

Meßwertglättung durch steuerbares Digitalfilter

CLAUS KÜHNEL

Mitteilung aus dem Zentralinstitut
des Sportmedizinischen Dienstes Kreischa

Analysenmeßsysteme erfassen physikalische Größen, die durch entsprechende Wandler in elektrische Signale umgesetzt wurden. Unter der Voraussetzung einer hinreichend hohen Auflösung, die durch den Einsatz von Analog-Digital-Umsetzern einer Verarbeitungsbreite von 10 bit und mehr für viele Fälle erfüllt sein dürfte, begrenzt das Rauschen des Eingangssignales die Signalverarbeitung. Die Ursachen für diese Rauschteile liegen zum einen in den Wandlereigenschaften, häufig aber auch bei der zu untersuchenden physikalischen Größe selbst. Beim Vorliegen eines unterschiedlichen Frequenzganges von Stör- und Nutzsignal lassen sich die bekannten frequenzselektiven Methoden zur Unterdrückung unerwünschter Störsignale anwenden. In rechnergestützten Meßsystemen kann die Störsignalunterdrückung durch Digitalfilter vorgenommen werden, die durch den Rechner oder Mikrorechner selbst gestaltet werden. Durch Digitalfilter wird der erforderliche schaltungstechnische Aufwand für ein Analogfilter (z.B. als aktives RC-Filter) reduziert. Das Digitalfilter hat Eigenschaften, die mit analogen Strukturen nicht erreichbar sind.

Für ein Meßsystem der gekoppelten Gaschromatografie/Massenspektrometrie wurde ein Algorithmus erstellt, der die Glättung von gestörten Meßwerten vornimmt. Dem Algorithmus liegt eine Polynomapproximation der Meßwerte zu ausgewählten Abtastzeitpunkten zugrunde.

Bei der Wahl von $n + 1$ Abtastwerten kann die Zeitfunktion $f(t)$ durch ein Polynom vom Grade $m \leq n$ approximiert werden. Nach [1] erhält man bei sieben Stützstellen die Beziehungen

$$\bar{f}_i = \sum_{j=-3}^3 a_{i+j} f_{i+j} \quad (1)$$

mit

In diesem Beitrag wird ein Rechneralgorithmus vorgestellt, der die Glättung von durch Rauschen gestörten Meßwerten vornimmt. Ein Beispiel aus der Gaschromatografie/Massenspektrometrie verdeutlicht seine Wirkung.

$$a_{i+j} = \frac{1}{7} \quad (-3 \leq j \leq 3) \quad \text{für } m = 1$$

bzw.

$$\left. \begin{aligned} a_{i \pm 3} &= \frac{5}{231} \\ a_{i \pm 2} &= -\frac{30}{231} \\ a_{i \pm 1} &= \frac{75}{231} \\ a_i &= \frac{131}{231} \end{aligned} \right\} \text{für } m = 5$$

für den geglätteten Meßwert. Nachteilig für den allgemeinen Anwendungsfall sind die starren Koeffizienten $a_{i,j}$ in Gl. (1). Eine Steuerung der Koeffizienten $a_{i,j}$ kann durch die folgende Modifikation der Gl. (1) vorgenommen werden:

$$\bar{f}_i = \frac{1}{N} (x^3 f_{i \pm 3} + x^2 f_{i \pm 2} + x f_{i \pm 1} + f_i) \quad (2)$$

mit

$$\begin{aligned} N &= 2x^3 + 2x^2 + 2x + 1 \\ 0 &\leq x \leq 1 \end{aligned}$$

Für die rechentechnische Realisierung der mit Gl. (2) gegebenen Vorschrift kann das im Bild 1 angegebene Schema zugrunde gelegt werden. Bei dieser Struktur handelt es sich um eine nichtrekursive Filterstruktur, deren Übertragungsverhalten durch die aus Gl. (2) ableitbare Übertragungsfunktion im z -Bereich beschrieben werden kann [2]:

$$\begin{aligned} H(z) &= a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3} \\ &\quad + a_4 z^{-4} + a_5 z^{-5} + a_6 z^{-6} \end{aligned} \quad (3)$$

Bei Vorgabe der Koeffizienten a_k ($0 \leq k \leq 6$) und der Substitution $z = \exp(j\omega T)$ kann der Frequenzgang des Digitalfilters berechnet werden. Allgemein gilt:

$$H(z) = \sum_{k=0}^w a_k z^{-k} \quad (4)$$

$$H^*(\omega) = \sum_{k=0}^w a_k \exp(-jk\omega T) \quad (5)$$

Ersetzt man $\exp(-jx)$ durch $\cos x - j \sin x$, dann erhält man aus Gl. (5)

$$H^*(\omega) = \sum_{k=0}^w a_k (\cos k\omega T - j \sin k\omega T) \quad (6)$$

und nach anschließender Betragsbildung den gewünschten Frequenzgang $H(\omega)$. Zu dessen Berechnung und zur Darstellung im Bodediagramm wurde ein Rechenprogramm erarbeitet, das nach Vorgabe der Koeffizienten a_k und der Abtastperiode T die im Bild 2 gezeigte Darstellung erzeugt.

Aus der Darstellung des Frequenzganges wird der Einfluß der Steuergröße x , für die auch die Bezeichnung Smoothing Factor Verwendung findet, auf den Frequenzgang ersichtlich. Bei der Bildung des gleitenden Mittelwertes ($x = 1$) werden die Frequenzen $f_i = i/(n + 1)T$ mit $i = 1$ bis 6 durch die wirksam werdenden Übertragungsnulstellen maximal gedämpft. Wegen der Welligkeit der Dämpfungscharakteristik im Sperrbereich kann für den Fall $x = 1$ von einer minimalen Sperrdämpfung von $A_{\min}(1) = 30$ dB ausgegangen werden. Der Sperrbereich wird bei einer Frequenz $f_{sp} = 0,25$ Hz erreicht. Werden nun die Filterkoeffizienten a_k durch Verkleinerung der Steuergröße x reduziert, ist bei Werten von $0,5 \leq x \leq 1$ eine Vergrößerung der minimalen Sperrdämpfung und des Abstandes von Durchlaß- und Sperrbereich zu erwarten. In einem normierten Tiefpaß-Toleranzschema kommt dieser Sachverhalt, wie im Bild 3 gezeigt, zum Ausdruck.

Will man sich den erforderlichen Aufwand für die Realisierung der im Bild 3 gezeig-

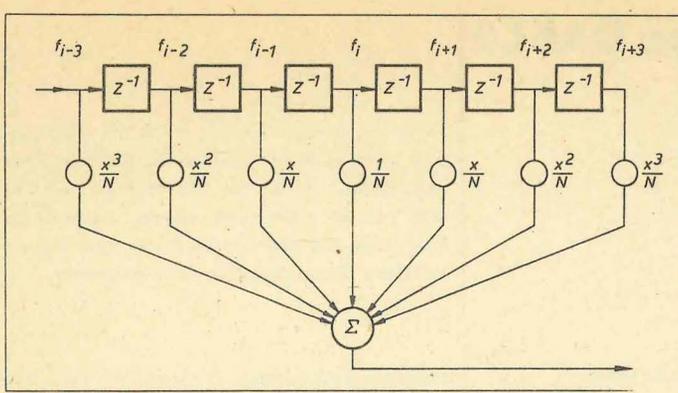


Bild 1: Steuerbares Glättungsfilter ($N = 2x^3 + 2x^2 + 2x + 1$, $x =$ Steuergröße)

Bild 2: Amplituden-Frequenzgang eines nichtrekursiven Digitalfilters ($n = 6$, $T = 0,5$ s)

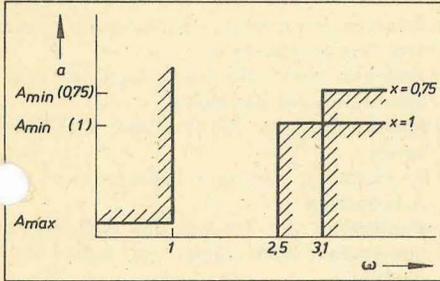


Bild 3: Normiertes Tiefpaß-Toleranzschema zum Bild 2

Ein beträchtlicher Unterschied zwischen der analogen und der digitalen Filterrealisierung besteht hinsichtlich des Einschwingverhaltens. Betrachtet man die Sprungantwort, dann ist bei der Bildung des gleitenden Mittelwertes ($x = 1$) der Einschwingvorgang nach n Schritten (in diesem Fall 3 s) abgeschlossen. Beim Analogfilter gilt näherungsweise $t_E \approx 3T_{max}$, wodurch die Einschwingzeit etwa 30 s erreichen würde. Nähere Angaben zum Einschwingverhalten sind u. a. in [4] zu finden. Zur Erprobung des mit Gl. (2) gegebenen Filteralgorithmus

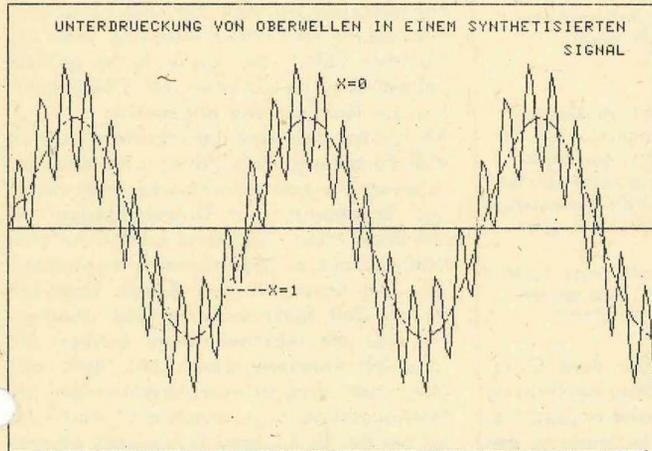
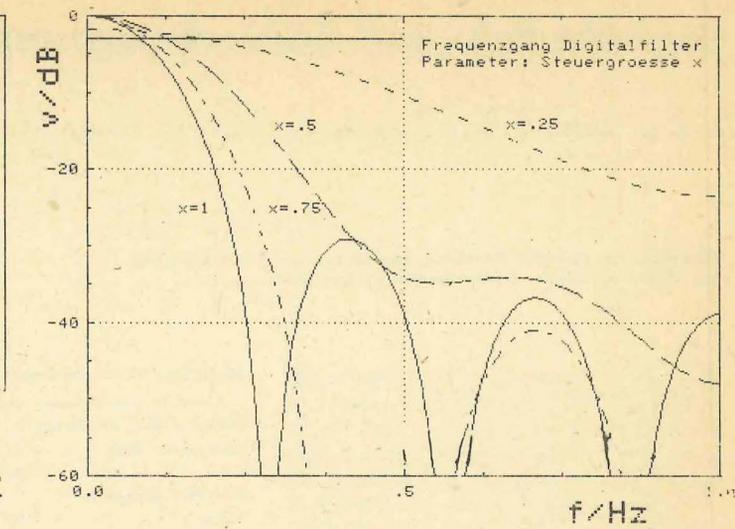


Bild 4: Unterdrückung von Oberwellen in einem synthetisierten Signal



Literatur

- [1] Beresin, I. S.; Shidkow, N. P.: Numerische Methoden. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1970
- [2] Huelsman, I. P. (Hrsg.): Active Filters: Lumped, distributed, integrated, digital, and parametric. New York: McGraw-Hill Book Comp. 1970
- [3] Fritzsche, G.: Informationsübertragung (Wissenspeicher). Berlin: VEB Verlag Technik 1977
- [4] Kühnel, C.: Einschwingverhalten von Filtern 1. bis 5. Grades. radio fernsehen elektronik, Berlin 26 (1977) 18, S. 594, 599 und 600

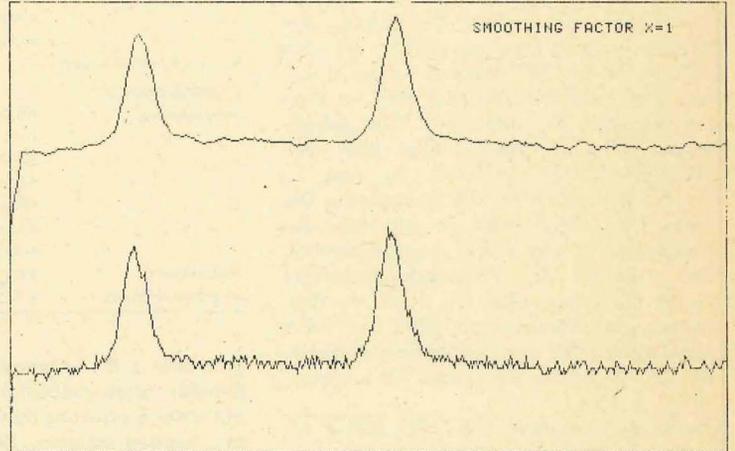


Bild 5: Rauschunterdrückung in einem Chromatogramm. Oben: geglättetes Signal; unten: ursprüngliches Signal

ten Dämpfungscharakteristik für $x = 1$ als Analogfilter vergegenwärtigen, ist die Dämpfungscharakteristik entsprechend zu approximieren. Hier soll von einem Potenzverhalten der Dämpfungscharakteristik ausgegangen werden. Mit den für $x = 1$ geltenden Parametern erhält man einen erforderlichen Filtergrad von $n = 4$ [3]. Ausgehend von einer Kaskodenrealisierung mit Filterbausteinen zweiten Grades, erhält man Polgüten von $Q_1 = 1,3$ und $Q_2 = 0,54$, die problemlos realisierbar sind. Weniger problemlos sind die entsprechenden Zeitkonstanten von $\tau \approx 10$ s, wodurch bei Kapazitätswerten $C \leq 4,7 \mu F$ Widerstandswerte $R \geq 2 M\Omega$ erforderlich werden. Die Schaltelementaufwendungen belaufen sich damit auf vier Kapazitäten, zwei (BiFET-)Operationsverstärker und etwa zehn frequenz- bzw. verstärkungsbestimmende Widerstände.

mus wurde von einem synthetisierten Eingangssignal

$$f(t^*) = \sin(2\pi t^*) + \frac{1}{2} \sin(20\pi t^*)$$

ausgegangen. Im Bild 4 ist die Unterdrückung der bei der zehnfachen Frequenz liegenden Oberwelle für den Fall der gleitenden Mittelwertbildung ($x = 1$) dargestellt.

Im praktischen Einsatz wird der beschriebene Filteralgorithmus zur Glättung von Meßwerten aus gaschromatografisch-massenspektrometrischen Messungen verwendet. Im Bild 5 ist ein Ausschnitt aus einem Chromatogramm dargestellt. Durch die freie Wahl des Smoothing Factors im Dialog eines Programms zur grafischen Meßwertdarstellung läßt sich die vorgenommene Glättung der Meßwerte an das jeweilige Problem anpassen.

Rundfunk- und Fernsehmechanikermeister

sucht selbständiges Betätigungsfeld im Raum Karl-Marx-Stadt (Mikro-, Heim-, Musikelektronik, Ratiomittel, Akustik o.ä.)

Zuschriften an:

1909/3 BAZ,
9010 Karl-Marx-Stadt
PSF 447