



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 09 497 T2** 2004.04.15

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 118 183 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 09 497.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/22458**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 948 492.6**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/19655**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.09.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **06.04.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **25.07.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **09.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(51) Int Cl.7: **H04L 7/02**

H04L 25/49, H04L 25/03

(30) Unionspriorität:

162493 29.09.1998 US

(73) Patentinhaber:

Conexant Systems, Inc., Newport Beach, Calif., US

(74) Vertreter:

Betten & Resch, 80333 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**JONSSON, Ragnar, IS-112 Reykjavik, IS;
OLAFSSON, Sverrir, IS-101 Reykjavik, IS;
BJARNASON, Elias, IS-112 Reykjavik, IS**

(54) Bezeichnung: **TAKTRÜCKGEWINNUNG FÜR EIN HOCHRATIGES DIGITALES KOMMUNIKATIONSSYSTEM BE-
RUHEHND AUF ADAPTIVEN ENTZERRERIMPULSANTWORTEIGENSCHAFTEN**

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] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf digitale Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationssysteme. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf Taktrückgewinnungslösungen zur Verwendung mit solchen digitalen Datenkommunikationssystemen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Die Taktrückgewinnung ist in vielen digitalen Kommunikationssystemen ein wichtiges Problem, da das empfangene Signal mit einer geeigneten Rate, die dem Sender zugeordnet ist, abgetastet werden muss. In Systemen ohne direkte Verriegelung zwischen dem Sender- und dem Empfängertakt kann der Empfänger so konfiguriert werden, dass er den Sendertakt verfolgt, um Änderungen der Abtastrate zu überwachen und Änderungen der Abtastphase zu überwachen. Allgemein bemühen sich Taktrückgewinnungstechniken, eine optimale Empfängerabtastrate zusammen mit einer optimalen Empfängerabtastphase zu erhalten.

[0003] Herkömmliche Taktrückgewinnungstechniken nehmen an, dass das analysierte Signal frei von einer Störung wie etwa von einem Echo oder von einer Nahnebenschwächung (NEXT) ist. Praktische Hochgeschwindigkeitsanwendungen, die 1.000.000 (oder mehr) Symbole pro Sekunde unterstützen, können die Echokompensation nach der Entzerrung nicht effektiv ausführen, wenn keine Hilfs-Echokompensationsprozeduren implementiert sind. Ein System des Standes der Technik, das in einem Artikel von Antoni Fertner und Christen Sölve mit dem Titel "Symbol-Rate Timing Recovery Comprising the Optimum Signal-to-Noise Ratio in a Digital Subscriber Loop", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, Bd. 45, Nr. 8, August 1997, S. 925–936, beschrieben ist, verwendet den unkompensierten Vorläufer in einem Taktrückgewinnungsalgorithmus, um die Phase des Empfängerabtasttakts einzustellen. Der komplizierte Algorithmus umfasst Berechnungen von einem Entscheidungsrückkopplungsentzerrer (DFE), der die Nachläuferstörung entfernt, sowie von einem Vorwärtsregelungsfilter, das so beschaffen ist, dass es lediglich die Amplitude des größten Vorläufers verringert. Somit ist eine sorgfältige Konstruktion des Vorwärtsregelungsfilters wesentlich für die Leistung des Algorithmus. Die Berechnung und die Konstruktion sichern ferner die Echokompensation vor der Vorwärtsregelungsfilterung und vor der Taktrückgewinnung. Der Algorithmus ist kompliziert und nimmt eine genaue Konstruktion und genaue Berechnungen an und lässt dadurch wenig Raum für eine Abweichung oder Schwankung. Die Technik kann zeitaufwändig und momentanen Hochgeschwindigkeitsanwendungen nicht förderlich sein. Außerdem kann die Technik Hilfs-Echokompensationseinrichtungen erfordern, die das Echo vor der Taktrückgewinnung aus dem Signal entfernen; dies kann kostspielig sein und die Berechnungen weiter erhöhen.

[0004] Da in einer T-beabstandeten Anordnung lediglich ein Abtastwert pro Symbol genommen wird, kann es schwierig sein, die Taktrückgewinnung aufrechtzuerhalten. Ein System des Standes der Technik, erteilt am 18. Januar 1977 im US-Patent 4.004.226 an Qureshi u. a. und im US-Folgepatent 4,344.176, erteilt am 10. August 1982 an Qureshi, verwendet eine empirisch-praktische Technik, um die optimale Abtastphase während der Start- oder Initialisierungsperiode zu ermitteln. Ein solches empirisch-praktisches Taktrückgewinnungsschema kann mehrere Abtastphasen testen, um eine optimale Abtastphase für die momentane Kommunikationssituation zu bestimmen. Obgleich dies zu akzeptablen unmittelbaren Ergebnissen führen kann, kann der wiederholte Test der Abtastphasen eine übermäßige Zeitdauer erfordern. Außerdem kann diese Technik Änderungen der Leitungseigenschaften (z. B. im Ergebnis von Temperaturschwankungen) während des normalen Betriebs nicht ununterbrochen überwachen.

[0005] Dort, wo die Entzerrern in Übereinstimmung mit Schwankungen der Kanaleigenschaften periodisch oder ununterbrochen aktualisiert werden, können diese und weitere Techniken des Standes der Technik wie etwa das von Takatori u. a. im US-Patent 5.581.585, erteilt am 3. Dezember 1996, beschriebene System nicht effektiv implementiert werden,.

[0006] In Höchstgeschwindigkeitsanwendungen, sind herkömmliche Taktrückgewinnungsverfahren, die auf Digitalsignalprozessoren beruhen, möglicherweise nicht ausreichend, da die Verarbeitungsgeschwindigkeit möglicherweise nicht ausreichend hoch ist. Dementsprechend ist es wünschenswert, ein Hardware-Modell für eine Taktrückgewinnungstechnik zu implementieren, die mit Hochgeschwindigkeitsanwendungen verträglich ist.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Dementsprechend schafft die vorliegende Erfindung eine verbesserte Taktrückgewinnungstechnik für ein digitales Datenkommunikationssystem in Übereinstimmung mit den folgenden Ansprüchen.

[0008] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass sie eine Taktrückgewinnungstechnik schafft, die auf der Impulsantwort der Empfängerentzerrerstruktur beruht.

[0009] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die vorliegende Erfindung eine Taktrückgewinnungstechnik schafft, die zur Verwendung in einem Empfänger mit Tbeabstandeten Entzerrern geeignet ist.

[0010] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Taktrückgewinnungstechnik in einem Empfänger verwendet werden kann, bei dem die Echokompensation nach der Entzerrung des empfangenen Signals ausgeführt wird.

[0011] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass sie eine Taktrückgewinnungstechnik schafft, die während der gesamten Normalbetriebsart des digitalen Datenkommunikationssystems und während des Aktualisierens der Empfängerentzerrer effektiv verwendet werden kann.

[0012] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine Taktrückgewinnungs-Verarbeitungsschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung mit digitalen Hochgeschwindigkeits-Logikkomponenten anstelle eines digitalen Signalprozessors implementiert werden kann.

[0013] Die obigen und weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung können in einer Form durch ein Taktrückgewinnungsverfahren für eine Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationsvorrichtung ausgeführt werden. Das Verfahren erhält Daten, die mehrere Filterabgriffkoeffizienten angeben, die einer adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet sind, die von der Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationsvorrichtung verwendet wird, verarbeitet die Daten zum Quantifizieren einer Kostenfunktion, die einer Impulsantwort der adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet ist, und erzeugt ein Abtastphasen-Steuersignal. Das Abtastphasen-Steuersignal ist so konfiguriert, dass es ein der Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationsvorrichtung zugeordnetes Abtastelement einstellt, um dadurch die Kostenfunktion weentlich zu optimieren.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0014] Ein umfassenderes Verständnis der vorliegenden Erfindung kann mit Bezug auf die ausführliche Beschreibung und auf die Ansprüche abgeleitet werden, wenn diese in Verbindung mit den Figuren betrachtet werden, wobei sich gleiche Beugszeichen in den gesamten Figuren auf ähnliche Elemente beziehen und wobei:

[0015] **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Abschnitts eines beispielhaften digitalen Kommunikationsempfängers ist, der in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konfiguriert ist;

[0016] **Fig. 2** ein Ablaufplan eines Entzerrer-basierten Taktrückgewinnungsverfahrens ist, das von dem in **Fig. 1** gezeigten Empfänger ausgeführt werden kann;

[0017] **Fig. 3** eine schematische Darstellung eines Abschnitts eines beispielhaften digitalen Kommunikationsempfängers ist, der in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung konfiguriert ist;

[0018] **Fig. 4** eine schematische Darstellung eines beispielhaften Taktrückgewinnungs-Verarbeitungselements ist, das Parzialverzögerungsfilter verwendet;

[0019] **Fig. 5** und **6** schematische Darstellungen alternativer Taktrückgewinnungs-Verarbeitungselemente sind, die Parzialverzögerungstechniken verwenden;

[0020] **Fig. 7** eine schematische Darstellung eines beispielhaften Taktrückgewinnungs-Verarbeitungselements ist, das Vorläufer- und Nachläufer-Entzerrerantworten misst und analysiert;

[0021] **Fig. 8** eine schematische Darstellung eines alternativen Taktrückgewinnungs-Verarbeitungselements ist, das Vorläufer- und Nachläufer-Entzerrerantworten misst und analysiert;

[0022] **Fig. 9** eine schematische Darstellung einer beispielhaften Hardware-Lösung zur Ausführung einer alternativen Summen-Taktrückgewinnungstechnik ist; und

[0023] **Fig. 10** eine schematische Darstellung einer beispielhaften Hardware-Lösung zur Ausführung einer korrelationsbasierten alternativen Summen-Taktrückgewinnungstechnik ist.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER BEISPIELHAFTER AUS-FÜHRUNGSFORMEN

[0024] Die vorliegende Erfindung kann hier hinsichtlich Funktionsblockkomponenten und verschiedener Verarbeitungsschritte beschrieben werden. Es ist klar, dass diese Funktionsblöcke durch irgendeine Anzahl von Hardware-Komponenten realisiert werden können, die zur Ausführung der spezifizierten Funktionen konfiguriert sind. Beispielsweise kann die vorliegende Erfindung verschiedene integrierte Schaltungskomponenten, z. B. Speicherelemente, digitale Signalverarbeitungselemente, Logikelemente, Nachschlagetabellen und dergleichen verwenden, die gemäß der Steuerung eines oder mehrerer Mikroprozessoren oder anderer Steuervorrichtungen eine Vielzahl von Funktionen ausführen können. Außerdem ist für den Fachmann auf dem Gebiet klar, dass die vorliegende Erfindung in irgendeinem einer Anzahl von Datenkommunikationskontexten verwirklicht werden kann und dass das hier beschriebene System lediglich eine beispielhafte Anwendung für die Erfindung ist. Ferner wird angemerkt, dass die vorliegende Erfindung irgendeine Anzahl herkömmlicher Techniken für die Datenübertragung, für das Training, für die Signalverarbeitung und -aufbereitung und dergleichen verwenden kann. Solche allgemeinen Techniken, die dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt sein können, werden hier nicht ausführlich beschrieben.

[0025] In **Fig. 1** ist in schematischer Form ein Abschnitt eines beispielhaften digitalen Datenkommunikationsempfängers **100** gezeigt. **Fig. 2** ist ein Ablaufplan eines beispielhaften Entzerrer-basierten Taktrückgewinnungsverfahrens **200**, das von dem Empfänger **100** ausgeführt werden kann, um eine geeignete Abtastphase, die einem empfangenen Signal zugeordnet ist, zu überwachen, einzustellen und aufrechtzuerhalten. Das Verfahren **200** kann während einer Initialisierungsperiode oder während einer Normalbetriebsart, die dem gegebenen digitalen Datenkommunikationssystem zugeordnet sind, ausgeführt werden. Obgleich dies keine Anforderung der vorliegenden Erfindung ist, sind der Empfänger **100** und das Verfahren **200** zur Verwendung mit einem digitalen Hochgeschwindigkeits-Kommunikationssystem (z. B. mit einem System, das Daten mit Geschwindigkeiten von mehr als 1.000.000 Symbolen pro Sekunde überträgt), das T-beabstandete Entzerrer verwendet, besonders geeignet. Im Kontext dieser Beschreibung bedeutet "T-beabstandet", dass der Empfänger **100** lediglich einen Abtastwert pro empfangenes Symbol annimmt.

[0026] Es ist klar, dass diese Beschreibung annimmt, dass der Empfänger **100** eine geeignete Abtastphase erhalten hat, die der Sendeabtastphase zugeordnet ist. Für diesen Zweck kann irgendeine Anzahl bekannter Techniken verwendet werden. Vorzugsweise werden die Techniken der vorliegenden Erfindung zur Überwachung und Einstellung der Abtastphase des empfangenen Signals verwendet. Allerdings können Änderungen der Abtastphase zu einer Abtastphasenänderung führen; auf diese Weise kann das Verfahren **200** außerdem die Abtastphase des Empfängers **100** beeinflussen.

[0027] Der Empfänger **100** enthält eine Abtasteinrichtung **102**, die so konfiguriert ist, dass sie ein empfangenes Signal **104** abtastet, um dadurch ein abgetastetes Signal **106** mit einer Abtastphase zu erhalten. Das empfangene Signal **104** kann ein Signal sein, das repräsentativ für mehrere gesendete digitale Symbole ist. Vorzugsweise führt die Abtasteinrichtung **102** die dem Verfahren **200** zugeordnete Aufgabe **202** aus. Für die hier beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen kann die Abtasteinrichtung **102** als eine T-beabstandete Abtasteinrichtung betrachtet werden, d. h., die Abtasteinrichtung **102** tastet das Signal **104** einmal pro Symbol ab. Im Kontext dieser Beschreibung bedeutet eine verfrühte Abtastphase, dass die Abtasteinrichtung **102** das empfangene Signal **104** in Bezug auf den gewünschten Abtastpunkt früher abtastet, während eine verspätete Abtastphase bedeutet, dass die Abtasteinrichtung **102** das empfangene Signal **104** in Bezug auf den gewünschten Abtastpunkt später in der Zeit abtastet. Außerdem enthält der Empfänger **100** eine adaptive Entzerrerstruktur **108**, die so konfiguriert ist, dass sie das abgetastete Signal **106** entzerrt (Aufgabe **204**). In der bevorzugten Ausführungsform ist die Entzerrerstruktur **108** ein T-beabstandeter Entzerrer. Während der Aufgabe **204** wird die Entzerrerstruktur **108** vorzugsweise aktualisiert, d. h., werden ihre Filterabgriffkoeffizienten adaptiv eingestellt.

[0028] Vorzugsweise ist die Entzerrerstruktur **108** so konfiguriert, dass sie die Eigenschaften des Übertragungskanal kompensiert. Die Entzerrerstruktur **108** ist eine adaptive Entzerrerstruktur mit einstellbaren Parametern, z. B. Filterabgriffen, die den Betrieb der Entzerrerstruktur **108** steuern. In einer praktischen Ausführungsform kann die Entzerrerstruktur **108** durch irgendeine Anzahl von Filterkomponenten realisiert sein. Beispielsweise kann die Entzerrerstruktur **108** einen Vorwärtsregelungsentzerrer (FFE), einen Entscheidungsrückkopplungsentzerrer (DFE), einen Rauschprädiktor (NPD) oder dergleichen oder irgendeine geeignete Kombination dieser Komponenten enthalten (für eine bevorzugte Ausführungsform siehe **Fig. 3**). Die Strichlinie in **Fig. 1** gibt an, dass die Entzerrerstruktur **108** auf ein Rückkopplungssignal reagieren kann, das von einem dem Empfänger **100** zugeordneten Ausgang genommen oder abgeleitet wird. Im Kontext der vorliegenden Erfindung können diese und andere Entzerrer- und Filteranordnungen verwendet werden, die dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt sind. Eine Anzahl solcher Elemente des Standes der Technik sind ausführlich beschrieben in ADAPTIVE FILTER THEORY (3. Aufl. 1996) von Simon Haykin.

[0029] Die Entzerrerstruktur **108** erzeugt ein entzerrtes Signal **110**, das einem Summierer **112** zugeführt wird. Außerdem empfängt der Summierer **112** ein Eingangssignal von einer Echokompensationseinrichtung **114**, die so konfiguriert ist, dass sie einen Echoschätzwert **116** für ein Echosignal erzeugt, das in Reaktion auf ein Signal erzeugt wird, das von einem Sender gesendet wird, der sich in der gleichen Terminalausrüstung wie der Empfänger **100** befindet. Beispielsweise kann eine digitale Vollduplex-Kommunikationsvorrichtung Signale von einer fernen Vorrichtung empfangen, während sie abgehende Signale sendet. Die abgehenden Signale können ein Echosignal erzeugen, das das ankommende Signal stört. In einer praktischen Ausführungsform kann die Echokompensationseinrichtung **114** als eine adaptive Entzerrerstruktur konfiguriert sein. Der Echoschätzwert **116** kann in Reaktion auf das bekannte Signal erzeugt werden, das gleichzeitig von einem entsprechenden Sender gesendet wird.

[0030] Vorzugsweise ist der Summierer **112** so konfiguriert, dass er den Echoschätzwert **116** von dem entzerrten Signal **110** subtrahiert. Alternativ kann als Einrichtung zum Entfernen oder Subtrahieren des unerwünschten Echosignals aus dem entzerrten Signal **110** irgendein geeignetes Element oder Verfahren verwendet werden. Auf diese Weise kann eine Echokompensationsaufgabe **206** gelöst werden (siehe **Fig. 2**). In der gezeigten Ausführungsform wird das Ausgangssignal des Summierers **112** einer Kappungs- oder Unterteilungseinrichtung **118** zugeführt, die so konfiguriert ist, dass sie das Ausgangssignal des Summierers **112** in einen von mehreren vorgegebenen digitalen Pegeln quantisiert. In einigen Ausführungsformen wird das Aus-

- gangssignal der Kappungs- oder Unterteilungseinrichtung **118** (wie von den Strichlinien gezeigt ist) in die Entzerrerstruktur **108** rückgekoppelt.
- [0031] Wie unten ausführlicher beschrieben wird, kann ein Taktrückgewinnungselement **120** eine Anzahl von Techniken zum Ausführen der Taktrückgewinnung (Aufgabe **208**) verwenden. In Übereinstimmung mit einem bevorzugten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist das Taktrückgewinnungselement **120** betriebsfähig der Entzerrerstruktur **108** zugeordnet. Das Taktrückgewinnungselement **120** ist so konfiguriert, dass es Daten empfängt, die für mehrere Filterabgriffkoeffizienten der Entzerrerstruktur **108** repräsentativ sind, die Impulsantwort der Entzerrerstruktur **108** und/oder eine kombinierte Impulsantwort der Entzerrerstruktur **108** und eines weiteren Filter- oder Entzerrerelements analysiert und ein Abtastphasen-Steuersignal **122** erzeugt.
- [0032] Das Taktrückgewinnungselement **120** ist geeignet konfiguriert, um ein Abtastphasen-Steuersignal **122** zu erzeugen, so dass eine einer Impulsantwort der Entzerrerstruktur **108** zugeordnete Kostenfunktion wesentlich optimiert wird. Dementsprechend kann das Abtastphasen-Steuersignal **122** ein Δt -Wert sein, der eine gewünschte Abtastzeitverschiebung angibt, die einem momentanen Symbol zugeordnet ist. Das Abtastphasen-Steuersignal **122** kann eine beispielhafte Verzögerungs- oder Fortschrittslänge angeben, die erforderlich ist, um die Menge oder Eigenschaft, die von dem Taktrückgewinnungselement **120** analysiert wird, zu optimieren. Die vorliegende Erfindung nimmt an, dass die Filterabgriffkoeffizienten der Entzerrerstruktur **108** schnell genug aktualisiert werden, um Änderungen der Abtastphase zu widerspiegeln. Andernfalls kann sich die Abtastphase ohne eine entsprechende Änderung der Filterabgriffkoeffizienten verschieben.
- [0033] Um das Steuersignal **122** in der Weise aufzubereiten oder zu verarbeiten, dass ein geeignetes Abtastphasen-Einstellsignal **126** erzeugt wird, kann ein Schleifenfilter **124** verwendet werden. Somit bewirkt das Ausgangssignal des Taktrückgewinnungselements **120**, dass das Abtastphasen-Einstellsignal **126** die Abtastphase des empfangenen Signals auf geeignete Weise einstellt (Aufgabe **210**). Wie in **Fig. 2** angegeben ist, kann das Taktrückgewinnungsverfahren **200** auf unbestimmte Zeit fortgesetzt werden oder während der Kommunikationssitzung auf periodische Weise wiederholt werden, um sicherzustellen, dass die momentane Abtastphase wesentlich optimiert wird.
- [0034] Insbesondere kann der (mit der T-beabstandeten Entzerrerstruktur **108** konfigurierte) Empfänger **100** seine Taktrückgewinnungsprozedur mit nur einer Echokompensationseinrichtung **114** effektiv ausführen. In der bevorzugten Anordnung erzeugt das Taktrückgewinnungselement **120** das Abtastphasen-Steuersignal **122** für ein empfangenes Signal, in dem ein Echosignal vorhanden ist. Demgegenüber umfassen Implementierungen des Standes der Technik eine oder mehrere Hilfsechokompensationseinrichtungen (oder Entzerrer), um das Echo aus dem von dem Taktrückgewinnungselement verwendeten Signal zu entfernen. Die primäre Echokompensationseinrichtung wird daraufhin genauer zum Entfernen des Echos aus dem Signalweg verwendet. Solche Empfänger des Standes der Technik, die mehrere Echokompensationseinrichtungen verwenden, sind kostspielig zu implementieren und können zusätzliche Rechenfähigkeiten erfordern.
- [0035] **Fig. 3** zeigt eine ausführlichere Version des in **Fig. 1** gezeigten Empfängers. Insbesondere zeigt **Fig. 3** einen Empfänger **300**, der in Übereinstimmung mit einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung konfiguriert ist, die Vorwärtsregelungs- und Rückkopplungsentzerrer verwendet. Vorzugsweise enthält der Empfänger **300** eine Abtasteinrichtung **302**, einen Summierer **312**, eine Echokompensationseinrichtung **314**, eine Kappungs- oder Unterteilungseinrichtung **318**, ein Taktrückgewinnungselement **320** und ein Schleifenfilter **324**; diese Elemente sind ähnlich ihren oben in Verbindung mit dem Empfänger **100** beschriebenen Gegenstück-Elementen. Es wird angemerkt, dass das entzerrte Signal, von dem der Echoschätzwert subtrahiert wird, in dieser Ausführungsform selbst eine Summe des entzerrten Ausgangssignals, das einem Vorwärtsregelungs-Entzerrerelement (FFE-Element) **326** zugeordnet ist, und des entzerrten Ausgangssignals, das einem Entscheidungsrückkopplungs-Entzerrerelement (DFE-Element) **328** zugeordnet ist, ist.
- [0036] Vorzugsweise enthält die von dem Empfänger **300** verwendete Entzerrerstruktur ein FFE-Element **326** und ein DFE-Element **328**. Die dem FFE-Element **326** zugeordneten Filterabgriffkoeffizienten sind durch $f(n)$ identifiziert, während die dem DFE-Element **328** zugeordneten Filterabgriffkoeffizienten durch $w(n)$ identifiziert sind. Die allgemeine Anordnung und die Funktion von FFE/DFE-Entzerrerstrukturen sind dem Fachmann auf dem Gebiet bekannt, wobei hier das FFE-Element **326** und das DFE-Element **328** dementsprechend nicht ausführlich beschrieben werden. Eine ausführlichere Beschreibung solcher Elemente ist zu finden in Simon Haykin, ADAPTIVE FILTER THEORY (3. Aufl. 1996).
- [0037] Ähnlich dem Taktrückgewinnungselement **120** können dem Taktrückgewinnungselement **320** betriebsfähig ein FFE-Element **326** und ein DFE-Element **328** zugeordnet sein. Mit anderen Worten, das Taktrückgewinnungselement **320** ist vorzugsweise so konfiguriert, dass es Daten empfängt, die die Filterabgriffkoeffizienten $f(n)$ und $w(n)$ angeben, und die Koeffizienten auf geeignete Weise verarbeitet.
- [0038] Wie oben kurz beschrieben wurde, ist das Taktrückgewinnungselement **320** so konfiguriert, dass es eine Taktrückgewinnungstechnik ausführt, die auf einer Analyse der Impulsantwort der FFE/DFE-Entzerrerstruktur beruht. In der Praxis ist das Taktrückgewinnungselement **320** bestrebt, eine der Impulsantwort zugeordnete Kostenfunktion zu optimieren. In einer bevorzugten Ausführungsform optimiert das Taktrückgewinnungselement **320** im Wesentlichen eine der Impulsantwort zugeordnete Energiekompaktheits-Kostenfunktio-

on. Im Kontext dieser Beschreibung bedeutet eine "Energiekompaktheits-Kostenfunktion" die Konzentration der Impulsantwort-Energie in einem kurzen Zeitintervall. Beispielsweise kann die meiste Impulsantwort-Energie mit nur wenigen Abtastwerten repräsentiert werden, wenn die Abtastphase auf das gesendete Signal ausgerichtet ist. Obgleich eine Anzahl von Energiekompaktheitsmessungen und -parametern analysiert werden können, berechnet eine bevorzugte Methodik die Quadratsumme oder die absolute Summe des "Anfangs" und des "Endes" der Impulsantwort (d. h. die Impulsantwort ausschließlich der Mitte der Impulsantwort). Eine praktische Wahl für die Energiekompaktheits-Kostenfunktion ist die Verwendung der Quadratsumme der Impulsantwort (nach Filterung durch die Vorwärts- oder Rückwärts-Parzialverzögerungsfilter), aber ausschließlich mehrerer Abtastwerte, z. B. zehn, in der Nähe der Spitze (Positionsanzeiger) der Impulsantwort. Somit kann das Taktrückgewinnungselement **320** auf diese Weise die Energiekompaktheits-Kostenfunktion analysieren und die Abtastphase dementsprechend einstellen.

[0039] In dieser bevorzugten Ausführungsform verwendet das Taktrückgewinnungselement **320** Parzialverzögerungstechniken, um die Wirkung zu emulieren, die verschiedene Abtastphaseneinstellungen auf die Impulsantwort der FFE/DFE-Entzerrerstruktur haben. Eine solche Emulation ist wünschenswert, da es in einem praktischen System nicht möglich ist, die Abtastphase während des Normalbetriebs tatsächlich einzustellen, um Diagnostiktests auszuführen. **Fig. 4** ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften ausführlichen Konfiguration für ein Taktrückgewinnungselement **400**. Wie oben beschrieben wurde, erhält das Taktrückgewinnungselement **320** die Impulsantwort des FFE-Elements **326**, $f(n)$, und die Impulsantwort des DFE-Elements **328**, $w(n)$. Die kombinierte Antwort der FFE/DFE-Entzerrerstruktur kann einem Impulsantwortelement **402** des Entzerrers zugeordnet werden.

[0040] Die Parzialverzögerungstechnik analysiert nach der Abtastung durch die Abtasteinrichtung **302**, aber vor der Entzerrung, die Wirkung der Einführung hypothetischer Parzialverzögerungsfilter. Die hypothetische Änderung der Abtastphase ändert die Impulsantwort des Entzerrers. Die theoretische Änderung der Impulsantwort des Entzerrers kann dadurch ausgewertet werden, dass die Impulsantwort des hypothetischen Parzialverzögerungsfilters mit der tatsächlichen Impulsantwort der Entzerrerstruktur gefaltet wird. Somit wird zur Bewertung der Wirkung der Verschiebung der Abtastphase die kombinierte Impulsantwort der FFE/DFE-Entzerrerstruktur und des Parzialverzögerungsfilters erhalten und analysiert. Falls das Einführen einer gegebenen Parzialverzögerung die Energiekompaktheits-Kostenfunktion der Impulsantwort des FFE/DFE-Entzerrers verbessert, sollte beispielsweise eine entsprechende Einstellung der Abtastphase die Leistung der FFE/DFE-Entzerrerstruktur verbessern.

[0041] **Fig. 4** zeigt, dass eine beispielhafte Ausführungsform gleichzeitig die Wirkungen testen kann, die der Einführung eines Vorwärtspartialverzögerungsfilters **404** und eines Rückwärtspartialverzögerungsfilters **406** zugeordnet sind. Vorzugsweise wird eine entsprechende Energiekompaktheitsmessung **408**, **410** ausgeführt, um die entsprechenden den kombinierten Impulsantworten zugeordneten Energiekompaktifizierungsparameter zu berechnen. Um zu bestimmen, welches Parzialverzögerungsfilter ein besseres Ergebnis, d. h. mehr Energiekompaktifizierung in der kombinierten Impulsantwort, erzeugt, kann ein Komparator **412** verwendet werden. Außerdem (oder alternativ) kann der Komparator **412** so konfiguriert sein, dass er die Energiekompaktheitsmessung, die der Vorwärts/Rückwärts-Parzialverzögerung zugeordnet ist, mit der Energiekompaktheitsmessung vergleicht, die der unkompensierten FFE/DFE-Entzerrerstruktur zugeordnet ist. Der Komparator **412** kann bewirken, dass in Reaktion auf die Verzögerung (oder auf einen anderen geeigneten Parameter), die dem jeweiligen Parzialverzögerungsfilter zugeordnet ist, ein Abtastphasen-Steuersignal **414** erzeugt wird. In einer praktischen Ausführungsform beruht die Menge der Abtastphaseneinstellung, die von dem Abtastphasen-Steuersignal **414** verursacht wird, auf dem vom Komparator **412** ausgeführten Vergleich.

[0042] Da dieser Zugang auf der Verwendung der Gesamtimpulsantwort der Entzerrerelemente beruht, muss die Impulsantwort von DFE-basierten Systemen ausgewertet werden. Obgleich Methodiken zur Auswertung der DFE-Impulsantwort verhältnismäßig einfach zu implementieren sein können, erfordert diese Auswertung einen Rechenorganisationsaufwand. Um die Rechenlast zu vermeiden, können die DFE-Filterkoeffizienten direkt verwendet werden. Allerdings kann in einem praktischen System die Robustheit eines solchen Verfahrens gefährdet werden.

[0043] Die obigen Berechnungen der Impulsantworten erfordern Zugriff auf die Filterabgriffkoeffizienten des FFE-Entzerrerelements **326** und des DFE-Entzerrerelements **328**. Allerdings ist dieser Zugriff in praktischen Systemen verhältnismäßig leicht zu erhalten, wobei dieser Zugriff und diese Berechnung offline ausgeführt werden können, ohne den Normalbetrieb des Empfängers **300** zu stören. Außerdem kann die rechnerische Kompliziertheit unter Verwendung von Vereinfachungen und Näherungen und durch die Ausnutzung von Symmetrien in den Berechnungen stark verringert werden.

[0044] In einer beispielhaften Ausführungsform sind das Vorwärtspartialverzögerungsfilter **404** und das Rückwärtspartialverzögerungsfilter **406** Filter mit endlicher Impulsantwort (FIR-Filter). Bei solchen FIR-Filtern sind die Filterabgriffkoeffizienten des Rückwärtsverzögerungsfilters **406** die Filterabgriffkoeffizienten des Vorwärtsverzögerungsfilters **404** in umgekehrter Reihenfolge. Somit sind die Koeffizienten des Rückwärtsverzögerungsfilters **406** (N, G, F, D, C, B, A), falls das Vorwärtsverzögerungsfilter **404** die Filterabgriffkoeffizienten

(A, B, C, D, F, G, N) besitzt.

[0045] Außerdem erfüllen die Koeffizienten in diesem Beispiel für kleine Parzialverzögerungen die folgenden Näherungen: $H \approx -A$, $G \approx -B$, $F \approx -C$ und $D \approx 1$. Somit können die Vorwärts- und Rückwärtsverzögerungsfilter durch die folgenden Koeffizienten (A, B, C, 1, -C, -B, -A) bzw. (-A, -B, -C, 1, C, B, A) repräsentiert werden. Dies führt zu einer effizienten Implementierung der Filter, die auf einem reinen Verzögerungsfilter mit den Koeffizienten (0, 0, 0, 1, 0, 0, 0) und auf einem antisymmetrischen Filter mit den Koeffizienten (A, B, C, 0, -C, -B, -A) beruht: Die Vorwärtsverzögerungskoeffizienten sind die reinen Verzögerungskoeffizienten plus den antisymmetrischen Filterkoeffizienten, während die Rückwärtsverzögerungsfilterkoeffizienten die reinen Verzögerungskoeffizienten minus den antisymmetrischen Filterkoeffizienten sind. Außerdem kann das antisymmetrische Filter selbst effizient durch Ausnutzung seiner Symmetrie implementiert werden. Es ist klar, dass der gleiche Typ von Näherungen unter der Annahme, dass die Filterlänge eine ungerade Zahl ist, auf Filter mit verschiedenen Längen angewendet werden kann.

[0046] Die nächste Ableitung bei der Vereinfachung beruht auf Eigenschaften linearer zeitinvarianter Systeme. Die Impulsantwort des Entzerrers wird durch das diskrete Zeitsignal $h(n)$ repräsentiert, wobei n der Abtastwertindex ist und die Vorwärts- und Rückwärts-Parzialverzögerungsfilter durch $d_0(n)$ bzw. $d_1(n)$ repräsentiert werden. Folglich sind die Ausgangssignale des Vorwärts- und des Rückwärtsfilters:

$$p_0(n) = d_0(n) * h(n) \text{ und}$$

$$p_1(n) = d_1(n) * h(n),$$

wobei der Stern den diskreten Faltungsoperator darstellt. Falls das Vorwärts- und das Rückwärtsfilter die obenbeschriebene Antisymmetrieeigenschaft besitzen, können sie als

$$p_0(n) = z(n) + a(n) \text{ und}$$

$$p_1(n) = z(n) - a(n),$$

dargestellt werden, wobei $z(n)$ und $a(n)$ die Ausgangssignale von der Filterung $h(n)$ durch das reine Verzögerungsfilter bzw. durch die antisymmetrischen Filter sind. Die Energiedifferenz zwischen dem vorwärts und dem rückwärts gefilterten Signal kann wie folgt berechnet werden:

$$e(n) = p_0^2(n) - p_1^2(n) = (z^2(n) + 2z(n)a(n) + a^2(n)) - (z^2(n) - 2z(n)a(n) + a^2(n)) = 4z(n)a(n).$$

[0047] **Fig. 5** zeigt eine schematische Darstellung eines alternativen Taktrückgewinnungselements **500**, das so konfiguriert ist, dass es die obenbeschriebene vereinfachte Berechnung ausführt. Wie in den früheren Ausführungsformen erhält das Taktrückgewinnungselement **500** die Impulsantwort **502** der FFE/DFE-Entzerrerstruktur. Das reine Verzögerungsfilter $z(n)$ ist durch die Verbindung direkt von der Impulsantwort **502** zu einem Multiplizierer **506** dargestellt. Es ist klar, dass der Multiplizierer **506** so konfiguriert sein kann, dass er den in der obigen Beziehung enthaltenen Multiplikationsfaktor vier enthält. Das antisymmetrische Filter $a(n)$ ist durch das antisymmetrische Parzialverzögerungsfilter **504** dargestellt.

[0048] Zum Summieren des Fehlersignals $e(n)$ über ausgewählte Abschnitte der Impulsantwort (was unten ausführlicher beschrieben wird) kann ein selektives Summationselement **508** verwendet werden. Eine ausführliche Untersuchung der Summation und der symmetrischen Eigenschaften der obenbeschriebenen Filter offenbart, dass sich die meisten Terme in dieser Summe gegenseitig aufheben. Die Endsumme in der selektiven Summation ist durch nur wenige Terme des antisymmetrischen Parzialverzögerungsfilters **504** bestimmt. Diese Eigenschaft kann ausgenutzt werden, um die Berechnungen noch weiter zu vereinfachen; die Filterungs- und Summationsberechnungen brauchen lediglich für jene Terme ausgeführt zu werden, die sich in der Summe nicht aufheben. **Fig. 6** zeigt ein alternatives Taktrückgewinnungselement **600**, das ein solches Element **602** für die selektive Filterung und Summation verwendet.

[0049] Eine mögliche Ausführungsform des Parzialverzögerungszugangs besteht darin, die Entzerrer wie normal in einer Verfolgungsbetriebsart zu betreiben, in der die Aktualisierung der Filterabgriffkoeffizienten schnell genug ist, um das Driften in der Abtastphase in Bezug auf die Symbolrate zu verfolgen. Daraufhin werden die Entzerrerfilter-Abgriffkoeffizienten periodisch untersucht, um zu bestimmen, ob die Abtastphase eingestellt werden muss. Wie oben beschrieben wurde, kann die Untersuchung auf der Bewertung von zwei Abgriffphasenänderungen (eine vorwärts und eine rückwärts in der Zeit) beruhen. Diese Untersuchungen können im Vergleich zu der Symbolrate verhältnismäßig selten ausgeführt werden.

[0050] Von dem Taktrückgewinnungselement **320** kann eine alternative Technik verwendet werden, um die Abtastphase einzustellen und dadurch eine der Impulsantwort der adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnete Kostenfunktion wesentlich zu optimieren. Diese alternative Technik beruht auf der Messung der Vorläufer- und

Nachläuferantwort der Entzerrerstruktur. Die relativen Messungen der Vorläuferantwort und der Nachläuferantwort werden analysiert und die Abtastphase wird dementsprechend eingestellt.

[0051] In einem praktischen digitalen Kommunikationssystem mit einem verhältnismäßig gutartigen Kanal (wobei der Kanal z. B. keine ungewöhnlich große Menge frequenzabhängiger Störung besitzt) besitzt die Impulsantwort einer T-beabstandeten Entzerrerstruktur eine große Vorläuferimpulsantwort, falls die Abtastung des empfangenen Signals verspätet, d. h. nach der optimalen Abtastzeit, erfolgt. Umgekehrt besitzt die T-beabstandete Entzerrerstruktur eine große Nachläufer-Impulsantwort, falls die Abtastung des empfangenen Signals verfrüht erfolgt. Diese Betriebseigenschaften können bei praktischen Systemen empirisch überprüft werden und werden teilweise durch die Intersymbolstörung verursacht, die durch verfrühte oder verspätete Abtastung verursacht wird. Die Anwesenheit der Intersymbolstörung bewirkt, dass die Entzerrerstruktur an ihrer Impulsantwort entsprechende adaptive Einstellungen vornimmt. Folglich sind die Vorläuferantwort und die Nachläuferantwort (nach geeigneten Normierungen) im Gleichgewicht, wenn die Abtastphase optimiert ist.

[0052] Die obigen Annahmen und Beobachtungen bilden die Grundlage für die folgende bevorzugte Takrückgewinnungstechnik. Allgemein kann ein Takrückgewinnungselement **700** geeignet konfiguriert sein, um die Vorläufer- und Nachläufer-Impulsantwort der FFE/DFE-Entzerrerstruktur z. B. mit einem Vorläufer-Energiemesselement **702** und mit einem Nachläufer-Energiemesselement **704** zu messen (Fig. 7). Die jeweiligen Messelemente **702**, **704** können so konfiguriert sein, dass sie normierte Messwerte erzeugen, so dass eine intelligente Grundlage für den Vergleich erhalten werden kann. Ein Komparator **706** führt eine Vergleichsanalyse der normierten Vorläufer- und Nachläufer-Antwortmessungen aus, um eine Differenz zu erhalten. Es ist klar, dass die Messelemente **702**, **704** alternativ konfiguriert sein können, um anhand der jeweiligen Antworten irgendeine wünschenswerte Größe zu erzeugen, und dass der Komparator **706** so konfiguriert sein kann, dass er irgendeine geeignete Größe verarbeitet, die der Vorläufer- und der Nachläuferantwort zugeordnet ist.

[0053] Falls die normierte Vorläufermessung größer als die normierte Nachläufermessung ist, kann ein Steuersignal **708** erzeugt werden, so dass die Abtastzeit in Bezug auf den empfangenen Impuls vorwärts bewegt wird. Umgekehrt wird die Abtastzeit rückwärts bewegt, falls die normierte Vorläufermessung kleiner als die normierte Nachläufermessung ist. In einer praktischen Ausführungsform wird der Abtastpunkt dadurch vorwärts bewegt, dass die der Abtasteinrichtung **302** (siehe Fig. 3) zugeordnete Abtastphase vorgerückt wird, während er durch Verzögern der Abtastphase rückwärts bewegt wird.

[0054] Wie oben erwähnt wurde, können als Grundlage für die obigen Berechnungen und Vergleiche eine Vielzahl von Messgrößen verwendet werden. Beispielsweise können die Messungen auf einer oder auf mehreren der folgenden Techniken beruhen: Quadratsumme, Quadratwurzel aus der Quadratsumme, absolute Summe, alternierende Summe und Absolutwert der alternierenden Summe. Obgleich die Quadratsummen bessere Schätzwerte der wahren Energiemessungen der Vorläufer- und Nachläuferantworten sind, können die absolute Summe und die alternierenden Summen leichter zu implementieren sein. Außerdem können die absolute Summe und die alternierenden Summen bessere Ergebnisse liefern.

[0055] Bei der Ausführung einer der obigen Summierungstechniken können die Filterabgriffkoeffizienten des FFE-Elements **326** direkt verwendet werden, um (anstelle der Impulsantwort des FFE-Elements **326**) die Vorläuferenergiemessung zu schätzen. Gleichfalls können die Filterabgriffkoeffizienten des DFE-Elements **328** direkt verwendet werden, um die Nachläufer-Energiemessung zu schätzen. Dementsprechend kann für diese Beschreibung das FFE-Element **326** als ein Vorläufer-Entzerrerelement betrachtet werden, während das DFE-Element **328** als ein Nachläufer-Entzerrerelement betrachtet werden kann. Diese vereinfachte Anordnung ist in Fig. 8 gezeigt, in der die Filterabgriffkoeffizienten von dem FFE-Element **326**, $f(n)$, durch ein Vorläufer-Energiemesselement **802** verarbeitet werden, während die Filterabgriffkoeffizienten von dem DFE-Element **328**, $w(n)$, von einem Nachläufer-Energiemesselement **804** verarbeitet werden.

[0056] In einer praktischen Ausführungsform können das Vorläufer-Messelement **802** und das Nachläufer-Messelement **804** so konfiguriert sein, dass sie anhand der jeweiligen Filterabgriffkoeffizienten eine geeignete alternierende Summe berechnen. Beispielsweise kann das Vorläufer-Messelement **802** eine erste Summe einer Anzahl von Filterabgriffkoeffizienten von dem FFE-Element **326** berechnen, während das Nachläufererelement **804** eine zweite Summe einer Anzahl von Filterabgriffkoeffizienten von dem DFE-Element **328** berechnen kann. Anschließend kann ein Komparator **806** die erste und die zweite Summe vergleichen, um zu bestimmen, wie die Abtastphase am besten einzustellen ist.

[0057] In einer bevorzugten praktischen Ausführungsform werden die alternierenden Summen der ersten wenigen Filterabgriffkoeffizienten des FFE-Elements **326** bzw. des DFE-Elements **328** verwendet, um die Vorläuferenergie und die Nachläuferenergie abzuschätzen. Da die meisten der relevanten kennzeichnenden Informationen aus einer beschränkten Anzahl von Anfangsfilterabgriffkoeffizienten entnommen werden können, brauchen nicht alle Filterkoeffizienten in die alternierende Summe aufgenommen zu werden. Eine beispielhafte Technik berechnet die Absolutwerte der zwei alternierenden Summen, bevor sie die Summen subtrahiert. Eine bevorzugte Hardware-Implementierung zur Ausführung dieser Technik ist in Fig. 9 gezeigt. Für Hochgeschwindigkeitsanwendungen, bei denen digitale Signalprozessoren unbrauchbar langsam sind, wird eine Hardware-Implementierung bevorzugt, die auf Logikelementen beruht.

[0058] Anhand von **Fig. 9** ist eine praktische Implementierung eines beispielhaften Taktrückgewinnungselements **900** gezeigt. Das Taktrückgewinnungselement **900** ist so konfiguriert, dass es anhand des Absolutwerts der alternierenden Summen ein Abtastphasen-Steuersignal **902** berechnet. Das Taktrückgewinnungselement **900** verwendet digitale Logikelemente zur Berechnung der folgenden Differenz:

$$d = \text{abs} \left[\sum_{n=0}^{N1-1} (-1)^n f(n) \right] - \text{abs} \left[\sum_{n=0}^{N2-1} (-1)^n w(n) \right]$$

wobei $f(n)$ und $w(n)$ die FFE- bzw. DFE-Filterkoeffizienten sind, $N1$ die Anzahl der summierten FFE-Filterabgriffe und $N2$ die Anzahl der summierten DFE-Filterabgriffe ist. Es ist klar, dass die Differenz d selbst als das Abtastphasen-Steuersignal **902** verwendet werden kann oder dass die Differenz alternativ aufbereitet oder verarbeitet werden kann, um ein geeignetes Steuersignal **902** zu erhalten. Beispielsweise kann eine bestimmte Anwendung die Abtastphase auf stufenweise Art einstellen; wenn das der Fall ist, kann das Vorzeichen von d verwendet werden, um die Abtastphase um einen Schritt nach oben oder unten zu verschieben.

[0059] Wie gezeigt ist, werden die FFE- und DFE-Filterabgriffkoeffizienten als Eingangssignale in einen Multiplexer **904** verwendet. In der Praxis kann jeder Filterabgriffkoeffizient durch eine Anzahl von Bits, z. B. sechzehn, repräsentiert werden. Das Ausgangssignal des Multiplexers **904** wird einem Addieren **906** zugeführt, der außerdem den negativen Wert der Summe aus dem letzten Zyklus (das Ausgangssignal von einem Verzögerungselement **908**) empfängt. Der Addieren **906** ist so konfiguriert, dass er die alternierende Vorzeichensumme seiner Eingangssignale berechnet. Der genaue Betrieb des Taktrückgewinnungselements **900** wird durch ein Steuerelement **910** gesteuert.

[0060] Anfangs wird die Summe durch Zurücksetzen des Verzögerungselements **908** zurückgesetzt. Daraufhin werden die ersten $N1$ Koeffizienten des FFE-Elements **326** (siehe **Fig. 3**) über den Multiplexer **904** geleitet und wird ihre alternierende Summe berechnet. Wenn die Anfangssumme der Koeffizienten negativ ist, wird das Vorzeichen umgedreht, indem der Wert mit einem Eingangssignal null von dem Multiplexer **904** erneut über den Addieren geleitet wird. Daraufhin wird der Absolutwert der alternierenden FFE-Summe zur nachfolgenden Verwendung in einem Zwischenspeicher **912** gespeichert und die Summe zurückgesetzt. Nachfolgend werden die ersten $N2$ Filterkoeffizienten des DFE-Elements **328** über den Multiplexer **904** geleitet und wird ähnlich ihre alternierende Summe berechnet. Wie bei der FFE-Summe wird das Vorzeichen umgekehrt, indem der Wert erneut mit einem Eingangssignal null von dem Multiplexer **904** über den Addierer **906** geleitet wird, falls die DFE-Endsumme negativ ist. In dieser Phase hält der Zwischenspeicher **912** den Absolutwert der alternierenden Summe, der den FFE-Koeffizienten zugeordnet ist, während das Verzögerungselement **908** den Absolutwert der alternierenden Summe hält, die den DFE-Koeffizienten zugeordnet ist.

[0061] Schließlich wird die Differenz der zwei absoluten Summen erhalten, indem die FFE-Summe über den Multiplexer **904** geleitet und die DFE-Summe von ihr subtrahiert wird. Falls die FFE-Summe kleiner als die DFE-Summe ist, bewirkt das Abtastphasen-Steuersignal **902**, dass die Abtastphase vorrückt. Wenn die FFE-Summe größer als die DFE-Summe ist, bewirkt das Abtastphasen-Steuersignal **902**, dass die Abtastphase verzögert wird.

[0062] Anstelle der obenbeschriebenen Absolutwertmethodik kann eine praktische Implementierung eine alternierende Summe berechnen, die auf Korrelation beruht. **Fig. 10** ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften Hardware-Implementierung, die so konfiguriert ist, dass sie eine solche korrelationsbasierte Summe berechnet. Vorzugsweise ist das in **Fig. 10** gezeigte Taktrückgewinnungselement **1000** so konfiguriert, dass es die folgende Differenz:

$$d = \sum_{n=0}^{N1-1} (-1)^n f(n + N0) - \sum_{n=0}^{N2-1} (-1)^n w(n)$$

berechnet. Die Parameter $N0$ und $N1$ werden in Übereinstimmung mit dem Vorzeichen und mit der gewünschten Lage des dem FFE-Element **326** zugeordneten "Mittelabgriffs" ausgewählt.

[0063] Falls der Mittelabgriff des FFE-Elements **326** einen positiven/negativen Wert besitzt und $N0$ gerade/ungerade ist, zwingt die Taktrückgewinnungsprozedur den Mittelabgriff auf einen Abgriff mit einem geraden Index und ansonsten auf einen Abgriff mit einem ungeraden Index. Dieses Verhalten ergibt sich aus den Eigenschaften der praktischen Entzerrer für gutartige Kanäle, wobei die alternierende Summe der Filterkoeffizienten die absolute Summe (oder ihr Negatives) der Koeffizienten annähert. Falls die Vorzeichen der FFE-Koeffizienten auf das alternierende Muster der alternierenden Summe ausgerichtet sind, ist die alternierende Summe positiv; ansonsten ist die alternierende Summe negativ. Demgegenüber sind die Vorzeichen der DFE-Koeffizienten für gutartige Kanäle auf das Vorzeichenmuster der alternierenden Summe ausgerichtet, wobei die alternierenden Summe der DFE-Koeffizienten folglich immer positiv ist, falls $N2$ richtig ausgewählt ist.

Da die alternierende Summe der DFE-Koeffizienten positiv ist, ist die Differenz d immer negativ, falls die alternierende Summe der FFE-Koeffizienten negativ ist. Im Ergebnis wird die Abtastphase immer in der gleichen Richtung eingestellt, wobei die FFE-Koeffizienten schließlich um einen Filterabgriff verschoben werden. Diese Verschiebung richtet die Vorzeichen der FFE-Koeffizienten auf das Vorzeichenmuster der alternierenden Summe aus und steuert somit d auf null. Dementsprechend stellt die Taktrückgewinnungsprozedur die Abtastphase ein, bis die Vorzeichen der FFE-Koeffizienten und das Vorzeichenmuster der alternierenden Summe ausgerichtet sind, wenn sie nicht ausgerichtet sind. Folglich ist der FFE-Mittelabgriff je nach dem Vorzeichen des Mittelkoeffizienten und je nachdem, ob N_0 ungerade oder gerade ist, an einer geraden oder an einer ungeraden Stelle.

[0064] In einer praktischen V.90-Implementierung ist bestimmt worden, dass geeignete Werte für N_1 und N_2 unter der Annahme, dass das FFE-Element **326** und das DFE-Element **328** jeweils eine Länge (d. h. die Anzahl der Abgriffe) im Bereich von 16 bis 32 haben, im Bereich von 5 bis 10 liegen. Außerdem sollte der Wert von N_0 so gewählt werden, dass die Summe $N_0 + N_1$ kleiner als der Index des "Mittelabgriffs" des FFE-Elements **326** ist. Wie oben erwähnt wurde, sind diese Zahlenbereiche lediglich beispielhaft und sollen den Umfang der Erfindung in keiner Weise beschränken.

[0065] Wie bei der in **Fig. 9** gezeigten Implementierung enthält das Taktrückgewinnungselement **1000** einen Multiplexer **1002**, der die FFE- und die DFE-Filterabgriffkoeffizienten empfängt. Ein Addierer **1004** und ein Verzögerungselement **1006** wirken wie oben beschrieben, um geeignete alternierende Summen zu berechnen, die dem FFE-Element **326** und dem DFE-Element **328** zugeordnet sind. Die Vorzeichen der DFE-Koeffizienten und die Vorzeichen der alternierenden DFE-Summe können ausgerichtet werden, wobei die Taktschleife die Ausrichtung der Vorzeichen der FFE-Koeffizienten auf das Vorzeichenmuster der alternierenden FFE-Summe erzwingt. Somit gibt es in dieser Ausführungsform keine Notwendigkeit einer Berechnung der absoluten Summe. Aus diesem Grund können die Hardware-Implementierung und das vom Steuerelement **1008** ausgeführte Steuerverfahren vereinfacht werden.

[0066] Das Taktrückgewinnungselement **1000** führt die Korrelation auf der Grundlage der Berechnung der alternierenden Summe dadurch aus, dass es das Verzögerungselement **1006** anfangs zurücksetzt. Wie oben beschrieben wurde, werden die ausgewählten FFE-Koeffizienten über den Multiplexer **1002** geleitet und wird ihre alternierende Summe bestimmt. Daraufhin werden die ausgewählten DFE-Koeffizienten über den Multiplexer **1002** geleitet und zu der alternierenden Summe addiert. Die Endsumme ist die wie oben definierte Differenz d der zwei alternierenden Summen. Der Enddifferenz, dem Vorzeichen der Enddifferenz oder irgendeiner geeigneten Größe, die auf der Enddifferenz oder auf irgendeiner Eigenschaft der Enddifferenz beruht, kann ein Abtastphasen-Steuersignal **1010** zugeordnet werden.

[0067] Die korrelationsbasierte Technik ist verhältnismäßig leicht zu implementieren und robust gegenüber Schwankungen in Verstärkungs- und Kanaleigenschaften. Außerdem lässt die korrelationsbasierte Technik lediglich zu, dass jeder zweite Abgriff eine Mittelabgriffstelle ist, so dass weniger Risiko einer Mittelabgriffdrift und einer Abtastwertfehlausrichtung in dem Kappungsverfahren besteht.

[0068] Es wird angemerkt, dass die obenbeschriebenen Techniken der alternierenden Summe wirksam sind, wenn die adaptive Entzerrerstruktur aktualisiert wird. Da die Summen auf dem momentanen Zustand der Filterabgriffkoeffizienten beruhen, widerspiegelt ein verriegelter oder eingefrorener Entzerrerzustand aber keine Änderungen der Abtastphase. Dementsprechend können die herkömmlichen Taktrückgewinnungsverfahren verwendet werden, wenn die adaptive Entzerrerstruktur eingefroren oder verriegelt ist. In der Praxis kann der Datenkommunikationsempfänger eine zusätzliche Verarbeitung und/oder Hardware enthalten, die so konfiguriert sind, dass sie zwischen den herkömmlichen Taktrückgewinnungsprotokollen und den hier beschriebenen Taktrückgewinnungsprotokollen umschalten.

[0069] Zusammengefasst schafft die vorliegende Erfindung eine verbesserte Taktrückgewinnungstechnik für ein digitales Datenkommunikationssystem. Die Taktrückgewinnungstechnik beruht auf der Impulsantwort der Empfängerentzerrerstruktur. Die Taktrückgewinnungstechniken der vorliegenden Erfindung sind besonders geeignet zur Verwendung mit einem Empfänger, der T-beabstandete Entzerrer besitzt, wobei die Echokompensation nach der Entzerrung des empfangenen Signals ausgeführt wird. Die bevorzugte Taktrückgewinnungstechnik kann effektiv während der gesamten Normalbetriebsart des digitalen Datenkommunikationssystems und während der Aktualisierung der Empfängerentzerrer verwendet werden. Außerdem kann eine Taktrückgewinnungs-Verarbeitungsschaltung gemäß der vorliegenden Erfindung mit digitalen Hochgeschwindigkeits-Logikkomponenten anstelle eines digitalen Signalprozessors implementiert werden.

[0070] Die vorliegende Erfindung ist oben mit Bezug auf eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben worden. Allerdings erkennt der Fachmann auf dem Gebiet, dass an der bevorzugten Ausführungsform Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne von dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Beispielsweise können die besondere Analyse der Kostenfunktionen, die der Impulsantwort des Entzerrers zugeordnet sind, die Leistung der Entzerrerstruktur und/oder die Optimierung der Abtastphase auf verschiedene Weise implementiert werden. Außerdem können die alternierende Summe und die Vorläufer/Nachläufer-Techniken durch eine Anzahl verschiedener Hardware-Implementierungen ausgeführt werden.

Diese und weitere Änderungen und Abwandlungen sollen in dem Umfang der vorliegenden Erfindung, wie er in den folgenden Ansprüchen zum Ausdruck gebracht wird, enthalten sein.

Patentansprüche

1. Datenkommunikationsvorrichtung zur Verwendung in einem digitalen Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationssystem (**100, 300**), wobei die Kommunikationsvorrichtung umfaßt:
 - eine Abtasteinrichtung (**102, 302**) zum Empfangen und Abtasten eines mehrere gesendete digitale Symbole repräsentierenden Signals mit einer Rate von einem Abtastwert pro Symbol, um ein abgetastetes Signal (**106**) zu erhalten, dem eine Abtastphase zugeordnet ist;
 - eine T-beabstandete, adaptive Entzerrerstruktur (**108**), die ein Vorwärtsregelungs-Entzerrerelement (FFE-Element) (**326**) und ein Entscheidungsrückkopplungs-Entzerrerelement (DFE-Element) (**328**) umfaßt und zum Entzerren des abgetasteten Signals geeignet ist;
 - eine Echokompensationseinrichtung (**114, 314**) zum Erzeugen eines Echoschätzwerts (**116**) für ein Echosignal, das in Reaktion auf ein von der Datenkommunikationsvorrichtung gesendetes Signal erzeugt wird; gekennzeichnet durch:
 - eine Einrichtung zum Kompensieren des Echosignals aus dem entzerrten abgetasteten Signal, die eine Einrichtung (**112, 312**) zum Subtrahieren des Echoschätzwerts (**116**) von einem entzerrten Ausgang (**110**), der der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet ist, umfaßt; und
 - ein Taktrückgewinnungselement (**120, 320**), das eine Einrichtung zum Optimieren einer Energie-Kostenfunktion (**408, 410**), der eine Impulsantwort (**402**) der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet ist, auf der Grundlage der Konzentration der Impulsantwort-Energie in einem kurzen Zeitintervall umfaßt, wobei die Einrichtung zum Optimieren einer Energie-Kostenfunktion umfaßt:
 - eine Einrichtung (**208**) zum Analysieren der Impulsantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**),
 - eine Einrichtung zum Empfangen von Daten, die mehrere Filterabgriffkoeffizienten angeben, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet sind,
 - eine Einrichtung zum Erzeugen eines Abtastphasen-Steuersignals (**122, 414, 708**) in Reaktion auf Daten, die mehrere Filterabgriffkoeffizienten angeben, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet sind, und
 - eine Einrichtung (**210**) zum Einstellen der Abtastphase auf der Grundlage des Abtastphasen-Steuersignals.
2. Datenkommunikationsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Taktrückgewinnungselement (**120, 320**) umfaßt:
 - ein Partialverzögerungsfilter (**404, 406, 504**), das so beschaffen ist, daß es Abtastphasen-Einstellungen emuliert; und
 - ein Energiekompaktifizierungsprozeß-Element (**412**), das so beschaffen ist, daß es einen Energiekompaktifizierungsparameter durch Summieren eines Anfangs und eines Endes der Impulsantwort, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet ist, berechnet, und mit dem Partialverzögerungsfilter kombiniert ist; wobei
 - das Abtastphasen-Steuersignal (**404**) in Reaktion auf den Energiekompaktifizierungsparameter erzeugt wird.
3. Datenkommunikationsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Taktrückgewinnungselement (**120, 320**) umfaßt:
 - ein Vorläufer-Meßelement (**702**), das so beschaffen ist, daß es eine Vorläuferantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur bestimmt;
 - ein Nachläufer-Meßelement (**704**), das so beschaffen ist, daß es eine Nachläuferantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur bestimmt;
 - einen Komparator (**706**), der so beschaffen ist, daß er eine Differenz zwischen einer Größe, die der Vorläuferantwort zugeordnet ist, und einer Größe, die der Nachläuferantwort zugeordnet ist, erhält; wobei
 - das Abtastphasen-Steuersignal (**708**) in Reaktion auf die Differenz erzeugt wird.
4. Datenkommunikationsvorrichtung nach Anspruch 1, die ferner ein Kappungselement (**118**) umfaßt, das so konfiguriert ist, daß es einen Ausgang der Subtraktionseinrichtung quantisiert, wobei die T-beabstandete adaptive Entzerrerstruktur (**108**) auf einen Ausgang des Kappungselements (**118**) anspricht.
5. Datenkommunikationsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der das Taktrückgewinnungselement (**120**) so konfiguriert ist, daß es das Abtastphasen-Steuersignal (**122**) für ein empfangenes Signal, in dem ein Echosignal vorhanden ist, erzeugt.

6. Taktrückgewinnungsverfahren (**200**) für eine Hochgeschwindigkeits-Datenkommunikationsvorrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:
 Empfangen eines Signals, das mehrere gesendete digitale Symbole repräsentiert;
 Abtasten (**202**) des Signals mit einer Rate von einem Abtastwert pro Symbol, um ein abgetastetes Signal (**106**) zu erhalten, dem eine Abtastphase zugeordnet ist;
 Entzerren (**204**) des abgetasteten Signals mit einer T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**), die ein Vorwärtsregelungs-Entzerrerelement (FFE-Element) (**326**) und ein Entscheidungsrückkopplungs-Entzerrerelement (DFE-Element) (**328**) umfaßt;
 Erzeugen eines Echoschätzwerts (**116**) für ein Echosignal, das in Reaktion auf ein von der Datenkommunikationsvorrichtung gesendetes Signal erzeugt wird; gekennzeichnet durch:
 Kompensieren (**206**) des Echosignals aus dem entzerrten abgetasteten Signal, wobei das Kompensieren eines Echosignals das Subtrahieren (**112, 312**) des Echoschätzwerts (**116**) von einem entzerrten Ausgang (**110**), der der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet ist, umfaßt;
 Optimieren einer Energie-Kostenfunktion (**408, 410**), der eine Impulsantwort (**402**) der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet ist, auf der Grundlage der Konzentration der Impulsantwort-Energie in einem kurzen Zeitintervall, wobei der Optimierungsschritt umfaßt:
 Analysieren (**208**) der Impulsantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur, Empfangen von Daten, die mehrere Filterabgriffkoeffizienten angeben, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet sind, Erzeugen eines Abtastphasen-Steuersignals (**122, 414, 708**) in Reaktion auf die Daten, die mehrere Filterabgriffkoeffizienten angeben, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet sind, und
 Einstellen (**210**) der Abtastphase auf der Grundlage des Abtastphasen-Steuersignals.
7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das Echosignal (**116**) in Reaktion auf ein Signal, das von der Datenkommunikationsvorrichtung gesendet wird, erzeugt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Kostenfunktion eine Energiekompaktheits-Kostenfunktion der Impulsantwort zugeordnet ist, die auf der Konzentration der Impulsantwort-Energie in einem kurzen Zeitintervall basiert, wobei die Energiekompaktheits-Kostenfunktion der Impulsantwort durch Summieren eines Anfangs und eines Endes der Impulsantwort, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur zugeordnet ist, berechnet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der Analyseschritt (**208**) die folgenden Schritte umfaßt:
 Ableiten einer kombinierten Impulsantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) und eines Partialverzögerungselements;
 Vergleichen einer Energiekompaktheits-Kostenfunktion der kombinierten Impulsantwort mit der Energiekompaktheits-Kostenfunktion der Impulsantwort; wobei
 der Einstellschritt (**210**) die Abtastphase in Reaktion auf den Vergleichsschritt einstellt und wobei die Energiekompaktheits-Kostenfunktion der kombinierten Impulsantwort durch Summieren eines Anfangs und eines Endes der kombinierten Impulsantwort berechnet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Kostenfunktion eine Summe aus mehreren Filterabgriffkoeffizienten zugeordnet ist, die der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur (**108**) zugeordnet sind.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Summe eine gewichtete Summe (**508, 602**) ist.
12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die T-beabstandete adaptive Entzerrerstruktur (**108**) ein Vorläufer-Entzerrerelement (**702**) und ein Nachläufer-Entzerrerelement (**704**) umfaßt und bei dem der Analyseschritt (**208**) die folgenden Schritte umfaßt:
 Berechnen einer ersten Summe aus mehreren Filterabgriffkoeffizienten, die dem Vorläufer-Entzerrerelement zugeordnet sind, und einer zweiten Summe aus mehreren Filterabgriffkoeffizienten, die dem Nachläufer-Entzerrerelement zugeordnet sind; und
 Bestimmen einer Differenz zwischen der ersten und der zweiten Summe; wobei
 der Einstellschritt (**210**) die Abtastphase in Reaktion auf die Differenz einstellt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die erste und die zweite Summe alternierende Summen sind.
14. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Analyseschritt (**208**) die folgenden Schritte umfaßt:
 Ableiten einer ersten kombinierten Impulsantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur und eines Vorwärts-Partialverzögerungselements (**404**);

Berechnen einer ersten Energiekompaktheits-Kostenfunktion, die eine Energie enthält, die der ersten kombinierten Impulsantwort zugeordnet ist;

Ableiten einer zweiten kombinierten Impulsantwort der T-beabstandeten adaptiven Entzerrerstruktur und eines Rückwärts-Partialverzögerungselements (**406**);

Berechnen einer zweiten Energiekompaktheits-Kostenfunktion, die eine Energie enthält, die der zweiten kombinierten Impulsantwort zugeordnet ist; und

Vergleichen (**412**) der ersten und der zweiten Energiekompaktheits-Kostenfunktion, wobei die erste Energiekompaktheits-Kostenfunktion durch Summieren eines ersten Anfangs und eines ersten Endes der ersten kombinierten Impulsantwort berechnet wird und die zweite Energiekompaktheits-Kostenfunktion durch Summieren eines zweiten Anfangs und eines zweiten Endes der zweiten kombinierten Impulsantwort berechnet wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

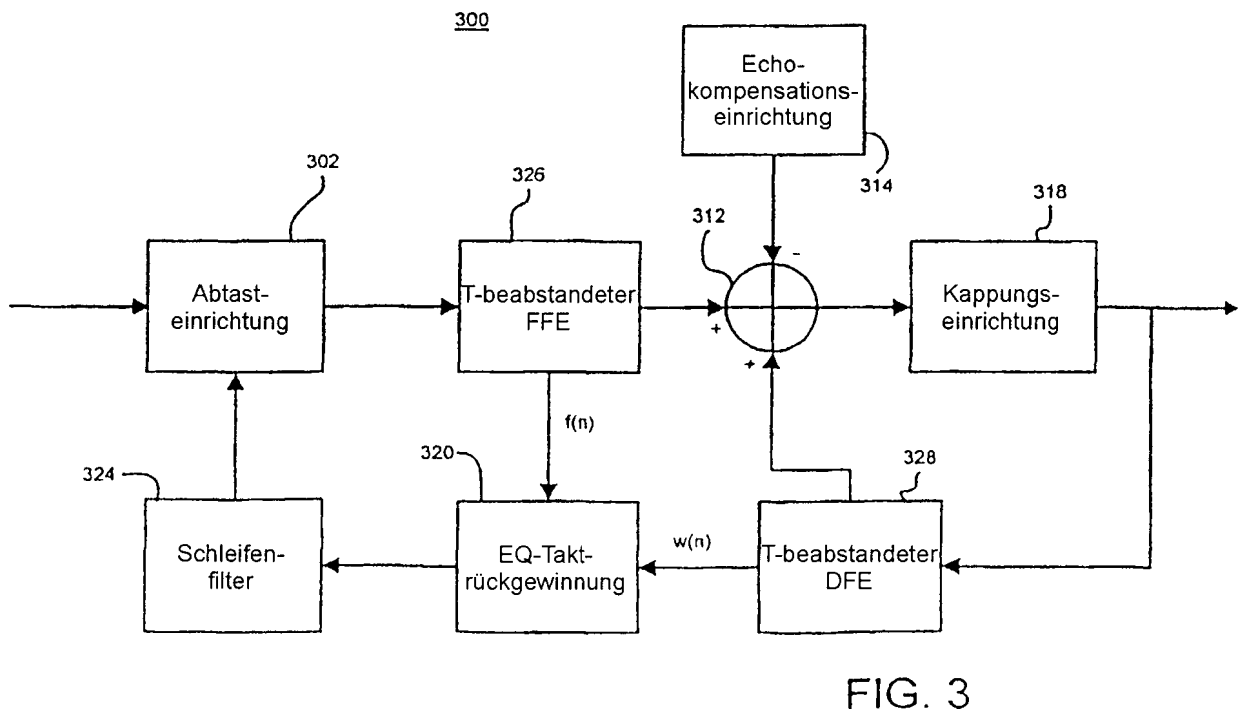
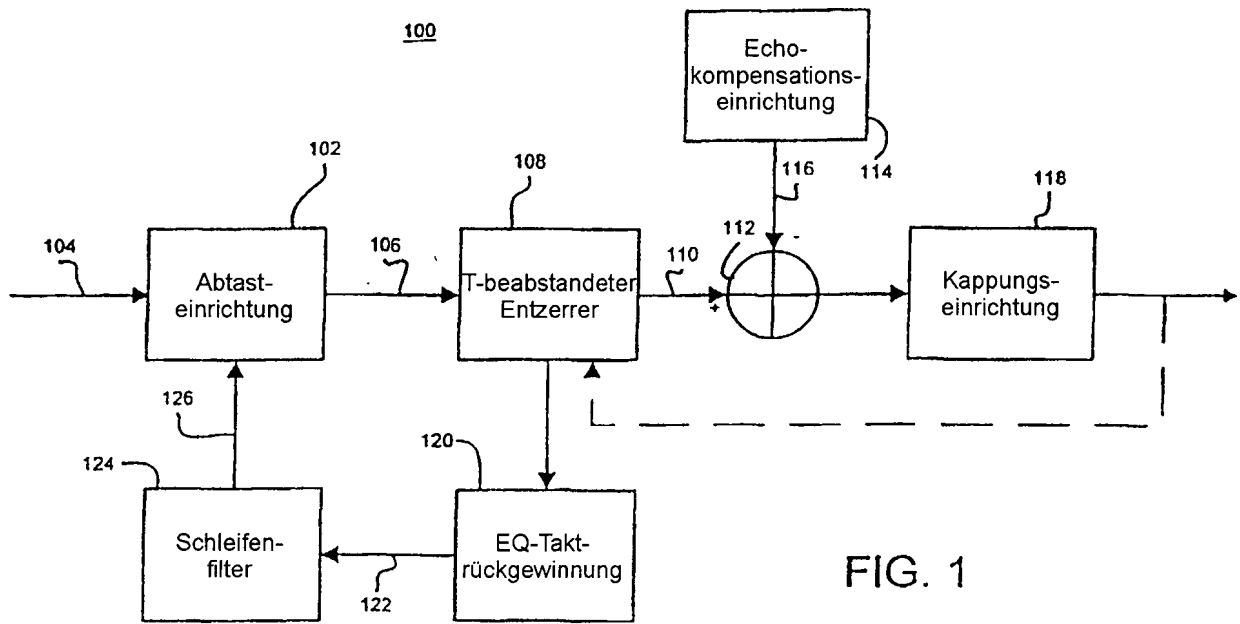
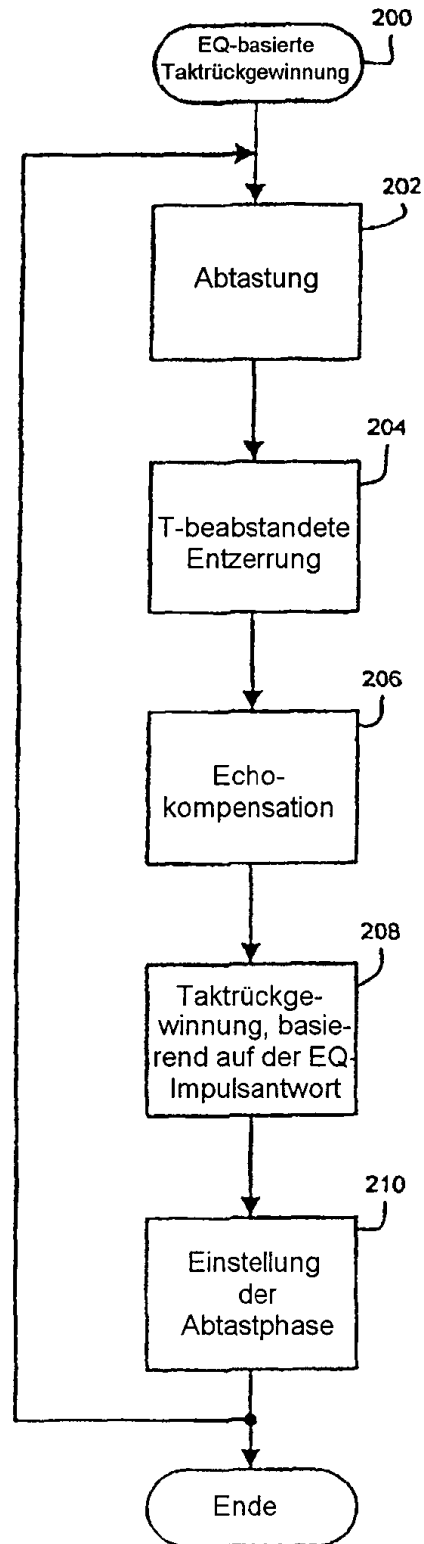


FIG. 2



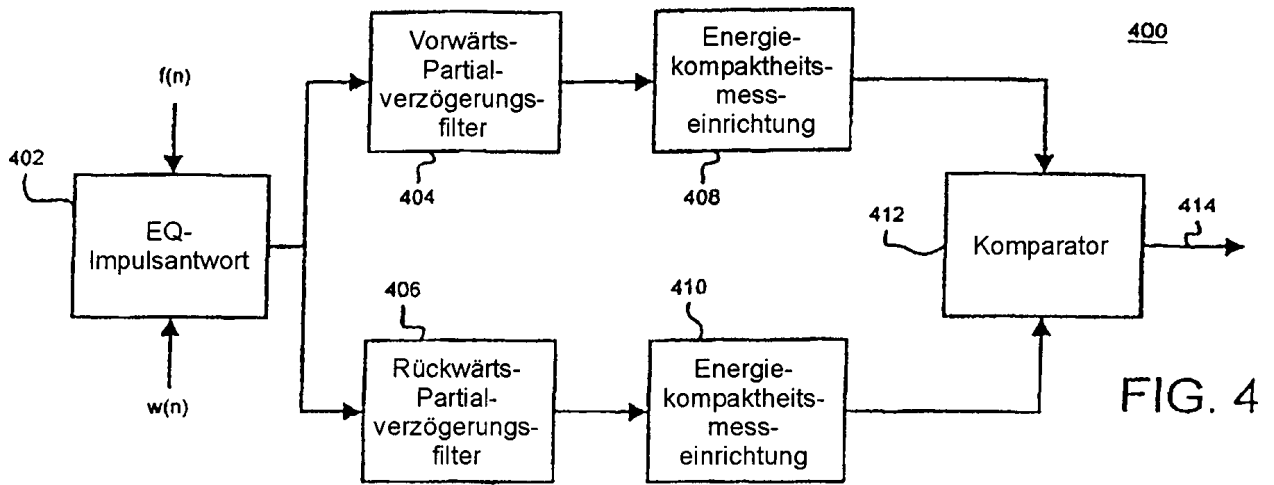


FIG. 4

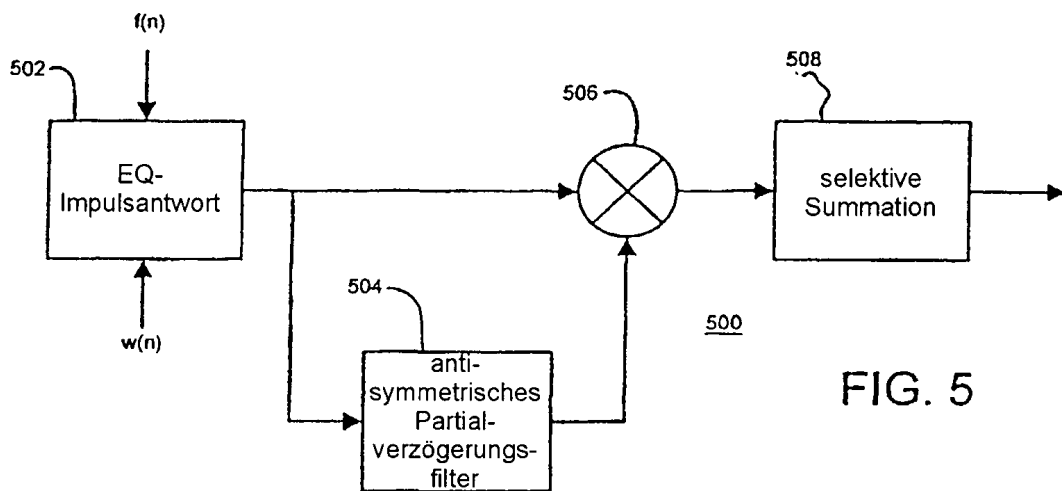


FIG. 5

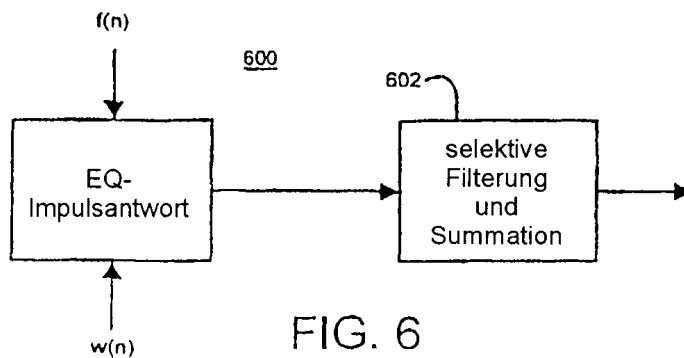


FIG. 6

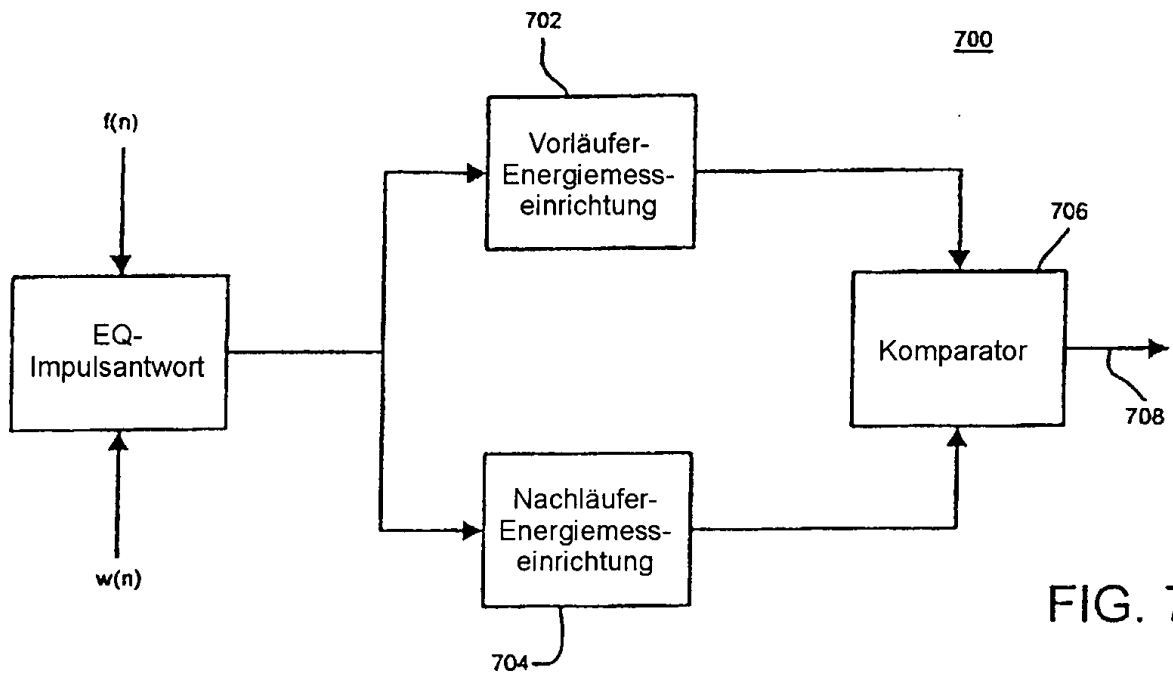


FIG. 7

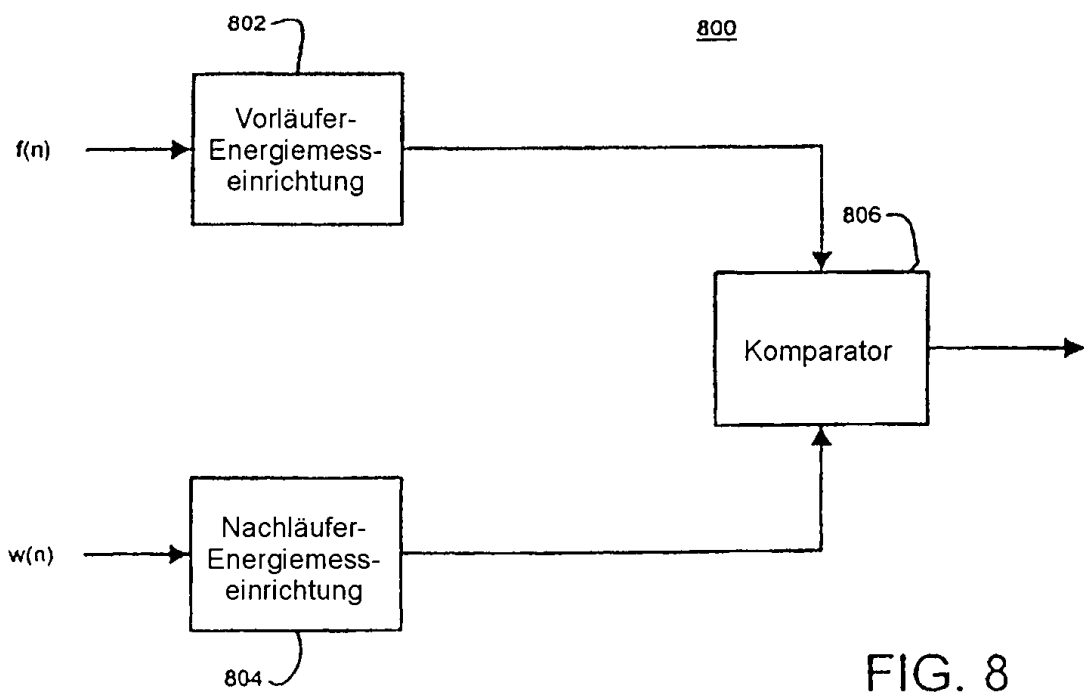


FIG. 8

