



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 29 038 T2** 2006.08.24

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 060 470 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 29 038.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/28652**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 961 927.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2000/041162**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.12.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **13.07.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.12.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **21.12.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.08.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G10K 11/34** (2006.01)

G01S 7/52 (2006.01)

G01S 15/89 (2006.01)

G06F 7/544 (2006.01)

G06F 7/552 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
223950 **31.12.1998** **US**

(73) Patentinhaber:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, NL

(72) Erfinder:
MILLER, C., Steven, Waukesha, US

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR VERTEILTEN, SCHNELLEN BERECHNUNG VON ZEIT-
VERZÖGERUNGS- UND APODISIERUNGSWERTEN BEI DER STRAHLFORMUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Diese Erfindung betrifft allgemein kohärente Bildgebungsverfahren, die eine phasengesteuerte Array- oder Gruppenantenne verwenden. Insbesondere betrifft die Erfindung Strahlformungsmethoden zur Verwendung in Ultraschallbildgebungssystemen.

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0002] Ein medizinisches Ultraschallsystem erzeugt ein Bild durch Erfassung einzelner Ultraschalllinien (oder Strahlen). Die Linien sind benachbart zueinander angeordnet und decken den abzubildenden Zielbereich ab. Jede Linie wird durch Aussendung eines Ultraschallimpulses in eine bestimmte räumliche Richtung und Empfang des reflektierten Echos von dieser Richtung gebildet. Die räumlichen Charakteristika der ausgesandten Welle und die Charakteristika der Empfangsempfindlichkeit bestimmen die Qualität des Ultraschallbildes. Es ist erwünscht, dass die Ultraschalllinie Zielinformationen lediglich aus der beabsichtigten Richtung sammelt und Ziele in anderen Richtungen ignoriert.

[0003] Herkömmliche Ultraschallbildgebungssysteme weisen ein Array von Ultraschalltransducerelementen (Ultraschallwandlerelementen) auf, die verwendet werden, um einen Ultraschallstrahl auszusenden und anschließend den reflektierten Strahl von dem gerade untersuchten Objekt zu empfangen. Ein derartiges Scannen umfasst eine Reihe von Messungen, bei denen die fokussierte Ultraschallwelle ausgesandt wird, das System nach einer kurzen Zeitspanne auf die Empfangsbetriebsart umschaltet und die reflektierte Ultraschallwelle empfangen, strahlgebündelt und zur Anzeige verarbeitet wird. Ein derartiges System ist aus der Europäischen Patentanmeldung EP-A-0 782 126 bekannt. Gewöhnlich sind die Ausstrahlung und der Empfang während jeder Messung in derselben Richtung fokussiert, um Daten aus einer Reihe von Punkten entlang einer akustischen Strahl- oder Scannlinie zu gewinnen. Der Empfänger wird bei Empfang der reflektierten Ultraschallwellen dynamisch auf eine Folge von Bereichen entlang der Scannlinie fokussiert.

[0004] Zur Ultraschallbildgebung weist das Array gewöhnlich eine Vielzahl von Transducerelementen auf, die in einer oder mehreren Reihen angeordnet sind und mit gesonderten Spannungen angesteuert werden. Durch Auswahl der Zeitverzögerung (oder Phase) und der Amplitude der angelegten Spannungen können die einzelnen Transducerelemente in einer gegebenen Reihe derart gesteuert werden, dass Ultraschallwellen erzeugt werden, die sich so bündeln oder kombinieren, dass eine Netto-Ultraschallwelle erzeugt wird, die sich entlang einer bevorzugten Vektorrichtung ausbreitet und in einem ausgewählten Bereich entlang des Strahls fokussiert ist. Die Strahlformungs- bzw. Strahlbündelungsparameter jeder Feuerung können variiert werden, um eine Änderung der maximalen Fokussierung zu erzielen oder anderweitig den Inhalt der empfangenen Daten für jede Feuerung zu ändern, indem beispielsweise aufeinander folgende Strahlen entlang derselben Scannlinie ausgesandt werden, wobei die Fokuszone jedes Strahls in Bezug auf die Fokuszone des vorhergehenden Strahls verschoben wird. In dem Fall eines Phasen gesteuerten Arrays kann durch Veränderung der Zeitverzögerungen und der Amplituden der angelegten Spannungen der Strahl mit seiner Fokuszone in eine Ebene bewegt werden, um das Objekt zu scannen. Im Falle eines linearen Arrays wird ein senkrecht zu dem Array gerichteter fokussierter Strahl über dem Objekt gescannt, indem die Apertur zwischen einer Feuerung und der nächsten über das Array verfahren wird.

[0005] Dieselben Prinzipien gelten, wenn eine Transducersonde in einer Empfangsbetriebsart zum Empfangen des reflektierten Schalls eingesetzt wird. Die an den Empfangstransducerelementen erzeugten Spannungen werden so aufsummiert, dass das Nettosignal den von einer einzelnen Fokuszone in dem Objekt reflektierten Ultraschall kennzeichnet. Wie bei der Sendebetriebsart wird dieser fokussierte Empfang der Ultraschallenergie durch Beaufschlagung des von jedem Empfangstransducerelement herrührenden Signals mit gesonderten Zeitverzögerungen (und/oder Phasenverschiebungen) und Verstärkungen erreicht. Die Zeitverzögerungen werden mit zunehmender Tiefe des zurückgegebenen Signals angepasst, um beim Empfang eine dynamische Fokussierung zu erzielen.

[0006] In einem typischen Ultraschallsystem trägt die Strahlformungssteuerung wesentlich zu dem Leistungsverhalten und den Kosten des Systems bei. Für jeden Strahl und jeden Kanal müssen mit einer hohen Geschwindigkeit eine dynamische Empfangsverzögerung erzeugt und eine Apodisationssteuerung bewerkstelligt werden. Häufig sind für ein High-End-System bis zu 512 Strahlenkanäle mit einer Aktualisierungsrate von bis zu 10 MHz erforderlich. Die Berechnung von Verzögerungen und der Apodisation für einen Ultraschallstrahlformer während eines dynamischen Empfangs erfordert komplexe Berechnungen, einschließlich transzenden-

ter Funktionen. Normalerweise wird ein Kompromiss zwischen der Bildqualität und den Kosten erzielt, indem Näherungen zweiter oder dritter Ordnung für diese Funktionen verwendet werden. Darüber hinaus werden häufig große Speicher dazu verwendet, vorausberechnete Steuerungen für vorbestimmte Strahlpositionen und Parameter zu speichern. Die Verwendung gespeicherter vorausberechneter Werte begrenzt die Fähigkeit des Systems, die Strahlposition oder Parameter in Abhängigkeit von Situationen beim Scannen optimal neu anzupassen. Somit ist die Bildqualität beeinträchtigt, um schnellere Steuerungsansprechzeiten zu erreichen.

[0007] Es gibt eine große Vielfalt von Ausgestaltungen der Strahlformersteuerung, die momentan verwendet werden. Sie alle nutzen eine Kombination aus großen Parameterspeichern mit wahlfreiem Zugriff (RAMs), Zustandsmaschinen, komplexen Berechnungen und Approximationen. Insofern bleiben sie in einem oder mehreren der Bereiche Agilität, Kosten oder Präzision hinter den Erwartungen zurück.

[0008] Agilität oder Flinkheit bedeutet die Fähigkeit, die Einstellung der Strahlformung für eine gesamte Bildgebungskonfiguration in einer Zeit zu ändern, die sehr viel kürzer ist als eine Sekunde, wobei die Einstellung Vektorphasenzentrumpositionen (Aperturpositionen), Steuerwinkel, f-Zahlen und Fokuspositionen enthält, während die Bildgebungskonfiguration alle Vektoren (Strahlen) beinhaltet, die auf der Abbildungskonsole angezeigt werden. Agilität bzw. Flinkheit bedeutet ferner die Fähigkeit, mit der Empfangsverzögerungsberechnung „mitten im Flug“, d. h. unmittelbar vor einem interessierenden Tiefenbereich, zu beginnen.

[0009] Die in vielen Patentschriften beschriebenen Steuerungseinrichtungen verwenden Zustandsmaschinen. Unglücklicherweise müssen diese Zustandsmaschinen unmittelbar nach der Aussendung zu laufen beginnen. Sie können nicht einfach für einen anderen Empfangsfokus wesentlich später nach einer Aussendung erneut geladen werden. Bei einigen Anwendungen mit hoher Framerate, insbesondere für volumetrische Bildgebung, ist es wünschenswert, einen Empfang zu starten, gerade noch bevor Echos von einem interessierenden Tiefenbereich empfangen werden. Zusätzlich verwendet wenigstens ein Verfahren nach dem Stand der Technik Parameter, die von dem Strahl und Element abhängig sind. Dies führt zu einer extrem großen Anzahl von Parametern und schließt Funktionen, wie Quadratwurzel und Sinusfunktion, mit ein. Dies macht eine Agilität unmöglich.

[0010] Andere Systeme enthalten eine inhärente Approximation, die die Genauigkeit der Zeitverzögerungen der Strahlformung begrenzt. Dies führt zu einem Verlust der Bildqualität, der sich häufig in Form einer schlechten Kontrastauflösung, d. h. einer schlechten Fähigkeit, sehr feine Unterschiede in vom Gewebe reflektierten Intensitäten oder in zystischen Bewegungen zu erfassen, äußert.

[0011] Genauere Systeme verwenden eine komplizierte Logik, um die erforderlichen Berechnungen durchzuführen. Da diese Schaltkreise entsprechend der Anzahl von Kanälen vielfach ausgeführt sein müssen, können sie einen wesentlichen Teil der Kosten von Systemen mit hoher Kanalzahl bilden.

[0012] Es besteht ein Bedarf nach einer neuen Strahlformungs- oder Strahlerzeugungsarchitektur, die keine großen Speicher zur Abspeicherung im Voraus berechneter Strahlformungswerte benötigt, die mit Transducerarrays einer beliebigen Geometrie gleich gut funktioniert und die agil, präzise und kostengünstig ist.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0013] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Strahlformungssystem gemäß Patentanspruch 1, ein Bildgebungssystem gemäß Anspruch 11 und ein Verfahren zur Ultraschallstrahlformung entsprechend Patentanspruch 15. Die vorliegende Erfindung betrifft eine Architektur zur Berechnung von Strahlformerzeitverzögerungen und Apodisationswerten in Echtzeit durch Verwendung eines Cordic-Drehers (nachfolgend „Cordic“), einer einfachen multipliziererärmeren Vorrichtung, die für Umwandlungen von Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten verwendet wird. Die Verwendung des Cordic-Drehers zur unmittelbaren Berechnung der Wurzel der Quadratsumme ohne Näherung oder eine komplexe Logik ergibt ein ideales Verhalten und eine ideale Flexibilität bei niedrigen Kosten. Das System kann die Strahlpositionen und Parameter schnell neu optimieren, ohne große vorgeschaltete Speicher neu berechnen oder grobe Näherungen verwenden zu müssen.

[0014] Gemäß den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung werden Cordic-Dreher in einem sehr agilen, effizienten und genauen Verfahren sowie in einer sehr agilen, effizienten und präzisen Einrichtung zur Berechnung von Apodisationsgewichtungen und Zeitverzögerungen für die Ultraschallstrahlformung verwendet. Die Apodisationsgewichtungen und Zeitverzögerungen werden in Echtzeit auf eine verteilte und kanalisierte Weise (und dem Pipeline-Prinzip) ohne die Notwendigkeit großer Speicher oder komplexer Zustandsmaschinen berechnet. Sie bilden keine inhärenten Approximationen. Die Präzision kann auf einfache Weise gesteuert

werden, um innerhalb der Genauigkeit der Verzögerungsvorrichtung zu liegen. Wenn ein Transducerarray an dem Ultraschallbildgebungssystem befestigt ist, werden die Elementpositionen in verhältnismäßig kleine verteilte Speicher eingeschrieben. Die Elementpositionen brauchen nicht erneut geladen zu werden, außer wenn die Arraygeometrie verändert wird. Bei der Bilderzeugung wird eine kleine Anzahl von Parametern vor jeder Aussendung und während jedes Empfangs übertragen. Diese Parameter können enthalten: Fokusposition(en), Multiplexer-Zustand (-Zustände), Aperturposition(en), Aperturgröße(n) und Vektorwinkel. Eine einfache Logik, die eine CORDIC-Drehung umfasst, vereinigt diese Parameter, um Zeitverzögerungen und eine Apodisation zur Strahlformung zu erzeugen. Die Fokusposition und Aperturen können für ein gesamtes Bild sehr schnell, innerhalb von Millisekunden, verändert werden. Die Empfangs-Fokuspositionen brauchen nicht auf der Haut-Linie anzufangen oder einer geraden Linie zu folgen, wie dies für Zustandsmaschinenlösungen erforderlich ist. Empfangs-Fokuspositionen können auf halbem Wege bzw. „mitten im Flug“ beginnen und können verformt oder verworfen werden, um parallele Strahlformungsverfahren zu kompensieren. Darüber hinaus kann die Arraygeometrie eine beliebige Form einnehmen; sie ist nicht auf herkömmliche lineare, konvexe und phasengesteuerte Arrays beschränkt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0015] [Fig. 1](#) zeigt ein Blockschaltbild unter Veranschaulichung eines herkömmlichen Ultraschallbildgebungssystems mit einem Strahlformer.

[0016] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Darstellung unter Veranschaulichung der Geometrie eines Ultraschalltransducerarrays.

[0017] [Fig. 3](#) zeigt ein Blockschaltbild unter Veranschaulichung einer agilen Architektur zur Steuerung der Verzögerung und Apodisation entsprechend den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung.

[0018] [Fig. 4](#) zeigt eine schematische Darstellung unter Veranschaulichung einer Koordinatendrehung zur Hypotenusenberechnung.

[0019] [Fig. 5](#) zeigt eine schematisierte Darstellung unter Veranschaulichung einer Koordinatendrehung zur Apodisationsprojektion.

[0020] [Fig. 6](#) zeigt ein Blockschaltbild unter Veranschaulichung eines N-stufigen CORDIC-Drehers.

[0021] [Fig. 7](#) zeigt ein Blockschaltbild unter Veranschaulichung einer Stufe eines CORDIC-Drehers.

[0022] [Fig. 8](#) zeigt ein Blockschaltbild in Form zweier Teilzeichnungen ([Fig. 8-1](#) und [Fig. 8-2](#)) unter Veranschaulichung einer Verzögerungsberechnungseinrichtung entsprechend der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

[0023] [Fig. 9](#) zeigt ein Blockschaltbild unter Veranschaulichung einer arithmetischen Logikeinheit (ALU, Arithmetic Logic Unit) der Verzögerungsberechnungseinrichtung entsprechend der bevorzugten Ausführungsform.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0024] Die Erfindung kann in jedes Ultraschallbildgebungssystem integriert werden, das eine Strahlbündelformung oder Strahlenbündelung verwendet. Ein Beispiel für das Vorstehende bildet ein B-Modus-Ultraschallbildgebungssystem, das zunächst allgemein beschrieben wird, bevor die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung in ihren Einzelheiten beschrieben wird.

[0025] In [Fig. 1](#) ist ein herkömmliches B-Modus-Ultraschallbildgebungssystem allgemein dargestellt. Das System weist ein Transducerarray **2** auf, das mehrere gesondert angesteuerte Transducerelemente **34** umfasst, von denen jedes ein Burst-Signal von Ultraschallenergie erzeugt, wenn es durch ein gepulstes Wellensignal angeregt wird, das durch einen Sender **8** erzeugt und über einen Satz von Sende/Empfangs (S/E)-Schalter **6**, die in einen Sendezustand geschaltet sind, und jeweilige Schalter eines Multiplexers **4**, die in einen Multiplex- oder MUX-Zustand geschaltet sind, gesandt wird. Die von dem gerade untersuchten Objekt zu dem Transducerarray **2** zurückreflektierte Ultraschallenergie wird durch jedes Empfangs-Transducerelement **34** in ein elektrisches Signal umgewandelt und über die Multiplexer-Schalter **4**, die in den MUX-Zustand geschaltet sind, sowie die S/E-Schalter **6**, die in einen Empfangszustand geschaltet sind, getrennt einem Empfangsstrahlenformer **10** zugeführt. Der Sender **8** und der Empfangsstrahlenformer **10** werden unter der Steu-

erung eines Host-Computers (einer Hauptsteuerungseinrichtung) **24** betrieben. Ein kompletter Scann wird durch Erfassung einer Reihe von Echos durchgeführt, wobei der Sender **8** für einen Moment in den EIN-Zustand geschaltet wird, um jedes Transducerelement **34** in der Sendeapertur mit Energie zu versorgen, und die nachfolgenden Echosignale, die durch jedes Transducerelement **34** erzeugt werden, dem Empfangsstrahlbündelformer **10** zugeführt werden. Der Empfangsstrahlformer **10** kombiniert die gesonderten Echosignale von jedem Transducerelement **34**, um ein einzelnes Echosignal zu erzeugen, das verwendet wird, um eine Linie in einem Bild auf einem Anzeigemonitor **22** zu erzeugen.

[0026] Die Eingangssignale des Empfangsstrahlformers sind die niederpegeligen analogen HF-Signale, die von den Transducerelementen **34** herrühren. Der Empfangsstrahlformer ist für die Analog-Digital-Wandlung und für die Empfangsstrahlbündelformung verantwortlich. In Basisband-Bildgebungssystemen wird das strahlsummierte Signal an einen Demodulator **12** ausgegeben, der das strahlsummierte Signal in Basisband-In-Phasen-Empfangsstrahlen I und Basisband-Quadratur-Empfangsstrahlen Q umwandelt. Die I- und Q-Schalldatenvektoren von dem Demodulator **12** werden zu jeweiligen FIR-Filtern **14** übermittelt, die derart mit Filterkoeffizienten programmiert sind, dass sie einen Band von Frequenzen durchlassen, das vorzugsweise um die Grundfrequenz f_0 des Sendewellensignals oder einer (sub)harmonischen Frequenz derselben zentriert ist.

[0027] Im Falle eines B-Modus-Bildgebungssystems werden Vektoren gefilterter I- und Q-Schalldaten an einen B-Modus-Prozessor **16** gesandt, der die I- und Q-Schalldaten in eine logarithmisch komprimierte Version der Signalhüllkurve umwandelt. Die B-Modus-Funktion bildet die zeitveränderliche Amplitude der Hüllkurve des Signals in Form einer Graustufe ab. Die Hüllkurve eines Basisbandsignals ist die Amplitude oder der Betrag des Vektors, den I und Q repräsentieren. Der I, Q-Phasenwinkel wird in der B-Modus-Anzeige nicht verwendet. Die Amplitude (d. h. Intensität) des Signals ist die Quadratwurzel der Summe der Quadrate der orthogonalen Komponenten, d. h. $(I^2 + Q^2)^{1/2}$.

[0028] Die B-Modus-Amplitudendaten werden an einen Abtastkonverter **18** ausgegeben, der einen Akustik- oder Schalllinienspeicher aufweist, dem ein X-Y-Anzeigespeicher folgt. Der Schalllinienspeicher nimmt die verarbeiteten Amplitudendatenvektoren entgegen und interpoliert diese, wo dies erforderlich ist, wobei er ferner die Koordinatentransformation der Amplitudendaten aus dem Sektorformat von Polarkoordinaten (R- θ) oder dem linearen Format kartesischer Koordinaten in Anzeigepixel-Intensitätsdaten mit geeignet skalierten kartesischen Koordinaten, die in dem X-Y-Anzeigespeicher gespeichert werden, durchführt.

[0029] Die abtastgewandelten Frames werden an einen Videoprozessor **20** weitergeleitet, der die Pixelintensitätsdaten in die Videoframerate umwandelt und dann die Pixelintensitätsdaten zur Videoanzeige in eine Graustufenabbildung abbildet. Ein herkömmliches Ultraschallbildgebungssystem verwendet gewöhnlich eine Vielfalt von Grauwert- bzw. Graustufentabellen, die einfache Übertragungsfunktionen der Intensitätsrohdaten zur Darstellung von Grauwertstufen bilden. Die Graustufen-Bildframes werden anschließend zur Anzeige an den Anzeigemonitor **22** gesandt.

[0030] Das durch das in [Fig. 1](#) veranschaulichte System erzeugte Ultraschallbild setzt sich aus mehreren Bildscannlinien zusammen. Eine einzelne Scannlinie (oder eine kleine lokalisierte Gruppe von Scannlinien) wird durch Übertragung fokussierter Ultraschallenergie an einen Punkt in dem interessierenden Bereich und anschließendes Empfangen der reflektierten Energie im Laufe der Zeit gewonnen. Die fokussierte Sendeenergie wird als Sendestrahl bezeichnet. Während der Zeit nach der Aussendung summieren ein oder mehrere Empfangsstrahlformer kohärent die durch jeden Kanal empfangene Energie, wobei die Phasendrehung oder -verzögerungen dynamisch verändert werden, um eine Spitzenwertempfindlichkeit entlang der gewünschten Scannlinien in zu der verstrichenen Zeit proportionalen Bereichen zu erzeugen. Das resultierende fokussierte Empfindlichkeitsmuster wird als Empfangsstrahl bezeichnet. Die Auflösung einer Scannlinie ist ein Ergebnis der Richtcharakteristik bzw. Richtungsabhängigkeit des zugeordneten Paares aus Sende- und Empfangsstrahl.

[0031] Der Strahlformer hat den Zweck, eine maximale ausgesandte Intensität und Empfangsempfindlichkeit an der gewünschten Fokusstelle bzw. den gewünschten Fokusstellen im Raum bei minimaler Intensität/Empfindlichkeit außerhalb des Fokuspunkts bzw. der Fokuspunkte zu erzielen. Um dies zu erreichen, muss ein Strahlformer Zeitverzögerungen präzise berechnen, die der Laufzeitdifferenz von Schall zwischen dem Fokuspunkt bzw. den Fokuspunkten und Elementen eines Transducerarrays entsprechen. Gewöhnlich werden die Zeitverzögerungen der Empfangsstrahlbündelformung während des Empfangs dynamisch angepasst bzw. eingestellt. Dies ermöglicht es den Fokuspunkten, die Tiefe der die empfangenen Echos erzeugenden Objekte nachzuführen. Diese Tiefe ist zu der Zeitdauer nach der Aussendung proportional.

[0032] Eine typische Transducerarraygeometrie ist in [Fig. 2](#) veranschaulicht. In diesem Beispiel liegen die

Elemente des Arrays und die Fokuspunkte alle innerhalb einer einzelnen Ebene in einem dreidimensionalen Raum. Somit kann die Geometrie in zwei Dimensionen beschrieben werden: x und z, wobei die x-Achse tangential zu dem Zentrum der Arraystirnseite verläuft, während die z-Achse orthogonal zu der x-Achse ausgerichtet ist. Die Elemente in dem Array sind mit dem Buchstaben „i“ indexiert. Die Position jedes i-ten Elements wird durch seine Koordinaten in x-Richtung (azimuthal) und z-Richtung (axial) angegeben: Elx_i bzw. Elz_i . Der Vektor, entlang dessen die Fokuspunkte liegen, kann durch einen Winkel β in Bezug auf die z-Achse beschrieben werden. Die Position des Fokuspunktes in Abhängigkeit von der Zeit wird durch Koordinaten $Focx(t)$ und $Focz(t)$ angegeben. Gemäß dem Satz von Pythagoras gilt dann für die Ausbreitungsweglänge $D_i(t)$:

$$D_i(t) = \text{hypot}[(Elx_i - Focx(t)), (Elz_i - Focz(t))], \quad (1)$$

wobei $\text{hypot}(x, y)$ eine Funktion ist, die die Hypotenuse der beiden orthogonalen Längen in der nachstehend definierten Weise berechnet:

$$\text{hypot}(x, y) \equiv \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (2)$$

[0033] Einige Transducerarrays, die als 2D-Arrays bezeichnet werden, weisen Elemente außerhalb der x-z-Ebene in der Aufwärts- oder y-Richtung auf. Für diese Arrays muss die Geometrie durch eine y-Achse, die zu der x-z-Ebene orthogonal verläuft, erweitert werden, wobei die positive Richtung aus der Ebene nach [Fig. 1](#) heraus zeigt. Die Elementposition benötigt die zusätzliche Koordinate Ely_i . Darüber hinaus gewinnen einige moderne Systeme Daten in einem dreidimensionalen Volumen, in dem sich Fokuspunkte auch außerhalb der x-z-Ebene befinden können. Somit ist die zusätzliche Koordinate $Focy(t)$ erforderlich. In diesem verallgemeinerten Fall lautet die Ausbreitungsweglänge $D_i(t)$:

$$D_i(t) = \text{hypot}\{\text{hypot}[Elx_i - Focx(t)), (Elz_i - Focz(t))], (Ely_i - Focy(t))\}. \quad (3)$$

[0034] Wenn ein Ultraschallbildgebungssystem scannt, schreitet der Empfangsfokuspunkt von einem Punkt auf der Arraystirnfläche entlang einer Linie durch das abgebildete Volumen fort. Diese Linie wird als Vektor oder Strahl bezeichnet. Der Punkt auf der Arraystirnfläche an dem Schnittpunkt zwischen dem Vektor und dem Array wird als Vektorphasenzentrum bezeichnet. Die Entfernung von dem Phasenzentrum zu dem Fokuspunkt ist $r(t)$.

[0035] Der Strahlformer verzögert die Signale an jedem Wandlerelement um eine Zeitdauer $T_i(t)$ um Unterschiede in den Laufzeiten zu kompensieren. Die Laufzeit ist einfach die Ausbreitungswegentfernung dividiert durch die Schallgeschwindigkeit c (von etwa 1,54 mm/ μ sek. in einem Gewebe). Weil der Fokuspunkt beim Empfang eine Funktion der Zeit ist, sind auch die Verzögerungen von der Zeit abhängig. Jedoch wird die Verzögerung in dem Phasenzentrum konstant gehalten, um eine lineare Beziehung zwischen der Tiefe eines Objektes entlang des Vektors und der Ausgangsgröße des entsprechenden Echosignals von dem Strahlformer sicherzustellen. Darüber hinaus wird eine Offset- oder Versatzverzögerung hinzugefügt um sicherzustellen, dass die angewandten Strahlformer-Zeitverzögerungen positiv sind, was eine Anforderung für die Kausalität darstellt. Die Strahlformer-Zeitverzögerungen lauten somit:

$$T_i(t) = T_{\text{offset}} + \frac{r(t)}{c} - \frac{D_i(t)}{c} \quad (4)$$

oder

$$T_i(t) = R_{\text{offset}}(t) + \frac{D_i(t)}{c}, \quad (5)$$

wobei

$$R_{\text{offset}}(t) = T_{\text{offset}} + \frac{r(t)}{c}. \quad (6)$$

[0036] Zusätzlich zu den Verzögerungen muss der Strahlformer Apodisationsgewichtungen oder -werte bereitstellen, die die Größe und Ablendung oder Abschattung der aktiven Apertur des Arrays steuern. Eine Apodisation wird entsprechend der Projektion des Arrays auf eine zu dem Vektor orthogonale Ebene angewandt. Der Apodisationswert für ein bestimmtes Element ist durch den Quotienten der projizierten Entfernung von

dem Aperturzentrum dividiert durch die projizierte Aperturgröße bestimmt. Die Aperturgröße und das Aperturzentrum können entsprechend den gewünschten effektiven f-Zahlen und Einfangswinkeln gesteuert werden.

[0037] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, wie sie in [Fig. 3](#) veranschaulicht ist, enthält mehrere Verzögerungsberechnungseinrichtungen **28**, die über den Strahlformer hinweg verteilt sind. Jede Verzögerungsberechnungseinrichtung liefert über einen Kanalsteuerbus **30** Strahlformungsverzögerungen und Apodisation für mehrere Kanäle **32**/Elemente **34**. Die Verzögerungsberechnungseinrichtungen werden mit Elementpositionskordinaten initialisiert. Danach werden während der Bilderzeugung Fokuskordinaten und Steuereinkel an alle Verzögerungsberechnungseinrichtungen ausgesandt. Alle Parameter können den Verzögerungsberechnungseinrichtungen über einen einzelnen Strahlformer-Steuerbus **26** zur Verfügung gestellt werden. Die Verzögerungsberechnungseinrichtung verwendet einen Cordic, um die Aperturprojektionen durchzuführen und die hypot-Funktion zu realisieren. Der Cordic-Dreher stellt ein sehr effizientes und genaues Mittel zur Durchführung der Projektion und zur Berechnung der Hypotenuse bereit. Er führt aufeinander folgende Koordinatentransformationen in zwei Dimensionen unter Verwendung von Koeffizienten durch, die einfache Zweierpotenzen bilden. Folglich erfordert er nur eine kleine Anzahl von Bit-Verschiebungen und Additionen. Er arbeitet mit Pipeline-Verarbeitung, was einen hohen Durchsatz ermöglicht. Die resultierenden Apodisationswerte und Zeitverzögerungen werden danach über den Kanalsteuerbus **30** einer Vielzahl von Kanälen **32** zur Verfügung gestellt.

[0038] Bezugnehmend auf [Fig. 4](#) kann eine Hypotenuse berechnet werden, indem zunächst der Absolutwert der Koordinaten genommen wird, um diesen in den ersten Quadranten zu legen, anschließend der Cordic verwendet wird, um diesen auf die (zu der zu berechnenden Hypotenuse ausgerichtete) x'-Achse zu drehen, und der resultierende x'-Wert ausgegeben wird.

[0039] Eine Apodisationsprojektion kann durch ein derartiges einfaches Drehen des Koordinatensystems (vgl. [Fig. 5](#)) über dem Ursprung um einen Winkel $-\beta$, dass die z'-Achse parallel zu dem Vektor verläuft, durchgeführt werden. Die transformierten Koordinaten eines Elementes x, Elx_i , stellen dann die Elementposition in der Projektionsebene dar.

[0040] Die notwendige Berechnung für die Apodisation stellt der Abstand eines Elementes von dem Aperturzentrum Acx' in der Projektion dar. Bezugnehmend auf [Fig. 5](#) beträgt dieser Abstand oder diese Entfernung:

$$\text{Ap}x_i = \text{Acx}' + \text{Elx}_i \quad (7)$$

[0041] Das Aperturzentrum Acx' und die inverse Apertur $i\text{Ap}$ sind weitere Parameter, die an alle Verzögerungsberechnungseinrichtungen gesandt werden. Das Produkt aus $\text{Ap}x_i$ und der inversen Apertur $i\text{Ap}$ wird dazu verwendet, eine Fensterfunktion zu indizieren, die eine Tabelle von Abblend- bzw. Abschattungs(Apodisations)-Werten aufweist.

[0042] Eine Hypotenuse in drei Dimensionen kann durch zwei aufeinander folgende Cordic-Dreher berechnet werden. Der erste transformiert x und z in ein gedrehtes Koordinatensystem x' und z' . Der zweite verdreht dann x' und y in x'' und y'' . Der erste Cordic berechnet die Hypotenuse in der x - z -Ebene durch Drehen derselben auf x' , während der zweite Cordic die dreidimensionale Hypotenuse, nun in der x' - y -Ebene, durch Drehung derselben auf x'' berechnet. In ähnlicher Weise kann die Apodisationsprojektion erzielt werden, indem zuerst die x - und z -Achsen um die y -Achse verdreht und anschließend die y - und x' -Achsen um die z -Achse gedreht werden.

[0043] Wie aus [Fig. 6](#) ersichtlich, weist ein Cordic N Stufen auf. Bei einem gegebenen Stufenindex von $k = 0$ bis $N - 1$ ist die durch jede Stufe **36** eines Cordics durchgeführte Koordinatentransformation gegeben durch:

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ z_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s_k 2^{-k} \\ -s_k 2^{-k} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ z_k \end{bmatrix}, \quad (8)$$

wobei $S_k = \pm 1$. Diese Matrixmultiplikation lässt sich mit zwei Addierern/Subtrahierern leicht realisieren, wie dies in [Fig. 7](#) veranschaulicht ist. Sie erzeugt eine Koordinatendrehung von

$$\theta_k = -s_k \arctan(2^{-k}) \quad (9)$$

[0044] und eine Verstärkung oder Vergrößerung um

$$M_k = \text{hypot}(1, 2^{-k}). \quad (10)$$

[0045] Die Gesamtdrehung nach N Stufen ist

$$\theta = \sum_{k=0}^{N-1} \theta_k, \quad (11)$$

während die Gesamtvergrößerung oder -verstärkung lautet:

$$M = \prod_{k=0}^{N-1} M_k. \quad (12)$$

[0046] Der in [Fig. 7](#) veranschaulichte Cordic kann zwei Funktionen ausführen: eine Drehung beliebiger Eingangskoordinaten auf die x'-Achse und eine Drehung um einen gewünschten Winkel. Das „Drehen“-Steuersignal in [Fig. 7](#) wählt aus, welche der beiden Funktionen auszuführen ist.

[0047] Wenn „Drehen“ auf 1 festgesetzt ist, dreht der Cordic die Eingangsgrößen um einen Winkel entsprechend den N Vorzeichenbits, so bis s_{N-1} , die an dem Eingang bereitgestellt werden. Dies wird dazu verwendet, Elementpositionen zur Apodisation auf eine gedrehte Achse zu projizieren. Die Drehen-Vorzeichenbits können entsprechend dem Vektorwinkel β vor der Aussendung berechnet und als AngS über den Strahlformer-Steuerbus **32** (vgl. [Fig. 3](#)) an alle Verzögerungsberechnungseinrichtungen **28** gesandt werden.

[0048] Wenn „Drehen“ auf Null gesetzt ist, dreht der Cordic die Koordinaten auf die x'-Achse, um die Hypotenuse als x' zu liefern. Dies erfolgt durch Setzen des Vorzeichenbits s_k in jeder Stufe auf das Vorzeichenbit des Eingangs z_k . Somit ist die Drehrichtung immer in Richtung auf die x'-Achse gerichtet. Mit jeder nachfolgenden Stufe wird der Drehwinkel kleiner, und die Hypotenuse nähert sich asymptotisch der x'-Achse. Die endgültige x'-Ausgabe ist gleich der um M verstärkten oder vergrößerten Hypotenuse, wobei der durch den kleinsten Winkel bestimmte maximale Restfehler beträgt:

$$E_{\max} = h_{\max} \times (1 - \cos(\theta_{N-1})) = h_{\max} \times 2^{-2N+1}, \quad (15)$$

wobei E_{\max} den maximalen Restfehler darstellt, während h_{\max} die maximale Hypotenuse darstellt. Unter der Annahme einer maximalen Hypotenuse von 200 μs und eines maximalen Verzögerungsfehlers von 6,25 ns ist ein Cordic mit $N = 8$ Stufen ausreichend. Der Vergrößerungs- oder Verstärkungsfaktor ist unabhängig von dem Drehwinkel konstant; eine im Voraus durchgeführte Skalierung der Eingänge mit $1/M$ liefert eine Ausgangsgröße mit dem korrekten Maßstab.

[0049] Diese Erfindung erzielt sämtliche Vorteile des Standes der Technik ohne damit verbundene Nachteile. Sie ist flink oder agil, einfach und genau. Es gibt keine Vektor und Element abhängigen Parameter. Vektor abhängige Parameter sind Element unabhängig. Element abhängige Parameter sind Vektor unabhängig. Die resultierende kleine Anzahl von Parametern gestattet eine schnelle Umprogrammierung. Weil keine Zustandsmaschine vorhanden ist, kann darüber hinaus die Verzögerungsberechnung an einer beliebigen Stelle entlang des Vektors beginnen. Der Cordic arbeitet inhärent nach dem Pipeline-Prinzip und ist äußerst einfach. Er benötigt nur eine kleine Anzahl von Additionen/Subtraktionen. Seine Genauigkeit ist durch die Anzahl von Stufen bestimmt, denen keine Approximation zu Grunde liegt.

[0050] Entsprechend der bevorzugten Ausführungsform, wie sie in [Fig. 3](#) veranschaulicht ist, empfangen die Verzögerungsberechnungseinrichtungen **28** alle benötigten Parameter über einen Strahlformer-Steuerbus **26**. Dieser Steuerbus erfordert wenigstens 16 Datenbits, 13 Adressbits und ein „Start“-Bit. Das „Start“-Signal setzt die Berechnungseinrichtungen für den Beginn eines neuen Vektors zurück. Geometrieparameter des Transducerarrays werden vor einem Scannen eingeschrieben, während Vektorparameter synchron mit dem Scannen geschrieben werden. Für einen dynamischen Empfang sollte dieser Bus bei 15 MHz laufen. (Für einen dualen parallelen Strahlempfang ist ein 30-MHz-Bus oder sind getrennte 15-MHz-Busse erforderlich). Gesonderte, aber nahezu identische Steuerungsstrukturen und Busse können zum Senden und Empfangen verwendet werden.

[0051] Es gibt drei Elementpositionsparameter, die pro Element/Kanal-Kombination benötigt werden, wenn ein Transducer aktiviert ist: (Elx_i, Elz_i, Ely_i) . Es gibt acht Vektorparameter, die während eines Scannvorgangs

aktualisiert werden: die Fokusposition (FocX, FocZ, FocY), der Bereichsoffset oder -versatzwert (R_{offset}), das Aperturzentrum (Acx'), die inverse Aperturgröße (iAp), der Multiplexerzustand (MUX-Zustand) und die Vektorwinkel-Vorzeichenbits (AngS). Bei einer dynamischen Empfangsstrahlformung werden die ersten sechs während des Empfangs aktualisiert. Falls sie mit einer Rate von 2,5 MHz aktualisiert werden, kann die resultierende 2,5-MHz-Strahlenformungs-Verzögerungsausgabe mit angemessener Präzision linear interpoliert werden. Dies diktiert die Busgeschwindigkeit von 15 MHz.

[0052] Der MUX-Zustand wird benötigt, wenn ein Multiplexer verwendet wird, um verschiedene physische Elemente mit einzelnen Kanälen zu verbinden. Dies ist für große lineare oder konvexe Transducer typisch, bei denen die Anzahl der Elemente größer ist als die Anzahl der Strahlformungskanäle. Die Elementposition, die jedem Verzögerungskanal entspricht, hängt dann von dem MUX-Zustand ab.

[0053] Jede Verzögerungsberechnungseinrichtung **28** gibt Verzögerungs- und Apodisationsinformationen über einen jeweiligen Kanalsteuerbus **30** an eine jeweilige Vielzahl von Strahlenformerkanäle **32** aus. Für eine 16-Kanal-Einzelstrahlverzögerungsberechnungseinrichtung sollte dieser Bus 16 Datenbits, 5 Adressbits und ein „Strt“-Signal aufweisen. Die Verzögerungsberechnungseinrichtung gibt Verzögerungs- und Apodisationsdaten kanalweise verschachtelt aus. Zur Bereitstellung einer Aktualisierung pro Kanal mit einer Rate von 2,5 MHz ist für 16 Kanäle ein 40-MHz-Bus erforderlich. Vier Adressbits indizieren die Kanäle, während ein Adressbit die Verzögerung oder Apodisation kennzeichnet.

[0054] Eine bevorzugte Ausführungsform der Verzögerungsberechnungseinrichtung ist in der zusammengesetzten **Fig. 8** veranschaulicht (die aus **Fig. 8-1** und **Fig. 8-2** besteht). Diese Ausführungsform der Verzögerungsberechnungseinrichtung stellt Verzögerungen und Apodisationen für 16 Kanäle bereit. Vier verhältnismäßig kleine Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAMs) werden dazu verwendet, Informationen über das aktivierte Array zu speichern. Diese Verzögerungsberechnungseinrichtung stellt 256 mögliche MUX-Zustände mit einem Maximalwert von vier physischen Elementen, die jedem Kanal zugeordnet sind, bereit. Ein „MUX“-RRM **64** speichert einen 2-Bit-Wert, um anzuzeigen, welches der vier verfügbaren Elemente mit jedem Kanal pro MUX-Zustand verbunden ist. Drei „Chn“-RAMs **66**, **68** und **70** enthalten die Koordinaten für jedes der pro Kanal **4** zugeordneten physischen Elemente. Diese zweistufige Struktur ergibt vollkommene Flexibilität für Multiplexer-Ausgestaltungen ohne große Speicher.

[0055] Die Verzögerungsberechnungseinrichtung schleift mit einer Rate von 40 MHz über 16 Kanäle, so dass Verzögerungen für alle Kanäle mit der benötigten Rate von 2,5 MHz berechnet werden können. Dies wird mit einem 4-Bit-Aufwärtszähler **58** (vgl. **Fig. 8-1**) bewerkstelligt, der mit dem „Start“-Signal initialisiert wird. Das „Start“-Signal wird auch von einer Verzögerungsschaltung **60** empfangen. Der Aufwärtszähler **58** gibt einen 4-Bit-Kanalindex (in **Fig. 8** mit „Kanal“ bezeichnet) an die „Chn“-RAMs **66**, **68** und **70** und an eine weitere Verzögerungsschaltung **62** aus. Die Verzögerungsschaltungen **60** und **62** geben jeweils verzögerte Versionen des „Start“- und des „Kanal“-Signals (in **Fig. 8-1** mit „Strt“ bzw. „Chn“ bezeichnet) aus. Die „Strt“ und „Chn“-Signale werden auf die zugehörigen Verzögerungs- und Apodisationsdaten abgestimmt ausgegeben.

[0056] Der 4-bit-Kanalindex wird mit einem 8-bit-MUX-Zustandssignal kombiniert, um den Elementindex in dem „MUX“-RAM **64** nachzuschlagen. Der resultierende 2-Bit-Elementindex wird mit dem 4-Bit-Kanalindex kombiniert, um die Koordinaten des physischen Elementes in den „Chn“-RAMs **66**, **68** und **70** nachzuschlagen.

[0057] Das „Start“-Signal löst eine kurze Initialisierung aus, der eine Pipeline-Berechnung der Verzögerung und Apodisation folgt. Die Initialisierung sorgt für die Einrichtung des „MUX“-RAMs **64** und eines Elementprojektions- („PROJ“)-RAMs **92** (vgl. **Fig. 8-2**).

[0058] Die erste Schleife über die 16 Kanäle nach dem „Start“-Signal wird dazu verwendet, das Elementprojektions-RAM **92** für die Apodisation einzurichten. Während einer Initialisierung werden die Elementpositionen aus den „Chn“-RAMs **66**, **68** und **70** über eine Leitung B und einen Multiplexer **110** (vgl. **Fig. 9**) zugehöriger Arithmetiklogikeinheiten ALUS **78**, **80** und **82** direkt an die Cordic-Dreher übergeben, und die Steuerungen für die Cordics **84** und **86** werden so festgelegt, dass eine Drehung um einen festen Winkel entsprechend AngS durchgeführt wird. Die Ergebnisse werden in dem Projektions-RAM **92** gespeichert. Ein zweiter Schleifenablauf über die 16 Kanäle kann dazu verwendet werden, die Leitungen für dynamische Berechnungen vorzubereiten. Die gesamte Initialisierungszeit beträgt weniger als 0,5 μs . Eine Synchronisation der Cordic-Steuerungen mit der Leitung bzw. Pipeline kann die Notwendigkeit der zusätzlichen Schleife beseitigen, wodurch die Initialisierung auf 0,25 μs verkürzt wird.

[0059] Nach einer Initialisierung beginnt die Verzögerungsberechnungseinrichtung mit einer Aktualisierung

der dynamischen Parameter und einer Erzeugung dynamischer Verzögerungen und der Apodisation. Für die Verzögerung (vgl. [Fig. 8-1](#)) werden die Fokuskordinaten aus Registern **72** und **74** jeweils in den ALUs **78** und **80** von den Elementkoordinaten aus dem „ChnX“-RAM **66** und dem „ChnZ“-RAM **68** subtrahiert, und der Absolutwert der Differenzen der Koordinaten x und z wird dem Cordic-Dreher **84** zugeführt, während die Fokuskordinaten aus dem Register **76** in der ALU **82** von den Elementkoordinaten aus dem „ChnY“-RAM **70** subtrahiert werden und der Absolutwert der Differenz y gemeinsam mit der Ausgabe des Cordics **84** dem Cordic **88** zugeführt wird. Diese von jeder ALU ausgeführten Operationen sind in [Fig. 9](#) durch einen Addierer/Subtrahierer **106** und einen Absolutwertblock **108** dargestellt. Der Addierer/Subtrahierer **106** nimmt die Fokuskordinate über die Leitung A und die Elementpositionsordinate über die Leitung B entgegen. Der Multiplexer **110** ist derart geschaltet, dass der Absolutwert zu dem jeweiligen Cordic-Dreher durchgelassen wird.

[0060] Der erste Cordic **84** transformiert x und z in ein gedrehtes Koordinatensystem x' und z'. Der zweite Cordic **86** dreht anschließend x' und y auf x'' und y''. Der erste Cordic **84** berechnet die Hypotenuse in der x-z-Ebene durch Drehung derselben auf x', während der zweite Cordic **86** die dreidimensionale Hypotenuse, nun in der x'-y-Ebene, durch Drehung derselben auf x'' berechnet. Die berechnete Hypotenuse entspricht der Laufzeit. Die Bereichsoffset- oder -versatzzeit (R_{offset}) aus dem Register **88** wird in dem Addierer **90** von dem Ausgangswert des Cordics **86** subtrahiert, um die Verzögerung zu erzeugen.

[0061] Für die Apodisation wird das Aperturzentrum (Apx') aus dem Register **94** in dem Addierer **96** entsprechend der Gleichung (7) von den Elementpositionen subtrahiert, die aus dem Projektions-RAM **92** ausgelesen werden. Der Absolutwert (Block **98**) der resultierenden Entfernung oder des resultierenden Abstands Apx'_i wird durch einen Multiplizierer **102** mit der inversen Aperturgröße (iAP) aus dem Register **100** multipliziert. Das resultierende Produkt wird dazu verwendet, eine Fensterfunktionstabelle in einem „Fenster“-RAM **104** zu indizieren, die einen 8-Bit-Abblend- oder -Abschattungs-(d. h. Apodisations-)Wert erzeugt. Das „Fenster“-RAM **104** speichert vorzugsweise eine Bank von Fensterfunktionstabellen, wobei eine einzelne Tabelle durch das Eingangssignal „BANK“ ausgewählt wird.

[0062] Die Fokus- und Elementkoordinaten sollten alle in Einheiten von 6,25 ns ausgedrückt und mit 1/M vorkaliert sein. Die Bereitstellung zusätzlicher anteiliger Bits kann helfen, die Genauigkeit aufrecht zu erhalten. Der Bereichsversatzwert R_{offset} wird nicht mit 1/M vorkaliert, weil er sich hinter den Cordic-Drehern befindet.

[0063] Obwohl die bevorzugte Ausführungsform im Zusammenhang mit einem Empfangs-Strahlformer oder -Strahlerzeuger offenbart worden ist, versteht es sich ohne weiteres, dass die Erfindung auch Anwendung bei der Sendestrahlförmung oder -bündelung findet. Um allgemein einen Sendestrahlförmung entsprechend einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung darzustellen, brauchen lediglich die in [Fig. 3](#) veranschaulichten Empfangskanäle durch Pulsgebungsschaltungen ersetzt zu werden.

[0064] Die vorstehend erläuterten bevorzugten Ausführungsformen sind für die Zwecke der Veranschaulichung offenbart worden. Für einen Fachmann mit gewöhnlichem Fachwissen erschließen sich ohne weiteres Veränderungen und Modifikationen des zu Grunde liegenden Konzeptes der Erfindung. Alle derartige Veränderungen und Modifikationen sollen durch die nachfolgend angegebenen Ansprüche mit umfasst sein.

[0065] Der Ausdruck „als Funktion von“ oder „in Abhängigkeit von“, wie er in den Ansprüchen verwendet wird, soll nicht gleichbedeutend mit „als Funktion von nur“ oder in „in Abhängigkeit von nur“ dem Nachfolgenden ausgelegt werden. Zum Beispiel ist entsprechend der vorstehenden Definition der Ausdruck „ermittle y als Funktion von x“ bzw. „ermittle y in Abhängigkeit von x“ auf alle Fälle lesbar, in denen y als eine Funktion von bzw. in Abhängigkeit von x allein oder als eine Funktion von bzw. in Abhängigkeit von x und einer oder mehreren weiteren Variablen, beispielsweise z, ermittelt wird.

Patentansprüche

1. Strahlformungssystem

mit einem Transducerarray (**2**), das mehrere Transducerelemente (**34**) aufweist, die in einer Ebene mit x- und z-Koordinatenachsen angeordnet sind; und
mit einem Strahlformer, der mehrere Empfangskanäle aufweist, die jeweils betriebsmäßig mit mehreren Transducerelementen (**34**) gekoppelt sind,
gekennzeichnet durch einen ersten Speicher (**72, 74**), der x- und z-Koordinaten einer Fokusposition speichert, einen zweiten Speicher (**66, 68**) der jeweilige Koordinatensätze jeweiliger Positionen der mehreren Transducerelemente (**34**) speichert, wobei jeder Koordinatensatz eine x-Koordinate und eine z-Koordinate aufweist, eine erste Additions-/Subtraktionsschaltung (**78**), die an den ersten und den zweiten Speicher angeschlossen

ist, um jeweilige x-Koordinatendifferenzen zwischen der x-Koordinate der Fokusposition und jeweiligen x-Koordinaten der Elementenpositionen zu bilden, eine zweite Additions-/Subtraktionsschaltung (80), die an den ersten und den zweiten Speicher angeschlossen ist, um jeweilige z-Koordinatendifferenzen zwischen der z-Koordinate der Fokusposition und jeweiligen z-Koordinaten der Elementenpositionen zu bilden, einen Cordic-Dreher (84), der mit der ersten und der zweiten Additions-/Subtraktionsschaltung (78, 80) verbunden ist, um Koordinatentransformationen der Ausgangsgrößen der ersten und der zweiten Additions-/Subtraktionsschaltung (78, 80) durchzuführen und dadurch zugehörige Hypotenusen zu berechnen, die die Abstände von der Fokusstelle zu den jeweiligen Transducerelementen (34) kennzeichnen, und einen Zeitverzögerungserzeuger (28) zur Anwendung jeweiliger Zeitverzögerungen an jeweilige Empfangskanäle, wobei jede Zeitverzögerung in Abhängigkeit von einer von dem Cordic-Dreher (84) ausgegebenen zugehörigen Hypotenuse gebildet ist.

2. Strahlformungssystem nach Anspruch 1, wobei der Cordic-Dreher (84) eine entsprechende Hypotenuse in Abhängigkeit von jeweiligen x- und z-Koordinatendifferenzen und jeweiligen Vorzeichen-Bits zugehöriger z-Koordinaten berechnet, wenn sich der Cordic-Dreher in einem ersten Zustand befindet.

3. Strahlformungssystem nach Anspruch 1, wobei der Cordic-Dreher eine jeweilige Apodisationsprojektion in Abhängigkeit von jeweiligen x- und z-Elementpositionen und zugehörigen Rotationsvorzeichen-Bits durchführt, die in Abhängigkeit von einem Vektorwinkel gebildet sind, wenn sich der Cordic-Dreher in einem zweiten Zustand befindet.

4. Strahlformungssystem nach Anspruch 2, wobei der Zeitverzögerungsgenerator Zeitverzögerungen anwendet, die in Abhängigkeit von jeweiligen Hypotenusen und einem Bereichsversatzwert gebildet sind.

5. Strahlformungssystem nach Anspruch 3, das ferner einen Apodisationswertgenerator zur Anwendung jeweiliger Apodisationswerte auf zugehörige Empfangskanäle aufweist, wobei jeder Apodisationswert in Abhängigkeit von einer zugehörigen Apodisationsprojektion, einem Aperturzentrum und einer inversen Aperturgröße gebildet ist.

6. Strahlformungssystem nach Anspruch 5, wobei der Apodisationswertgenerator einen dritten Speicher (104) aufweist, der wenigstens eine Fensterfunktionstabelle speichert.

7. Strahlformungssystem nach Anspruch 1, das ferner einen Zähler zum aufeinander folgenden Auslesen jeweiliger Sätze von x- und z-Elementpositionskordinaten aus dem zweiten Speicher aufweist.

8. Strahlformungssystem nach Anspruch 1, wobei der Cordic-Dreher mehrere aufeinander folgende Stufen (36) aufweist, wobei jede Stufe eine Koordinatentransformation durchführt, die die Eingangsgrößen dieser Stufe verdreht, wobei der Drehwinkel bei jeder nachfolgenden Stufe kleiner wird.

9. Strahlformungssystem nach Anspruch 8, wobei die Stufenanzahl in dem Cordic-Dreher N beträgt und bei einem gegebenen Stufenindex $k = 0$ bis $N - 1$ jede Stufe die Koordinatentransformation durchführt:

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ z_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & s_k 2^{-k} \\ -s_k 2^{-k} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ z_k \end{bmatrix}$$

wobei $s_k = \pm 1$.

10. Strahlformungssystem nach Anspruch 1, das ferner einen Multiplexer aufweist, der mehrere Multiplexschalter mit durch einen MUX-Zustand bestimmten Schaltzuständen aufweist, wobei der Strahlformer ferner einen dritten Speicher zur Speicherung des MUX-Zustandes aufweist, wobei der zweite Speicher Eingänge aufweist, die an Ausgänge des dritten Speichers betriebsmäßig gekoppelt sind.

11. Bildgebungssystem

mit einem Transducerarray (2), das mehrere Transducerelemente (34) aufweist, die in einer Ebene mit x- und z-Koordinatenachsen angeordnet sind;

mit einer ersten Verzögerungsberechnungseinrichtung (28) zur Berechnung eines ersten Satzes jeweiliger Empfangszeitverzögerungen in Abhängigkeit von einer Fokusposition und jeweiligen Positionen eines ersten Satzes der Transducerelemente;

mit einem Sendestrahlförder (8), der programmiert ist, um das Transducerarray zu aktivieren, ein fokussiertes Ultraschallbündel auszusenden;

mit einem Empfangsstrahlformer (10), der einen ersten Satz Empfangskanäle (32) zur Wandlung jeweiliger analoger Signale von dem ersten Satz Transducerelemente (34) in jeweilige Vektoren digitaler Abtastwerte, einen ersten Kanalsteuerungsbus (30) zur Anwendung des ersten Satzes jeweiliger Empfangszeitverzögerungen auf die zugehörigen Vektoren digitaler Abtastwerte in dem ersten Satz Empfangskanäle (32) und einen Strahlsummierer aufweist, der dazu dient, wenigstens die zeitverzögerten Vektoren digitaler Abtastwerte des ersten Satzes Empfangskanäle (32) aufzusummieren, um ein Netto-Empfangssignal zu erzeugen; mit einem Prozessor (16) zur Herleitung eines Bildsignals von dem Netto-Empfangssignal; und mit einer Anzeigevorrichtung (22) zum Anzeigen eines Bildes mit einem Bildabschnitt, der in Abhängigkeit von dem Bildsignal gebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Verzögerungsberechnungseinrichtung (28) einen ersten Cordic-Dreher (84) zur Berechnung jeweiliger Hypotenusen, die Abstände von der Fokusposition zu den jeweiligen Transducerelementen (34) kennzeichnen, in Abhängigkeit von der Fokusposition und den jeweiligen Positionen des ersten Satzes Transducerelemente (34) in einem ersten Zustand des Cordic-Drehers und einen ersten Zeitverzögerungsgenerator aufweist, der dazu dient, den ersten Satz jeweiliger Empfangszeitverzögerungen an den ersten Kanalsteuerungsbus (30) auszugeben, wobei jede Empfangszeitverzögerung des ersten Satzes in Abhängigkeit von einer zugehörigen, durch den ersten Cordic-Dreher (84) ausgegebenen Hypotenuse gebildet ist.

12. Bildgebungssystem nach Anspruch 11, das ferner eine zweite Verzögerungsberechnungseinrichtung (28) zur Berechnung eines zweiten Satzes jeweiliger Empfangszeitverzögerungen in Abhängigkeit von der Fokusposition und jeweiligen Positionen eines zweiten Satzes der Transducerelemente (34) aufweist, wobei der Empfangsstrahlformer ferner einen zweiten Satz Empfangskanäle (32) zur Wandlung jeweiliger analoge Signale von dem zweiten Satz Transducerelemente in jeweilige Vektoren digitaler Abtastwerte und einen zweiten Kanalsteuerungsbus (30) zur Anwendung des zweiten Satzes jeweiliger Empfangszeitverzögerungen auf die jeweiligen Vektoren digitaler Abtastwerte in dem zweiten Satz Empfangskanäle (32) aufweist und wobei die zweite Verzögerungsberechnungseinrichtung (28) einen zweiten Cordic-Dreher (84) zur Berechnung jeweiliger Hypotenusen in Abhängigkeit von der Fokusposition und den jeweiligen Positionen des zweiten Satzes Transducerelemente (34) und einen zweiten Zeitverzögerungsgenerator aufweist, der dazu dient, den zweiten Satz jeweiliger Empfangszeitverzögerungen an den zweiten Kanalsteuerungsbus (30) auszugeben, wobei jede Empfangszeitverzögerung des zweiten Satzes in Abhängigkeit von einer entsprechenden, durch den zweiten Cordic-Dreher (84) ausgegebenen Hypotenuse gebildet ist.

13. Bildgebungssystem nach Anspruch 12, das ferner einen Computer zur Berechnung eines Satzes Vektorparameter und einen Strahlformer-Steuerungsbus (26) zur Aufteilung des Satzes Vektorparameter auf die erste und die zweite Zeitverzögerungsberechnungseinrichtung (28) aufweist, wobei der erste und der zweite Satz Empfangszeitverzögerungen in Abhängigkeit von den Vektorparametern gebildet sind.

14. Bildgebungssystem nach Anspruch 11, wobei der erste Cordic-Dreher jeweilige Apodisationsprojektionen in Abhängigkeit von der Fokusposition und den jeweiligen Positionen des ersten Satzes Transducerelemente in einem zweiten Zustand des Cordic-Drehers durchführt und die erste Verzögerungsberechnungseinrichtung ferner einen Apodisationswertgenerator aufweist, der dazu dient, jeweilige Empfangsapodisationswerte auf den ersten Satz jeweiliger Empfangskanäle anzuwenden, wobei jeder Empfangsapodisationswert in Abhängigkeit von einer zugehörigen Apodisationsprojektion gebildet ist.

15. Verfahren zur Ultraschallstrahlformung, das die Schritte aufweist, dass: Geometrieparameter eines Transducerarrays (2) abgespeichert werden, das mehrere Transducerelemente (34) aufweist; Vektorparameter zur Formung eines fokussierten Strahlbündels, der eine Fokusstelle aufweist, abgespeichert werden; gekennzeichnet durch die Schritte: Berechnung jeweiliger Hypotenusen, die Abstände von der Fokusstelle zu den jeweiligen Transducerelementen (34) repräsentieren, in Abhängigkeit von den Geometrieparametern und den Vektorparametern, unter Verwendung mehrerer Stufen einer Cordic-Drehung zur Herleitung jeder Hypotenuse; und Erzeugung jeweiliger Zeitverzögerungen in Abhängigkeit von den jeweiligen berechneten Hypotenusen; und Formung eines Strahlbündels unter Verwendung der jeweiligen Zeitverzögerungen.

16. Verfahren nach Anspruch 15, das ferner die Schritte aufweist, dass: entsprechende Apodisationsprojektionen für die jeweiligen Transducerelemente (34) in Abhängigkeit von den Geometrieparametern und den Vektorparametern unter Verwendung mehrerer Stufen einer Cordic-Drehung durchgeführt werden, um jede Projektion durchzuführen; und

jeweilige Abschattungswerte in Abhängigkeit von den zugehörigen Apodisationsprojektionen erzeugt werden; und die entsprechenden Abschattungswerte während der Formung des Strahlbündels verwendet werden.

17. Verfahren nach Anspruch 15, wobei jede Stufe der Cordic-Drehung Bitverschiebungen und Additionen aufweist.

18. Verfahren nach Anspruch 15, wobei jede Stufe der Cordic-Drehung eine Koordinatentransformation unter Verwendung von Koeffizienten aufweist, die eine Zweierpotenz bilden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

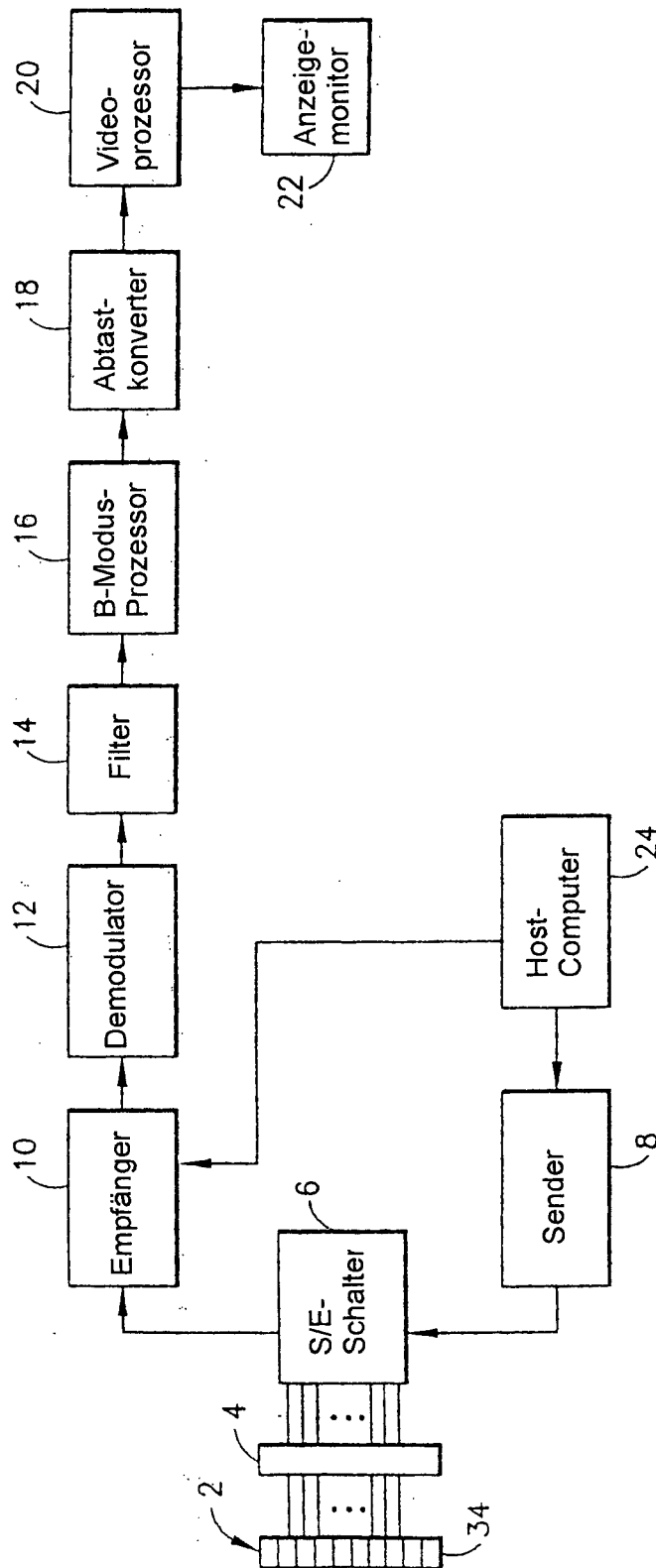


FIG.1

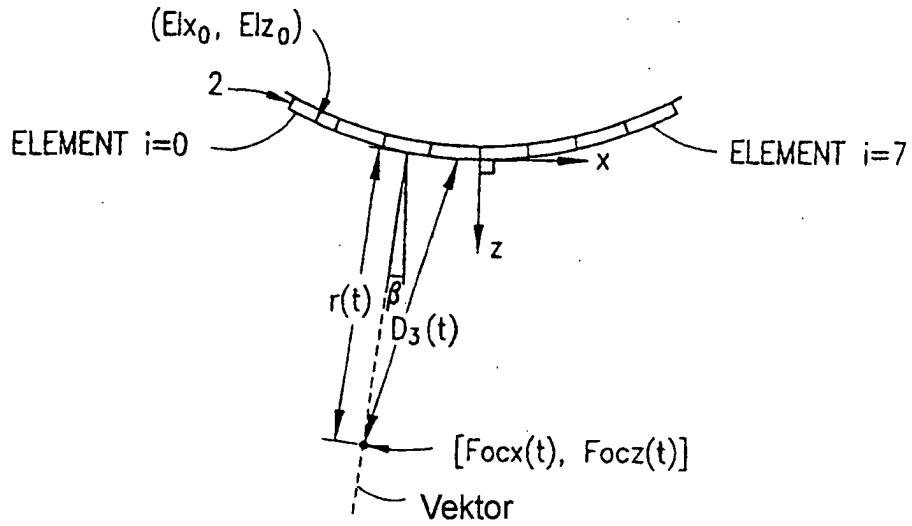


FIG.2

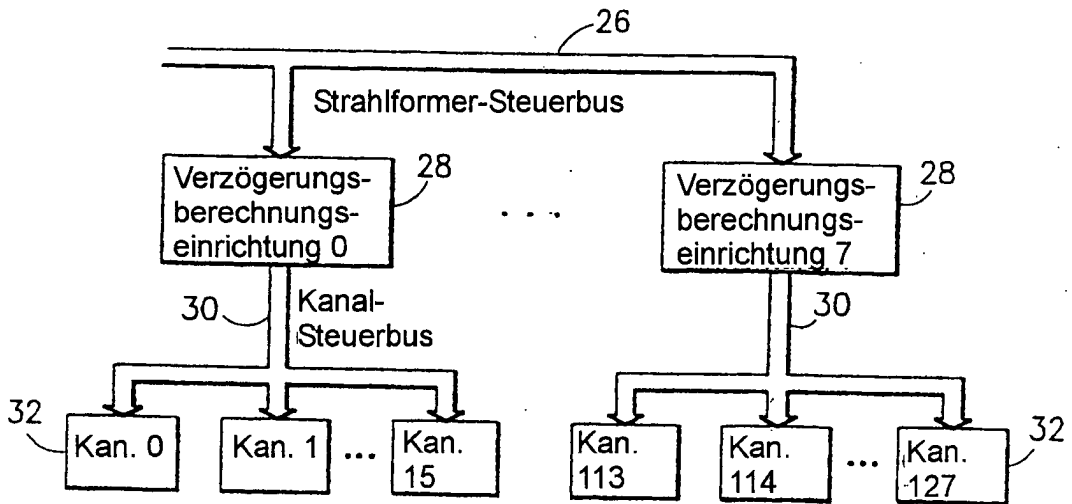


FIG.3

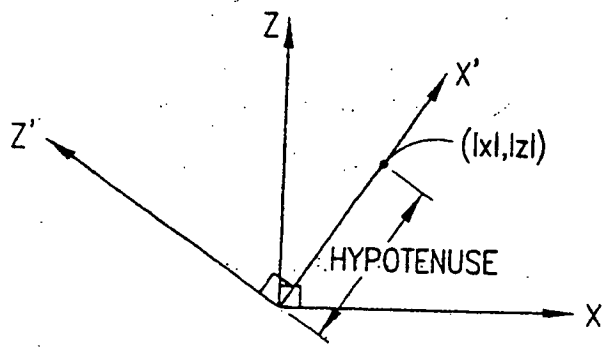


FIG. 4

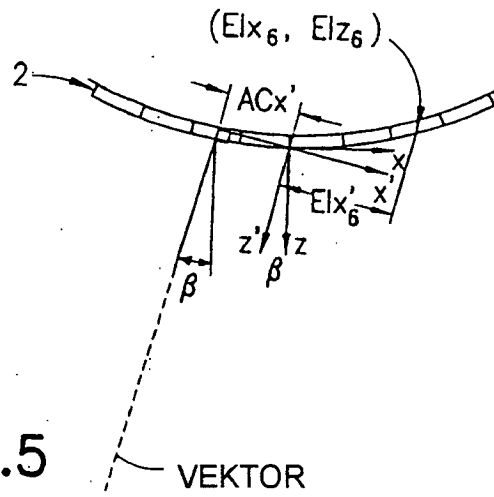


FIG. 5

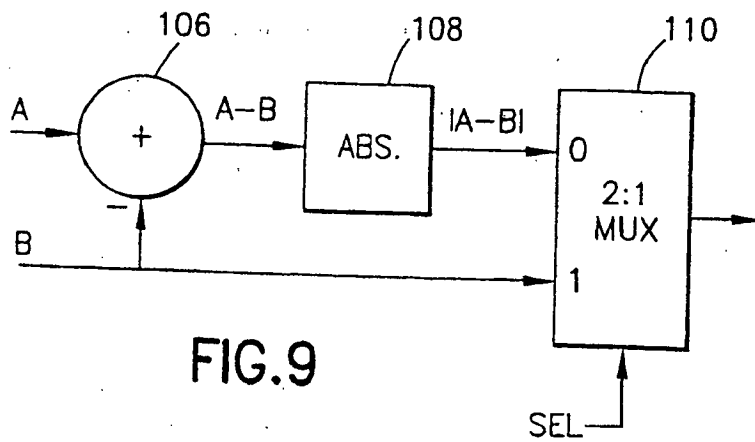


FIG. 9

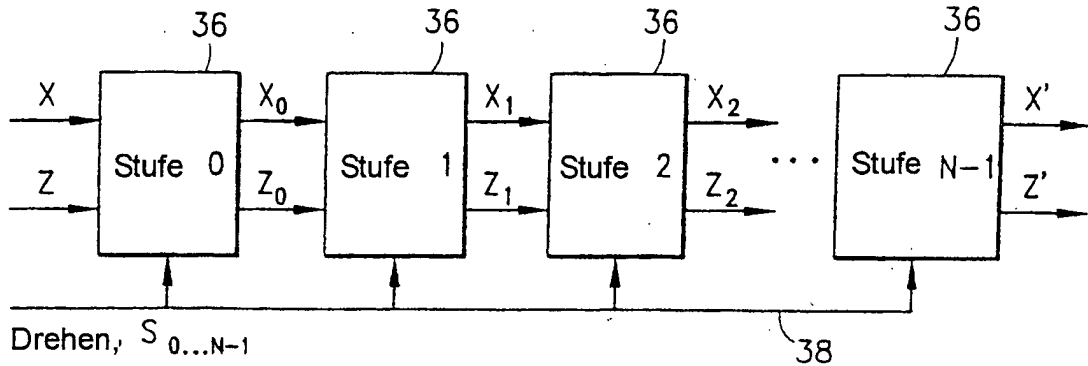


FIG. 6

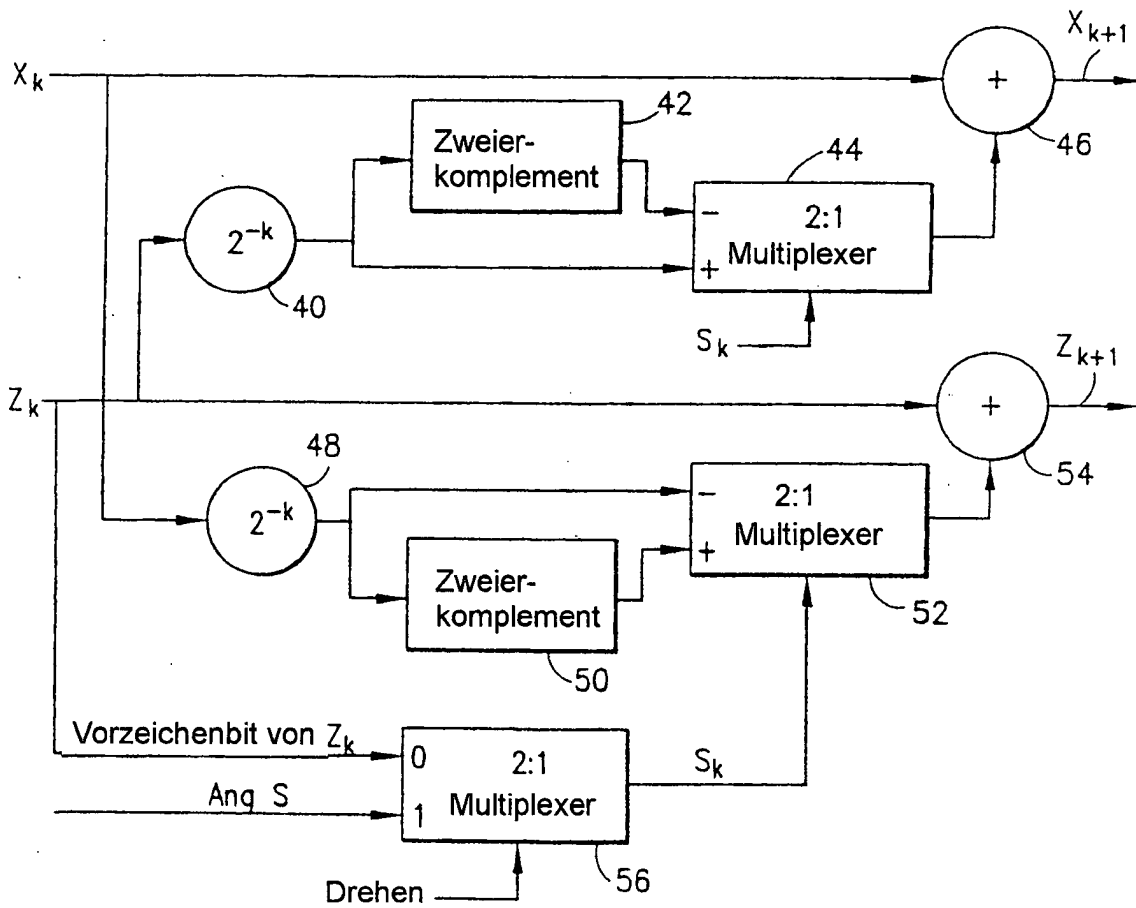


FIG. 7

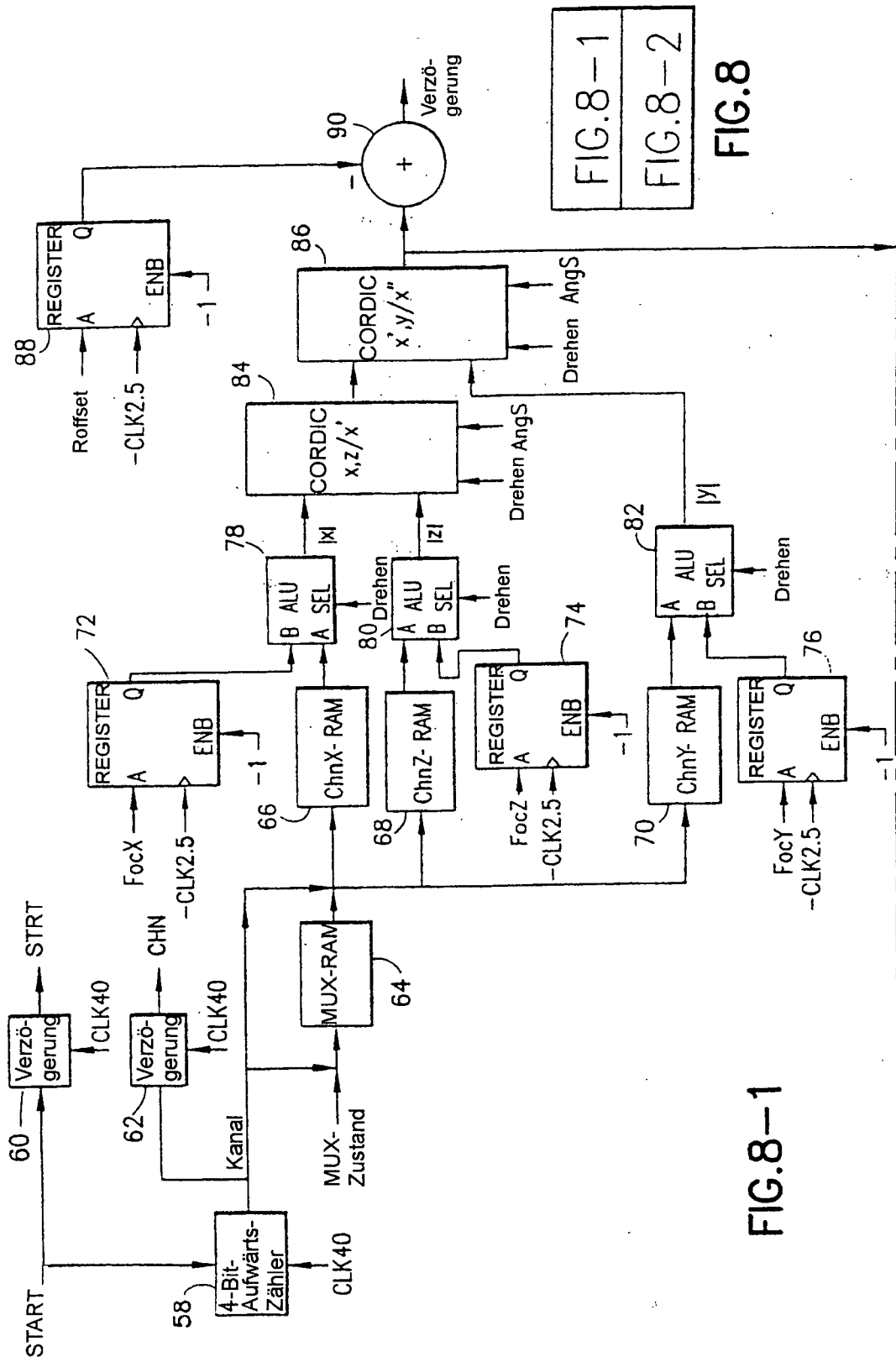


FIG. 8-1
FIG. 8-2

FIG. 8

FIG. 8-1

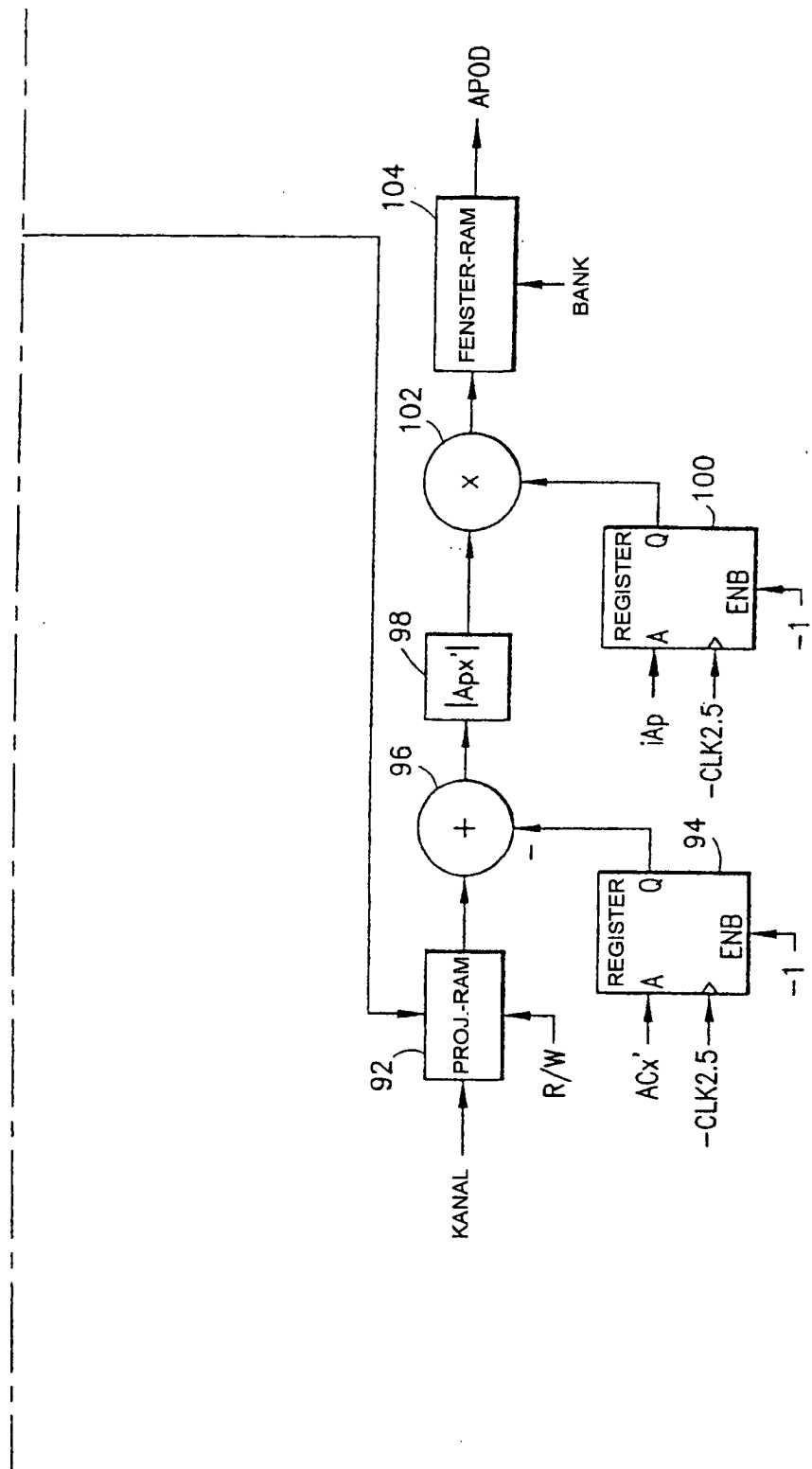


FIG. 8-2