

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 938/94

(51) Int.Cl.⁶ : H03H 17/04

(22) Anmeldetag: 5. 5.1994

(42) Beginn der Patentdauer: 15.10.1996

(45) Ausgabetag: 25. 6.1997

(56) Entgegenhaltungen:

''DIGITAL CODING OF WAVEFORMS'', JAYANT N.S., NOLL P.,
PRENTICE-HALL; NEW JERSEY 1984
''A FAST COSINE TRANSFORM IN ONE OR TWO DIMENSIONS'';
MAKHLOUL J.; IEEE TRANS.ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL
PROCESSING; VO. ASSP-28 PP. 27-34, 1980
EP 275979A2

(73) Patentinhaber:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT ÖSTERREICH
A-1210 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

KRAKER ALFRED ING.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG DER DISKRETEN-KOSINUS-TRANSFORMATION

(57) Es wird ein Verfahren zur Durchführung der Diskreten-Kosinus-Transformation an einem abgetasteten Eingangssignal über N Abtastwerte angegeben, mittels welchem die Diskrete- Kosinus-Transformation besonders einfach realisiert werden und laufend durchgeführt werden kann, wobei bei dem erfindungsgemäßen Verfahren keine Stabilitätsprobleme auftreten.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung der Diskreten-Kosinus-Transformation an einem abgetasteten Eingangssignal über jeweils N Abtastwerte.

Die Diskrete-Kosinus-Transformation (DCT) wie sie beispielsweise in " Digital Coding of Waveforms"; Jayant N.S., Noll,P.; Prentice-Hall; New Jersey 1984; oder in " A Fast Cosine Transform in One or Two Dimensions"; Makhoul,J.; IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing; vo. ASSP - 28pp.27-34, 1980; beschrieben ist, hat für die digitale Signalverarbeitung große Bedeutung, da sie sich für wichtige Signalklassen nahezu optimal verhält.

Ihre Durchführung ist jedoch aufwendig und zeitintensiv, wodurch der Einsatz nur eingeschränkt möglich ist.

Aus der EP 275 979 A2 ist ein Verfahren zur diskreten Kosinustransformation bekannt, welches auf blockweiser Bearbeitung des abgetasteten Eingangssignales beruht. Die blockweise Bearbeitung ist jedoch bei periodischen Signalen mit langer Periodendauer problematisch, da für eine fehlerfreie Bearbeitung das Eingangssignal innerhalb des Blockes voll definiert sein muß.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Durchführung der DCT anzugeben, welches mit herkömmlichen technischen Mitteln rasche und genaue Ergebnisse liefert.

Erfindungsgemäß geschieht dies mit einem Verfahren der eingangs genannten Art, bei dem

- aus dem abgetasteten Eingangssignal $\{x[n]\}$ ein gegenüber diesem um N Abtastintervalle verzögertes und mit dem Faktor (R) gewichtetes Hilfssignal $\{x[n-N]\}$ gewonnen wird, wobei der Faktor (R) mit $R = -(1-\epsilon)^N$ festgelegt ist,
- bei dem das abgetastete Eingangssignal $\{x[n]\}$ und das Hilfssignal $\{x[n-N]\}$ summiert werden und so ein erstes Zwischensignal $z_1[n]$ gewonnen wird,
- bei dem weiterhin das mit -1 multiplizierte abgetastete Eingangssignal $\{x[n]\}$ und das Hilfssignal $\{x[n-N]\}$ summiert werden und so ein zweites Zwischensignal $z_2[n]$ gewonnen wird,
- bei dem durch Filterung aus dem ersten Zwischensignal $z_1[n]$ die gewünschten geradzahigen Komponenten der Diskreten-Kosinus-Transformation $X(k)$ mit $k = 0,2,4,6 \dots$ und aus dem zweiten Zwischensignal $z_2[n]$ die gewünschten ungeradzahigen Komponenten $X(k)$ mit $k = 1,3,5 \dots$ gewonnen werden, wobei die verwendeten Filter jeweils eine Systemfunktion gemäß

$$H_2(z) = \frac{\cos \frac{k\pi}{N} - r \cos \frac{k\pi}{N} z^{-1}}{1 - 2r \cos \frac{k\pi}{N} z^{-1} + r^2 z^{-2}} \quad \text{mit } r = (1-\epsilon) \quad \epsilon > 0$$

aufweisen.

Durch die Wahl eines $\epsilon \ll 1$, also eines marginalen Wertes der aber die Stabilität des Verfahrens sichert, wird eine hohe Güte der Transformation erzielt.

Vorteilhafterweise liegen die ϵ -Werte in der Größenordnung von einigen LSB's (Least Significant Bit) des abgetasteten Signales.

Wenn das Hilfssignal $\{x[n-N]\}$ zu Beginn des Verfahrens für N Abtastwerte gleich Null gesetzt wird, liefert das Verfahren definitionsgemäße Werte.

Vorteilhaft ist es auch, wenn vor der Filterung eine Verstärkung der Zwischensignale ($z_1[n]$, $z_2[n]$) erfolgt, wobei der Betrag der Verstärkung = 2 für die Komponenten $X(k)$ mit $k \neq 0$ und = 1 für $X(k)$ mit $k = 0$ beträgt. Dadurch liefert die Transformation exakte Werte.

Besonders günstig ist es auch, wenn die Diskrete-Kosinus-Transformation laufend über jeweils N Abtastwerte erfolgt, die einem aktuellen Abtastwert unmittelbar vorausgehen.

Die Erfindung wird anhand einer Figur näher erläutert, welche beispielhaft eine Schaltung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt.

Diese Schaltung kann durch entsprechende Hardwarekomponenten aufgebaut sein, es ist aber auch möglich diese Schaltung mit Hilfe eines dafür in geeigneter Weise programmierten Rechners, beispielsweise eines Digitalen Signalprozessors zu realisieren. Die einzelnen Schaltungskomponenten werden dann durch entsprechende Programmabschnitte verwirklicht.

Die Schaltung umfaßt eine Kette von N Speicherzellen z^{-1} an deren Eingang das abgetastete Eingangssignal $x[n]$ anliegt und die so geschaltet sind, daß an ihrem Ausgang ein um N Abtastperioden verzögertes Hilfssignal $x[n-N]$ vorliegt.

Weiterhin sind Verstärker V und Addierer A vorgesehen, mittels denen Eingangssignal und Hilfssignal zu einem ersten und einem zweiten Zwischensignal $z_1[n]$ und $z_2[n]$ verknüpft werden. Aus den Zwischensignalen werden mittels rekursiver Filter zweiter Ordnung F die Komponenten der Diskreten- Kosinus-Transformation gewonnen.

Die mit dieser Schaltung realisierte Systemfunktion lautet wie folgt:

$$H_{DCT}(k,z) = 2^{\alpha(k)} \cdot \left[(-1)^k - (1-\varepsilon)^N \cdot z^{-N} \right] \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right) - (1-\varepsilon) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right) \cdot z^{-1}}{1 - 2 \cdot (1-\varepsilon) \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{N} \cdot \left(\frac{k}{2}\right)\right] \cdot z^{-1} + (1-\varepsilon)^2 \cdot z^{-2}}$$

$$\alpha(k) = 1 \quad k \neq 0$$

$$\alpha(k) = \frac{1}{2} \quad k = 0 \quad \varepsilon > 0 \quad \varepsilon \ll 1$$

Die diskrete Kosinus -Transformation einer Eingangsfolge $x[n]$ entsprechend dieser Systemfunktion erstreckt sich jeweils über die N Abtastwerte, die dem gerade aktuellen Abtastwert unmittelbar vorausgehen, d.h. über die Glieder der Folge $x[n-N]$, $x[n-N+1]$, ..., $x[n-1]$, wobei jede der k Komponenten, $k=0,1,\dots,N-1$ an einem eigenen Ausgang vorliegt.

Die Vorgangsweise bei der Ermittlung der Komponenten ist dabei abhängig davon, ob eine gerade - oder eine ungeradzählige Komponente erhalten werden soll. Für alle Komponenten gleichartig ist dabei die Gewinnung eines Hilfssignales $x[n-N]$ mittels einer Speicherkette von N Speichern (z^{-1}) und eines Verstärkers V.

Für die geradzähligen Komponenten $k=0,2,4,\dots$ wird daraus durch Addition zum Eingangssignal der Verzögerungskette $x[n]$ ein erstes Zwischensignal $z_1[n]$ gebildet. Für die ungeradzähligen Komponenten $k=1,3,\dots$ wird zu diesem Hilfssignal das mit -1 multiplizierte Eingangssignal addiert und so ein zweites Zwischensignal $z_2[n]$ erzeugt.

Gemäß der Definition der Diskreten-Kosinus-Transformation (DCT) ist zur Erreichung exakter Absolutwerte eine Skalierung - mit Ausnahme im Falle von $k=0$ - dieser Zwischensignale $z_1[n]$, $z_2[n]$, , d. h. Multiplikation mit dem Faktor 2, vorzunehmen, doch könnte dies auch an anderer Stelle im Signalpfad, z.B. direkt am Eingang, erfolgen. Wenn die Werte genau nach Definition der DCT nicht von Interesse sind, weil beispielsweise nur die Relation der Komponenten zueinander ausgewertet wird, wie dies insbesondere in der Spracherkennung oftmals geschieht, kann auf diese Skalierung verzichtet, oder auch eine andere Skalierung vorgesehen werden.

Unter Berücksichtigung, ob eine gerade oder ungerade Komponente k aus den Zwischensignalen zu ermitteln ist, wird entweder der das erste Zwischensignal $z_1[n]$ oder das zweite Zwischensignal $z_2[n]$ liefernde Signalpfad an den Eingang eines, die k-te Komponente der DCT an seinem Ausgang lieferndes, rekursiven Filters vom Grad $n=2$ angeschlossen. Für dieses rekursive Filter sind grundsätzlich eine große Anzahl von Strukturen bekannt. Beim vorliegenden Beispiel wird die sogenannte direkte Form II benutzt, bei der mit der minimal nötigen Anzahl von Speichern auskommen wird. Erfindungsgemäß werden die Koeffizienten dieser rekursiven Struktur so gewählt, daß die Systemfunktion

$$H_2(k,z) := \frac{\cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right) - (1-\varepsilon) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right) \cdot z^{-1}}{1 - 2 \cdot (1-\varepsilon) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot k\right) \cdot z^{-1} + (1-\varepsilon)^2 \cdot z^{-2}}$$

erhalten wird. Dies wird unter anderem dadurch erreicht, daß der dem Nenner in $H_2(k,z)$ entsprechende rekursive Teil dadurch realisiert ist, daß das Eingangssignal für das rekursive Filter- d.h. eines der, mit 2 multiplizierten Zwischensignale $z_1[n]$, $z_2[n]$ - einem Addierer zugeführt wird, der zu ihm sein, um einen

Abtastwert verzögertes Ausgangssignal - nach Multiplikation mit

$$2 \cdot (1 - \epsilon) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot k\right)$$

5

- und auch sein um zwei Abtastwerte verzögertes Ausgangssignal - nach Multiplikation mit $-r^2$ - addiert und daß dieses so gewonnene Signal, zur Bildung des Zählers von $H_2(k,z)$, einem weiteren Addierer nach

10

Multiplikation mit

$$\cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right)$$

15

zugeführt wird, an dessen zweiten Eingang das um einen Abtastwert verzögerte Ausgangssignal des ersten Addierers nach Multiplikation mit

20

$$(1 - \epsilon) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{N} \cdot \frac{k}{2}\right)$$

25 geschaltet ist, wodurch am Ausgang dieses zweiten Addierers die k-te Komponente der DCT erhalten wird.

Ein vorteilhaftes Merkmal der Erfindung besteht darin, daß $\epsilon > 0$ eine marginale Größe ist, welche die Stabilität des Filters sichert; für den Fall eines negativen ϵ würde Instabilität drohen.

Zu Beginn der Filteranwendung werden jeweils alle Speicher mit dem Wert "Null" versehen wodurch ein stabiler und betragsrichtiger Hochlauf des Systems erreicht wird.

30 Durch Addition der Komponenten $X(k)$ der DCT wird die inverse DCT gebildet und damit - laufende Ermittlung vorausgesetzt - das Eingangssignal verzögert erhalten.

Durch Gewichtung der Komponenten $X(k)$ vor der Addition wird ein Filtereffekt erreicht der insbesondere zur adaptiven Entzerrung beispielsweise von Audiosignalen vorteilhaft eingesetzt werden kann.

35 Bevorzugtes Anwendungsgebiet derartiger adaptiver Entzerrer sind Kommunikationseinrichtungen wie beispielsweise Mobiltelefone.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung der Diskreten-Kosinus-Transformation an einem abgetasteten Eingangssignal $x[n]$ über jeweils N Abtastwerte, wobei aus dem abgetasteten Eingangssignal ein Hilfssignal gewonnen wird, **dadurch gekennzeichnet**,

40

- daß das Hilfssignal $x[n-N]$ gegenüber dem Eingangssignal $x[n]$ um N Abtastintervalle verzögert und mit dem Faktor (R) gewichtet ist, wobei der Faktor (R) mit $R = -(1-\epsilon)^N$ festgelegt ist,
- daß das abgetastete Eingangssignal $x[n]$ und das Hilfssignal $x[n-N]$ summiert werden und so ein erstes Zwischensignal $z_1[n]$ gewonnen wird,
- daß weiterhin das mit -1 multiplizierte abgetastete Eingangssignal $x[n]$ und das Hilfssignal $x[n-N]$ summiert werden und so ein zweites Zwischensignal $z_2[n]$ gewonnen wird,
- daß durch Filterung aus dem ersten Zwischensignal $z_1[n]$ die gewünschten geradzahigen Komponenten der Diskreten-Kosinus-Transformation $(X(k); k = 0,2,4,6 \dots)$ und aus dem zweiten Zwischensignal $z_2[n]$ die gewünschten ungeradzahigen Komponenten $(X(k); k = 1,3,5 \dots)$ gewonnen werden, wobei die verwendeten Filter jeweils eine Systemfunktion gemäß

45

50

55

$$H_2(z) = \frac{\cos \frac{k\pi}{N} - r \cos \frac{k\pi}{N} z^{-1}}{1 - 2r \cos \frac{k\pi}{N} z^{-1} + r^2 z^{-2}}$$

mit $r = (1 - \varepsilon)$

$\varepsilon > 0$

aufweisen.

2. Verfahren nach Anspruch 1

dadurch gekennzeichnet,

daß das Hilfssignal $\{x[n-N]\}$ zu Beginn des Verfahrens für N Abtastwerte gleich Null gesetzt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2

dadurch gekennzeichnet,

daß vor der Filterung eine Verstärkung der Zwischensignale $\{z_1[n], z_2[n]\}$ erfolgt, wobei der Betrag der Verstärkung für die Komponenten $\{X(k); k \neq 0\}$ gleich 2 ist und für die Komponente $\{X(k); k = 0\}$ gleich 1 ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3

dadurch gekennzeichnet,

daß die Diskrete-Kosinus-Transformation laufend über jeweils N Abtastwerte erfolgt, die einem aktuellen Abtastwert unmittelbar vorausgehen.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

Figur 1

