der Bandbreite effizienter und verfügt über bessere Durchlaßbandeigenschaften. Sie kann anstelle der Mittelung von aufeinanderfolgenden Signalen bei Einzelsignalmessungen verwendet werden.

Vorteile

Zwei wichtige Eigenschaften des Oszilloskops werden durch die digitale Filtertechnik verbessert:

Die Auflösung wird um einen bestimmten Betrag bei jedem Filter verbessert. Diese echte Verbesserung der Auflösung wird unabhängig davon erzielt, ob das Signal verrauscht ist oder nicht und ob es sich um ein Single-Shot- oder ein periodisches Signal handelt.

Die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses ($SNR = \text{"signal-to-noise ratio"}$) hängt von der Art des im ursprünglichen Signal vorhandenen Rauschens ab. Die Verbesserung tritt auf, weil die Filtertechnik die Bandbreite des Signals herabsetzt und deshalb einen Teil des Rauschens herausfiltert.

Realisierung

Das Oszilloskop verwendet eine Reihe phasenlinearer endlicher Pulsantwort-Filter (FIR), die schnelle Berechnungen, ausgezeichnete Stufenantworten in 0,5-Bit-Schritten und eine minimale Bandbreitenreduzierung zur Verbesserung der Auflösung um 0,5 bis 3 Bit liefern. Jeder Schritt entspricht einer Bandbreitenreduzierung um den Faktor 2, was eine einfache Überprüfung des Verhältnisses von Bandbreite zur Auflösung ermöglicht. Die Parameter der sechs Filter werden in der folgenden Tabelle angegeben:

Parameter für die FIR-Enhanced-Resolution-Filter		
Auflös.-Verbesserung (Enhancement)	–3 dB Bandbreite (× Nyquist)	Filterumfang (Abtastungen)
0,5	0,5	2
1,0	0,241	5
1,5	0,121	10
2,0	0,058	24
2,5	0,029	51
3,0	0,016	117

Bei den verwendeten Filtern handelt es sich um Tiefpaßfilter. Daher hängt die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses vom Energiedichtespektrum des dem Signal überlagerten Rauschens ab. Die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses entspricht der Auflösungsverbesserung, falls es sich um weißes Rauschen handelt — d.h. solches mit einer gleichmäßigen Verteilung über das gesamte Frequenzspektrum. Weist das Rauschen schwermäßig höhere Frequenzanteile auf, ist die SNR-Verbesserung größer als die Verbesserung der Auflösung. Bei Rauschanteilen niedriger Frequenz jedoch, verhält es sich umgekehrt.

Die Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses durch das Herausfiltern kohärenter Rauschsignale — z.B. beim Übersprechen von Taktsignalen — hängt davon ab, ob sich die dominierenden Frequenzkomponenten des Signals im Durchlaßbereich des Filters befinden oder nicht. Dies kann jedoch leicht mit Hilfe der Spektralanalyse herausgefunden werden.

Die Filter haben einen exakt linearen Phasengang, was zwei Vorteile mit sich bringt. Erstens: Auch wenn die Frequenzanteile der verschiedenen Ereignisse auf dem Signalzug unterschiedlich sind, verzerren die Filter die relative Position der Ereignisse nicht. Und zweitens: Da die Signalzüge gespeichert sind, kann die Verzögerung, die normalerweise mit dem Filtern einhergeht (zwischen den Eingangs- und Ausgangssignalzügen), während der Berechnung des gefilterten Signalzuges exakt ausgeglichen werden.

Alle Filter verfügen über einen Verstärkungsfaktor von genau eins bei niedriger Frequenz. Deshalb verursacht die verbesserte Auflösung auch keine Überschreitung des Wertebereichs, wenn die

Eingangsdaten keinen Überlauf anzeigen. Zeigt ein Teil des Eingangssignalzuges einen Überlauf an, ist das Filtern zwar zulässig, es muß jedoch beachtet werden, daß die Ergebnisse in der Umgebung der Daten, die den Wertebereich überschreiten — innerhalb der Länge der Impulsantwort des Filters — nicht korrekt sind. Dies wird deswegen zugelassen, weil es sich bei der Anzeige eines Überlaufs unter Umständen um eine Spannungsspitze von nur einem oder zwei Samples handeln kann. Die Energie dieser Spannungsspitzen braucht die Ergebnisse nicht wesentlich zu beeinflussen, und es wäre deshalb nicht wünschenswert, den Signalzug in diesem Fall ganz zu verwerfen.

Wann anwenden?

Im allgemeinen ersetzt Enhanced Resolution die Mittelungsfunktion, wenn nur Einzelmessungen vorliegen oder der Datensatz mit nur geringer Wiederholrate auftritt und eine Mittelung nicht angewendet werden kann.

Hauptsächlich in zwei Fällen ist eine hohe Auflösung besonders nützlich: Erstens, wenn das Signal merklich verrauscht ist und Messungen des Rauschens nicht gewünscht werden, kann es mit Hilfe der Filtertechnik "gereinigt" werden. Zweitens, wenn das Signal zwar wenig verrauscht ist, jedoch genauere Messungen des Signalzuges erforderlich sind (eventuell unter Verwendung der "Expand"-Funktion mit hoher vertikaler Verstärkung). Die Filtertechnik erhöht dann die Meßauflösung.

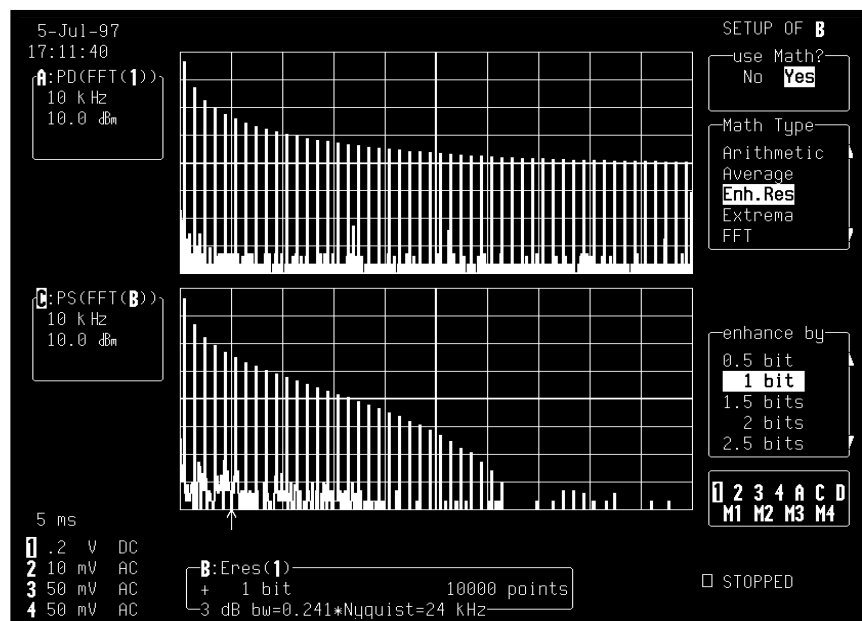
Die Beispiele auf den folgenden Seiten veranschaulichen die Verwendung der Filtertechnik.



Beispiele

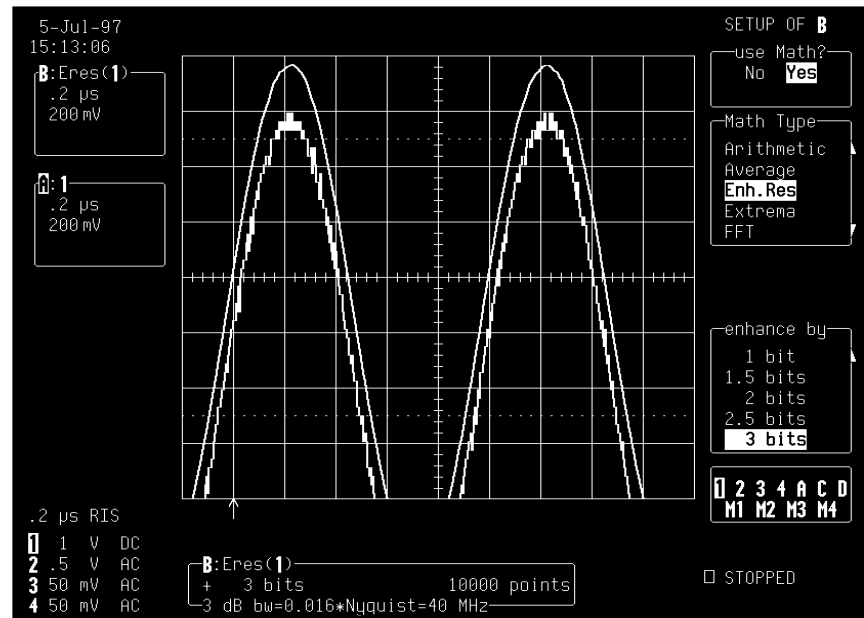
Tiefpaßfilterung

Die Abbildung unten zeigt das Spektrum eines Rechtecksignals vor (oberes Gitter) und nach (unteres Gitter) Hinzuschalten digitaler Filter. Das Ergebnis zeigt deutlich, daß die Filter hochfrequente Komponenten aus dem Signal herausgefiltert haben. Je höher die Anzahl der digitalen Filter, desto niedriger die resultierende Bandbreite.

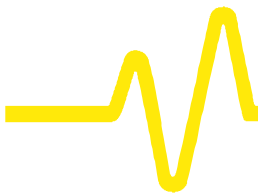


Erhöhung der Vertikalauflösung

Im folgenden Beispiel wurde der untere Signalzug durch eine Verbesserung der Auflösung um 3 Bit deutlich geglättet.

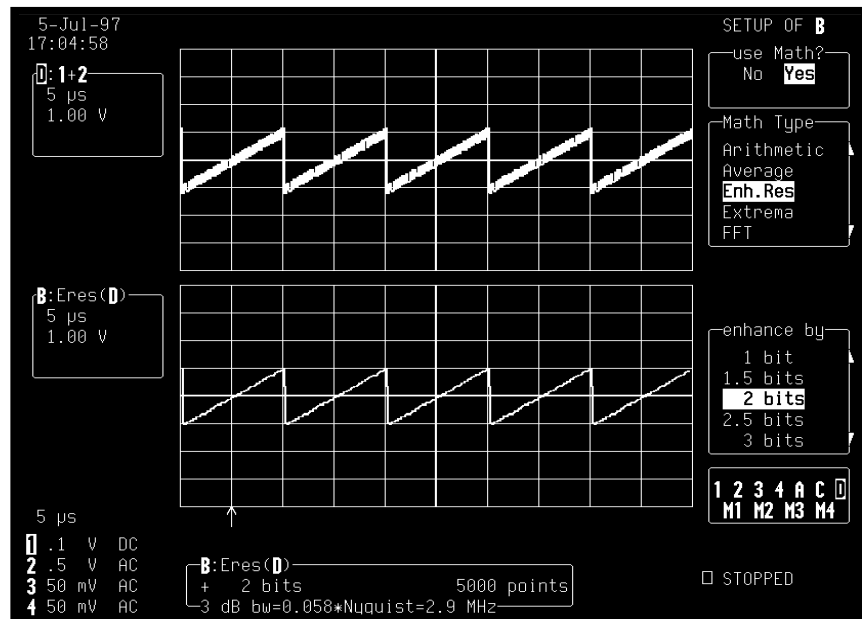


Hinweis: Obwohl das ursprüngliche Signal stark überabtastet wurde, reicht die Bandbreite immer noch aus, um das Signal nicht zu verzerren.



Rauschminderung

Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkung digitaler Filter auf ein verrauschtes Signal. Auf den ursprünglichen Signalzug (oberes Gitter) wurde ein die Auflösung um 2 Bit verbesserndes Filter angewendet. Das Ergebnis (unteres Gitter) zeigt einen geglätteten Signalzug, aus dem die meisten Rauschanteile herausgefiltert wurden.



Hinweise

- Der Modus "Enhanced Resolution" verbessert lediglich die Auflösung eines Signals; er kann jedoch nicht die Genauigkeit oder Linearität der ursprünglichen Quantisierung durch den 8-Bit-AD-Wandler verbessern.
- Der Zwang zu guter zeitlicher Auflösung läßt nicht die Verwendung völlig "flacher" Filter zu. Deshalb verursacht der Durchlaßbereich bei Signalen, die nahe der Grenzfrequenz liegen, leichte Signaldämpfung. Die höchsten Durchlaßfrequenzen können leicht gedämpft werden. Das Frequenzverhalten typischer digitaler Filter (um 2 Bit verbessernde Filter) wird in der Abbildung unten gezeigt, die die -3 dB-Grenzfrequenz von 5,8% der Nyquist-Frequenz zeigt.
- Das Filtern muß an endlichen Satzlängen durchgeführt werden. Deshalb gehen am Beginn und am Ende des Signals Daten verloren, und der Signalzug ist nach dem Filterprozeß etwas kürzer.
- Die Anzahl der verlorengegangenen Abtastungen entspricht genau der Länge der Impulsantwort des benutzten Filters und variiert somit zwischen 2 und 117 Abtastungen. Da das Oszilloskop über tiefe Signalspeicher verfügt, wird dieser Verlust normalerweise nicht stören – nur 0,2% eines 50k-Punkte umfassenden Signals. Der Befehl, einen Datensatz zu filtern, der so kurz ist, daß keine Datenausgabe erfolgen würde, kann zwar erteilt werden, jedoch würde das Oszilloskop in diesem Fall den Filtervorgang nicht zulassen.

