



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 14 286 T2** 2008.02.07

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 573 994 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 27/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 14 286.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/NL03/00911**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 782 990.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/057821**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.12.2003**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **08.07.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.09.2005**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **06.06.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.02.2008**

(30) Unionspriorität:
326318 20.12.2002 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,
GR, HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK**

(73) Patentinhaber:
**Bandwidth Technology Corp. Inc., New York, N.Y.,
US**

(72) Erfinder:
**BOASSON, Erik, NL-7271 EJ Borculo, NL;
BOASSON, Maarten, NL-7271 EJ Borculo, NL;
STRENG, Martin, NL-7559 KS Hengelo, NL**

(74) Vertreter:
TBK-Patent, 80336 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ÜBERTRAGUNG DIGITALER INFORMATION MIT ZEIT
UND FREQUENZ BEGRENZTE FUNKTIONEN**

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**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf digitale Kommunikationstechniken und genauer auf Systeme und Verfahren zum Erhöhen des effektiven Datendurchsatzes eines Übertragungsmediums durch die Verwendung von zeit- und frequenzbegrenzten Basisfunktionen. Solch ein System ist in der Druckschrift US 2002/0080889 beschrieben.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Ein herkömmlicher Telefondienst, der allgemein als "POTS" bezeichnet wird, was für einfachen alten Fernsprechkdienst ("plain old telephone service") steht, verbindet voneinander entfernt gelegene Telefone mit einem Zentralbüro einer Telefongesellschaft unter Verwendung eines verdrehten Kupferleitungspaares. Ein herkömmlicher Telefondienst wurde entwickelt, um einen Austausch von Sprachinformationen mit anderen Telefonbenutzern unter Verwendung analoger Signalübertragung zu ermöglichen. Genauer nimmt ein POTS-Telefonapparat ein akustisches Signal auf, welches ein natürliches analoges Signal ist, und wandelt es bezüglich Lautstärke (Signalamplitude) und Tonlage (Frequenz) in ein elektrisches Äquivalent zur Übertragung über ein Kupferleitungspaar um.

[0003] Mit dem Fortschritt der Technologie entwickelte sich bald die Notwendigkeit, den Austausch von digitalen Daten zwischen zwei entfernt gelegenen Berechnungseinheiten einzuplanen. Obwohl das Telefonnetzwerk (die Ortsleitung) auf eine analoge und nicht eine digitale Signalübertragung ausgerichtet ist, war es trotzdem möglich, digitale Daten durch Codieren von digitalen Daten als ein analoges Signal von einem Ort an einen anderen zu übertragen, wobei das analoge Signal über das Kupferleitungspaar gesendet wird und das analoge Signal an einem entfernten Ort decodiert wird, um die ursprünglichen digitalen Daten zurück zu erlangen. Diese Codier- und Decodierschritte werden üblicherweise von Computermodems durchgeführt.

[0004] Aufgrund der Tatsache, dass eine herkömmliche analoge Sprachübertragung nur einen kleinen Anteil der mit einer Kupferleitung verfügbaren Bandbreite nutzt, ist die maximale Menge an Daten, die mit Computermodems, die unter Verwendung des so genannten Sprachkanals kommunizieren, übertragen werden kann, ungefähr 56 Kbps. Die Fähigkeit von Computermodems zum Austauschen von Daten ist durch die Tatsache beschränkt, dass die Telefongesellschaft die Bandbreite der Kommunikation zwischen POTS-Nutzern auf ungefähr 4 kHz begrenzt.

[0005] Eine digitale Anschlussleitung (DSL) ist eine Kommunikationstechnik, bei welcher die Beschränkung von Frequenzen sehr stark aufgelockert ist. Typischerweise werden Frequenzen im Bereich von ungefähr 25 bis 1100 kHz zum Übertragen von Daten zwischen DSL-Modems verwendet. Dies erlaubt eine gleichzeitige Verwendung der Leitung für eine Datenübertragung und eine Sprachkommunikation. Die größere Bandbreite, die für Datenkommunikationen verfügbar ist, ergibt viel größere Datenraten als die, die vorher möglich waren, wenn nur der Sprachkanal verfügbar war. Es sei angemerkt, dass im Gegensatz zu traditionellen Modems an beiden Enden der Ortsleitung DSL-Modems sein müssen, d.h. eines auf der Teilnehmerseite und eines im Zentralbüro der Telefongesellschaft.

[0006] Momentan wird DSL verwendet, um Kommunikationsverbindungen mit einer hohen Bandbreite für private und gewerbliche Einrichtungen über gewöhnliche Telefonleitungen bereit zu stellen. Aber, obwohl die theoretischen DSL-Bandbreiten bezüglich der herkömmlichen 56K-Modemtechnologie hoch sind, können eine oder mehrere praktische Betrachtungen die tatsächlich erreichte Bandbreite merklich auf eine viel niedrigere Zahl begrenzen. Wenn z.B. eine private oder gewerbliche Einrichtung ziemlich nahe an einem Zentralbüro der Telefongesellschaft gelegen ist, z.B. in einer Entfernung von weniger als einer halben Meile, ist es möglich, dass der Kunde Daten mit Raten von bis zu 6,1 Megabit pro Sekunde von theoretisch 8,448 Megabit pro Sekunde empfängt, was eine kontinuierliche Übertragung von Video, Audio und sogar 3D-Effekten ermöglicht. Gemäß typischeren Bedingungen in den Vereinigten Staaten stellen einzelne DSL-Verbindungen 1,544 Mbps bis 512 Kbps in Abwärtsrichtung von ungefähr 128 Kbps in Aufwärtsrichtung bereit.

[0007] Der maximale Bereich für DSL ohne einen Verstärker sind 18000 Fuß (5,5 km). Mit einer Verringerung der Distanz zum Zentralbüro der Telefongesellschaft erhöht sich die verfügbare Datenrate. Ein anderer Faktor ist die Dicke der Kupferleitung. Die schwereren Leitungen mit einer Breite von 24 („24-gauge wire“) übertragen die gleiche Datenrate weiter als eine Leitung mit einer Breite von 26 („26-gauge wire“). Jenseits des Bereichs von 5,5 km ist ein DSL-Dienst möglich, wenn die Telefongesellschaft die Zentralbüroortsleitung über einen oder mehrere optische Glasfaserkabel erweitert hat, womit die Länge der Kupferleitung in der Verbindung effektiv reduziert wird.

[0008] Mehrere Modulationstechniken werden von verschiedenen Arten von DSL verwendet, obwohl diese durch die internationale Telekommunikationsunion (ITU) standardisiert werden. Verschiedene DSL-Modemhersteller verwenden entweder eine diskrete Mehrfachton-technologie (DMT) oder eine trä-

gerlose Amplitudenphasenmodulation (CAP).

[0009] In den Vereinigten Staaten bieten momentan mehrere Telefongesellschaften DSL-Dienste an. Aber unglücklicherweise sind viele Kunden aufgrund der Tatsache, dass sie zu weit von dem Zentralbüro entfernt sind, nicht dazu in der Lage, sich diese Angebote zunutze zu machen, und die Kosten des Installierens von erweiterten Teilnehmerleitungen über optische Glasfaserkabel ist unerschwinglich teuer. Dieses Problem herrscht besonders in abgelegenen Vororten und ländlichen Gebieten vor, in denen Häuser oft auf großen Ländereien gelegen sind und das nächste Zentralbüro viele Meilen entfernt ist.

[0010] Ein weiterer Mangel von DSL ist die oftmals große Diskrepanz zwischen dem, was von den Telefongesellschaften versprochen wird, und dem, was tatsächlich in der Praxis erreicht wird. Viele Kunden haben einen hohen Beitrag bezahlt, um DSL "beizutreten", nur um durch niedrigere Datentransferraten als erwartet und einer inkonsistenten Leistungsfähigkeit enttäuscht zu werden.

[0011] Angesichts der vorstehend erwähnten Betrachtungen ist eine verbesserte Technik zum Übertragen von Informationen einer hohen Bandbreite über konventionelle Telefonleitungen nötig.

[0012] Zu kommunizierende Daten werden als Binärzahlen dargestellt. Ein Übertragungsmedium, das einen Sender und einen Empfänger des Systems verbindet, ist zum Transportieren von Signalen in der Lage, welche durch die Umgebung, wobei Signale zwischen anderen Paaren von Kommunikationseinheiten (Nebensprechen bzw. „cross talk“) miteinbe-griffen sind, gestört werden können. Es kann ebenso (behördliche) Beschränkungen der Leistungen der Signale geben, die in dem Übertragungsmedium eingesetzt werden. Der Sender erzeugt ein Signal, das die Übertragungsleitung mit einem Signal, das zu einer codierten Eingabesequenz äquivalent ist, ansteuert. Der Empfänger empfängt das Signal und wandelt das Signal in eine Ausgabesequenz um, welche, wenn kein Fehler auftritt, eine Kopie der Eingabesequenz ist. Die Sender- und Empfängereinheiten ermöglichen kombiniert eine Kalibrierung, wobei eine Einrichtung gemeinsam für die Einheiten bereit gestellt ist, um bestimmte Arten von Störungen, die in dem Übertragungsmedium auftreten, zu kompensieren. Das System muss ebenso sicher stellen, dass der Empfänger einen lokalen Takt erzeugen kann, der zum Empfangen und Umwandeln der übertragene-n Signale in die Ausgabesequenz geeignet ist.

AUFGABEN UND KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0013] Angesichts der vorhergehenden Defizite ist es eine Hauptaufgabe der Erfindung, Techniken zum

Erhöhen des effektiven Durchsatzes digitaler Daten einer Kommunikationsverbindung bereit zu stellen, welche eines von einem drahtgebundenen Übertragungsmedium, einer drahtlosen Übertragungsverbindung, einer Satellitenverbindung und möglicherweise einem optischen Glasfaserkommunikationsnetzwerk umfassen kann.

[0014] Genauer ist es eine Aufgabe der Erfindung, Systeme und Verfahren bereit zu stellen, bei denen die effektive Kapazität einer Kommunikationsverbindung verbessert ist.

[0015] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, Systeme und Verfahren bereit zu stellen, welche gegen Störungen auf der Kommunikationsverbindung robuster sind als momentane Systeme und Verfahren.

[0016] Kurz gesagt, diese und andere Aufgaben der Erfindung werden in Form von Systemen und Verfahren erhalten, mittels welchen durch Transformieren eines eingehenden Bitstroms in ein oder mehrere zeit- und frequenzbegrenzte (TFB) Pakete, die jeweils eine Vielzahl von TFB-Wellenformkomponenten umfassen, ein Datendurchsatz verbessert wird. Diese Transformation wird durch Abbilden der eingehenden Bits auf einen Satz von TFB-Funktionen erreicht, so dass den entsprechenden TFB-Funktionen in dem Satz von Funktionen ein charakteristischer Gewichtungsfaktor entsprechend einem Wert oder Status von entsprechenden Bits zuerkannt wird. Eine Vielzahl von gewichteten TFB-Funktionen wird kombiniert, um die TFB-Pakete zu erzeugen. Diese TFB-Pakete werden dann in einem TFB-Informationsstrom kombiniert, der über die Kommunikationsverbindung übertragen wird.

[0017] Die zeit- und frequenzbegrenzten (TFB) Funktionen sind Funktionen, die die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- jede Funktion f in dieser Klasse ist glatt,
- für jede Funktion f in dieser Klasse und für jedes Polynom $p(t)$, wenn ε größer null gilt, existiert ein T , so dass für $|t| > T$, $f(t)p(t) < \varepsilon$ gilt, mit anderen Worten jede Funktion in dieser Klasse hat eine begrenzte Ausdehnung im Zeitbereich, jenseits welcher die Amplitude des Produkts der Funktion und irgendeines Polynoms vernachlässigbar oder zumindest niedriger als ein vorbestimmter Schwellenwert ε ist, und
- für die Fourier-Transformation $F(\omega)$ der Funktion f , und für jedes Polynom $p(\omega)$, wenn ε größer null gilt, existiert ein Ω , so dass für $|\omega| > \Omega$, $|F(\omega)p(\omega)| < \varepsilon$ gilt, mit anderen Worten jede Funktion in dieser Klasse hat eine begrenzte Ausdehnung im Frequenzbereich, jenseits welcher die Amplitude des Produkts der Funktion und irgendeines Polynoms vernachlässigbar oder zumindest niedriger als ein vorbestimmter Schwellenwert ε ist.

[0018] Diese eindeutige und vordem unerschlossene Eigenschaft einer Zeit- und Frequenzeinschränkung ist besonders in Situationen nützlich, in denen es erwünscht ist, die gesamte oder einen Teil der Kommunikationsverbindung unter Verwendung eines einzelnen Übertragungsmediums oder Kanals bereit zu stellen.

[0019] Veranschaulicht kann bei einer vorgegebenen Anzahl von optimierten TFB-Wellenformen die Breite eines Frequenzbands, die diese belegen, durch Skalieren derer Zeitvariablen eingestellt werden. Auf diese Weise kann eine variable Anzahl von Frequenzbändern mit beliebigen Breiten eingesetzt werden. Ein Optimieren der TFB-Wellenformen zum Belegen eines relativ engen Frequenzbandes durch Skalieren derer Zeitvariablen ermöglicht eine effiziente Verwendung einer verfügbaren Bandbreite und der Effekt einer RF-Störungsquelle ist auf das enge Frequenzband der Störungsquelle begrenzt, wobei es wenig Auswirkung auf die Kommunikationsverbindung als Ganzes hat.

[0020] Eine besonders geeignete Teilklasse von TFB-Funktionen sind orthogonale TFB-Funktionen. Aus dieser Teilklasse sind Hermite-Gauss-Funktionen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel. Es sei angemerkt, dass ein System, das Hermite-Gauss-Funktionen verwendet, an sich aus dem US-Patent US 3,384,715 bekannt ist.

[0021] Entsprechend einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung weisen die eingehenden Bits den Strom digitaler Bits (Eingabesequenz) auf, der auf einem oder mehreren eingehenden Kanälen in der Form von binären "Ein"- oder "Aus"-Bits transportiert wird. Wenn eine Sammlung von vorzugsweise linear unabhängigen TFB-Funktionen gegeben ist, genannt Basisfunktionen, werden Daten durch Abbilden von Bits von einer Darstellung der Daten zu zumindest Annäherungen der Basisfunktionen codiert. Die Eingabesequenz ist in Blöcke codiert. Im weiteren werden diese als TFB-Blöcke bezeichnet. Die TFB-Blöcke bestehenden aus N unterschiedlichen Basisfunktionen, wobei N die Anzahl von Funktionen ist, die zum Codieren verwendet werden (das hierin verwendete N ist eine positive Ganzzahl). Veranschaulicht wird dieser Abbildungsprozess durch Abbilden eines ersten eingehenden Bits auf eine erste TFB-Funktion, eines zweiten eingehenden Bits auf eine zweite TFB-Funktion usw. implementiert, bis eine N-te TFB-Funktion erreicht ist, wobei der Prozess zurück zu der ersten TFB-Funktion springt. Es sei angemerkt, dass das Abbilden von einem Bit auf eine TFB-Funktion nur zur Veranschaulichung dient ist, und dass in der Praxis mehrere Bits auf eine einzelne TFB-Funktion abgebildet werden können. Vorzugsweise wird der eingehende Strom von Bits vor dem Codieren gepuffert.

[0022] In einem weiteren Ausführungsbeispiel werden die Bits in Gruppen einer Länge M gruppiert, wobei M von der Anzahl der Bits abhängt, die für eine Fehlerkorrektur benötigt werden; N-M Bits werden für diese Fehlerkorrektur hinzugefügt. Die ersten M Bits der noch nicht codierten Eingabesequenz und N-M Fehlerkorrekturbits werden dann auf N verschiedene Basisfunktionen abgebildet. Es sei angemerkt, dass sowohl M als auch N dynamisch definiert werden können, möglicherweise pro Block. Diese Codierung kann unbegrenzt wiederholt werden. In dem Fall, dass in der Eingabesequenz nicht ausreichend Daten sind, um den Block zu füllen, werden vorzugsweise Füllbits erzeugt.

[0023] Veranschaulicht wird ein Abbilden durch Multiplizieren einer i-ten Funktion aus einem ausgewählten Satz von TFB-Funktionen mit einem ersten Gewichtungsfaktor, z.B. -1, wenn ein i-tes Bit gleich Null ist, oder mit einem zweiten unterschiedlichen Gewichtungsfaktor, z.B. +1, wenn das i-te Bit gleich 1 ist, und nachfolgend Addieren aller N gewichteten Funktionen, um den TFB-Block zu bilden, auf eine solche Weise, dass die Rekonstruktion in einem Decoder nach einer Übertragung die Eingabesequenz mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit P ergibt, erreicht. Die Gewichtungsfaktoren sind keineswegs auf -1 und +1 begrenzt und können frei gewählt werden, um zu den Anwendungs- oder Systemanforderungen zu passen. Jede entsprechende gewichtete TFB-Funktion bildet eine Komponente der TFB-Wellenform, die zu übertragen ist. Jede von entsprechend gewichteten TFB-Funktionen besitzt einen entsprechenden Satz von Frequenzkomponenten und dauert eine entsprechende Zeitlänge an.

[0024] Veranschaulicht können die vorbestimmten TFB-Funktionen alle im Wesentlichen die gleiche Zeitlänge spezifizieren, aber dies ist kein Erfordernis. Zum Beispiel kann eine erste vorbestimmte TFB-Funktion verwendet werden, die eine verschiedene Zeitdauer als eine zweite vorbestimmte TFB-Funktion besitzt.

[0025] Veranschaulicht kann ein Satz von TFB-Funktionen ausgewählt werden, welcher in einen vorbestimmten Frequenzbereich passt. In solch einem Szenario werden sich die Zeitdauern von (Nicht-Null)-Teilen der Funktionen, die „von Interesse sind“, von Funktion zu Funktion unterscheiden. Die Mitten der Teile der Funktionen jedoch, die von Interesse sind, können derart gemacht werden, dass sie für alle Funktionen in dem Satz von TFB-Funktionen im Wesentlichen zeitlich zusammenfallen.

[0026] Entsprechend einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung werden die TFB-Blöcke durch Modulieren der Blockwellenform mit z.B. einer Mittenfrequenz des Kanals, der für die Übertragung dieser Gruppe von Bits zu verwenden ist, und nachfolgend

Erzeugen einer Wellenform entsprechend einer modulierten Funktion in TFB-Pakete transformiert. Zusätzlich zu oder anstelle einer Modulation kann eine Verarbeitung hinzugefügt werden, um die Auswirkungen des Übertragungsmediums vollständig oder teilweise zu kompensieren. TFB-Blöcke können ebenso in TFB-Pakete transformiert werden, ohne eine zusätzliche Signalverarbeitung auf die Blöcke anzuwenden.

[0027] Veranschaulicht werden die sich ergebenden Pakete über ein physikalisches Übertragungsmedium übertragen. Die Pakete werden vorzugsweise in der Reihenfolge übertragen, in der die Vorgängerblöcke konstruiert wurden. Veranschaulicht werden die Pakete zeitlich beabstandet. Pakete können in einem nicht kontinuierlichen Strom gesendet werden. Eine Wellenform entsprechend der Paketsequenz wird erzeugt und physikalisch auf dem Übertragungsmedium realisiert.

[0028] Entsprechend einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die Wellenform, die in einem Sender realisiert wird und verzerrt wird, während sie sich über das Übertragungsmedium ausbreitet, von dem Übertragungsmedium durch einen Empfänger abgerufen. Veranschaulicht wird eine verzerrte Wellenform zur Kompensation der Auswirkungen des Übertragungsmediums auf die Wellenform und/oder einer Demodulation einer Trägerfrequenz und/oder einer Filterung verarbeitet, z.B. zum Begrenzen eines Frequenzbereichs des Signals, was eine Sequenz verrauschter Pakete ergibt. Eine Kompensation einer Verzerrung, die durch das Übertragungsmedium hervorgerufen wird, kann in die Basisfunktionen eingearbeitet werden; in solch einem Fall kann eine Sammlung von Basisfunktionen möglicherweise pro Block variieren. Eine Kompensation von Nebensprechen bzw. „cross talk“, das während einer Übertragung hervorgerufen wird, kann in einer Verarbeitung von sowohl dem Sender als auch dem Empfänger enthalten sein.

[0029] Dementsprechend sind in einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung Empfangseinheiten und Verfahren zum Empfangen, Erfassen und Decodieren eines eingehenden TFB-Stroms zusammengesetzter Informationen offenbart. Sowohl ein Codieren als auch ein Decodieren kann Mechanismen für eine Fehlerkorrektur enthalten. Die TFB-Funktionen können vom Empfänger basierend auf Frequenzbereichcharakteristika, Zeitbereichcharakteristika, oder beidem erfasst werden.

[0030] Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung transformiert der Empfänger ein Signal, das auf dem Übertragungsmedium empfangen wird, das den Empfänger mit dem Sender verbindet, in die Bitsequenz, die von diesem Sender verwendet wurde, um das empfangene Signal zu erzeugen. Die-

ser Prozess umfasst vorzugsweise ein Umwandeln eines analogen Signals in einen abgetasteten Strom von Bits. Veranschaulicht wird das digital codierte Signal demoduliert. Das abgetastete Signal kann mit einem Satz von TFB-Funktionen in Übereinstimmung gebracht werden, um den Gewichtungsfaktor für jede der Funktionen in dem Satz zu bestimmen. Dies ergibt, dass das Bit i auf 0 gesetzt wird, wenn dieser Faktor z.B. -1 ist, oder auf 1, wenn der Faktor z.B. $+1$ ist (natürlich sind andere Gewichtungsfaktoren und Protokolle möglich und liegen innerhalb des Umfangs der Erfindung). Somit bildet sich eine i -te Funktion auf ein i -tes Bit in der für ein einzelnes Paket erzeugten Sequenz ab.

[0031] In einem weiteren Ausführungsbeispiel stellt ein Bestimmen der Gewichtungsfaktoren Informationen über Rauschen bereit, das auf der Kommunikationsverbindung erzeugt wird, welches dann geschätzt und an den Sender zum Anpassen der Codierung wenn notwendig zurück gesendet wird.

[0032] Entsprechend einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung werden Decodierungsinformationen extrahiert und werden die verrauschten Pakete unter Verwendung von zumindest Annäherungen von N TFB-Funktionen decodiert.

[0033] Veranschaulicht können Funktionen, die zum Decodieren verwendet werden, sich von Funktionen, die zum Codieren verwendet werden, unterscheiden. Verrauschte Pakete werden in N Gewichtungen zerlegt, eine für jede der Basisfunktionen, die zur Decodierung verwendet werden. Die sich ergebenden N Gewichtungsfaktoren werden auf N Bits auf eine solche Weise abgebildet, dass die Eingabesequenz mit der Wahrscheinlichkeit P wie vorstehend beschrieben, rekonstruiert wird. Veranschaulicht werden die extrahierten Bits mit einem Fehlerkorrekturalgorithmus verarbeitet, der mit dem Algorithmus übereinstimmt, der zum Codieren verwendet wird, so dass sich die ursprüngliche Eingabebitsequenz ergibt. Die sich ergebenden Bits werden als Ausgabesequenz verfügbar gemacht. Vorzugsweise wird die Ausgabebitsequenz in einem Puffer platziert und für externe Geräte, wie etwa einen Computer, verfügbar gemacht.

[0034] Veranschaulicht kann jeder der Schritte, der bei einer Verarbeitung des empfangenen Signals mit einbezogen ist, entweder auf eine analoge und/oder digitale Weise ausgeführt werden. Die Funktionen, die zur Decodierung verwendet werden, können vor einer Anwendung beim Decodieren des empfangenen Signals digitalisiert werden.

[0035] Diese Erfindung kann zum Erhöhen einer Bandbreitenkapazität auf existierenden Übertragungsmedien und/oder in Verbindung mit Satellitenübertragungsprotokollen verwendet werden. Diese Er-

findung besitzt die folgenden Vorteile:

- (a) Die Kanäle, die durch Modulieren von Strömen von TFB-Paketen auf eine Anzahl von Trägersequenzen erzeugt werden, die alle eine bestimmte Bandbreite besitzen, können aufgrund des begrenzten Ausmaßes der TFB-Funktionen nahe zueinander platziert werden.
- (b) Sie kann auf jedes Digitalübertragungsprotokoll angewendet werden.
- (c) Sie kann auf irgendein Medium angewendet werden, das zum Übertragen von elektronisch codierten digitalen Informationen in der Lage ist.
- (d) Sie kann eine große Anzahl von eindeutigen Sprach- und Datenkanälen auf einer einzelnen Leitung tragen.
- (e) Sie verlässt sich nicht auf eine Komprimierung, um eine Bandbreite zu erhöhen.
- (f) Sie stellt eine Einrichtung zum Erhöhen einer Bandbreite unter Verwendung einer existierenden Infrastruktur bereit.
- (g) Sie kann verwendet werden, um Kommunikationssysteme zu implementieren, die spektrale Eigenschaften von jedem der momentanen DSL-Varianten besitzen, wie etwa ADSL, SDSL und VDSL, aufgrund der verbesserten Steuerung über dem Spektrum, aufgrund des begrenzten Ausmaßes der TFB-Funktionen.

[0036] Während verschiedene bevorzugte Ausführungsbeispiele von TFB-Codierungs- und Decodierungstechniken hierin offenbart wurden, ist zu verstehen, dass viele Änderungen vorgenommen werden können, ohne sich vom Gedanken der Erfindung zu entfernen.

[0037] Die vorstehend erwähnten Techniken können somit nicht nur auf die Kommunikation von digitaler Information angewendet werden, sondern auch z.B. auf deren Speicherung, bei welcher einer oder mehrere digitale Informationsströme basierend auf analogen Techniken auf einem Speichermedium gespeichert werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0038] Für ein besseres Verständnis der Erfindung und anderer Aufgaben und Merkmale von dieser wird auf die begleitenden Zeichnungen Bezug genommen, wobei:

[0039] [Fig. 1A](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Senders eines Systems gemäß der vorliegenden Erfindung darlegt, der ausgestattet ist, um eingehende binäre Daten in einen TFB-Paketstrom zum Übertragen über eine Kommunikationsverbindung umzuwandeln.

[0040] [Fig. 1B](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Codierers des in [Fig. 1A](#) gezeigten Senders darstellt.

[0041] [Fig. 1C](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Wellenformgenerators des in [Fig. 1A](#) gezeigten Senders darstellt.

[0042] [Fig. 2A](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Empfängers des Systems gemäß der vorliegenden Erfindung darlegt, der ausgestattet ist, um ein eingehendes TFB-Paket in einen oder mehrere Ströme von binären Daten zu decodieren.

[0043] [Fig. 2B](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Vorderabschnitts des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers darstellt.

[0044] [Fig. 2C](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Decodierers des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers darstellt.

[0045] [Fig. 2D](#) ein Blockdiagramm ist, das eine veranschaulichende Implementierung eines Bitstromgenerators des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers darstellt.

[0046] [Fig. 3A](#) ein Beispiel einer Nicht-TFB-Funktion im Zeitbereich ist.

[0047] [Fig. 3B](#) ein Beispiel einer Nicht-TFB-Funktion im Frequenzbereich ist.

[0048] [Fig. 4A](#) ein Beispiel einer TFB-Funktion im Zeitbereich ist.

[0049] [Fig. 4B](#) ein Beispiel einer TFB-Funktion im Frequenzbereich ist.

[0050] [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) die in [Fig. 4A](#) und [Fig. 3A](#) dargestellten Pulsformen für einen Vergleich vergrößern.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0051] Die Systeme und Verfahren der vorliegenden Erfindung verbessern eine effektive Kapazität von Kommunikationsverbindungen oder Speichermedien durch Übertragen einer Vielzahl von TFB-Wellenformkomponenten, die jeweils durch eine eindeutige TFB-Funktion gekennzeichnet sind. Eine Kombination von TFB-Funktionen wird verwendet, um ein TFB-Paket zu konstruieren und eine Vielzahl von TFB-Paketen wird verwendet, um einen TFB-Strom zu erzeugen.

[0052] Entsprechend einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung, das einen effektiven Datendurchsatz der Kommunikationsverbindung erhöht, werden eingehende Informationen als ein Bitstrom von binär

codierten Informationen ("0" und "1") empfangen und dann in eine äquivalente Codierung transformiert, in welcher die binären "0" und "1" des Bitstroms in äquivalente Gewichtungsfaktoren übersetzt werden, die auf eine TFB-Funktion, die aus einem Satz von vorbestimmten TFB-Funktionen ausgewählt wird, wie nachstehend beschrieben ist, anzuwenden sind. Es sei angemerkt, dass das Abbilden eines einzelnen Bit auf eine TFB-Funktion nur zur Illustration dient und keinesfalls als Einschränkung anzusehen ist. Es ist möglich, eine Anzahl von Bits auf eine einzelne TFB-Funktion abzubilden.

[0053] Konzeptionell werden die TFB-Pakete aus einem Satz von TFB-Funktionen konstruiert. Diese Funktionen werden möglicherweise in einer modifizierten Form verwendet, um eine Sequenz von Bits als ein zeitkontinuierliches Signal zu codieren und dieses Signal in die Sequenz von Bits zu decodieren, die es darstellt. Ein Codieren geschieht durch Berechnen einer gewichteten Summe der TFB-Funktionen, auch lineare Kombination genannt. Die Gewichtung für eine gegebene TFB-Funktion ist durch den Gewichtungsfaktor für ein Bit oder eine Gruppe von Bits, die auf diese Funktion abgebildet ist, gegeben.

[0054] Im Grunde besitzen TFB-Funktionen die vorteilhafte Eigenschaft, dass sie sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich im Wesentlichen begrenzt sind. Eine bevorzugte Teilklasse von TFB-Funktionen sind orthogonale TFB-Funktionen. Jede TFB-Wellenformkomponente in dem Satz von orthogonalen TFB-Wellenformkomponenten ist eindeutig und gegenseitig orthogonal mit Bezug auf alle anderen TFB-Wellenformkomponenten in diesem Satz. Eine bevorzugte Teilklasse der orthogonalen TFB-Funktionen sind Hermite-Gauss-Funktionen. Eine Hermite-Gauss-Funktion ist eine Funktion, die sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich die gleiche Form besitzt (modulo A konstant). Die Erfindung umfasst sowohl die Verwendung von Hermite-Gauss-Funktionen als auch anderer TFB-Funktionen. Ein Beispiel einer TFB-Funktion ist

$$\text{sech}(z) = 1/\cosh(z) = 2/(e^z + e^{-z}).$$

[0055] Die TFB-Funktionen werden nach dem vorstehend beschriebenen Gewichtungsprozess summiert, wobei TFB-Blöcke und folglich ein Strom von TFB-Blöcken bereit gestellt wird.

[0056] Verfahren und Systeme gemäß der Erfindung können in Verbindung mit irgendeinem Übertragungsmedium verwendet werden, das zum Übertragen oder Übermitteln eines Stroms von Informationen in der Lage ist. solche Übertragungsmedien umfassen Leitungen, Satellitenübertragung, drahtlose Kommunikationen, Funkfrequenzübertragung durch die Luft, Funkfrequenzübertragung durch ein Koaxialkabel, optische Glasfasern, usw. und solche Proto-

kolle wie T-1, ATM, Rahmenstaffelung (bzw. "frame relay") usw. Systeme und Verfahren, die gemäß der Erfindung entwickelt sind, funktionieren mit nahezu jeder digitalen Information, die dazu in der Lage ist, unter Verwendung analoger Technologie übertragen oder gespeichert zu werden, wie etwa Daten-, Bild-, Video- oder Sprachanwendungen.

[0057] [Fig. 1A](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung eines Senders **100** eines Systems gemäß der vorliegenden Erfindung darlegt, das ausgestattet ist, eingehende binäre Daten in einen TFB-Strom zum Übertragen über ein Übertragungsmedium an einen Empfänger umzuwandeln. Ein eingehender binärer Datenbitstrom **110** umfasst eine Sequenz von logischen "1" und "0". Dieser Bitstrom **110** kann beispielsweise, aber nicht ausschließlich, von einer Berechnungseinheit, wie etwa einem persönlichen Computer, Server, einer computerlesbaren Datenspeichereinheit und/oder einer Telefon- oder anderen Telekommunikationseinrichtung ausgehen. Der eingehende Bitstrom **110** wird in TFB-Blöcke **130** durch einen Codierer **120** umgewandelt, welcher nachstehend detaillierter mit Bezug auf [Fig. 1B](#) beschrieben wird. Die TFB-Blöcke **130** werden durch Modulieren der Blockwellenform mit z.B. der Mittenfrequenz des Kanals, der für die Übertragung dieser Bits zu verwenden ist, durch einen Modulator **140** in TFB-Pakete **150** transformiert. Zusätzlich zu oder anstelle einer Modulation kann eine Verarbeitung hinzugefügt werden, um den Effekt des Übertragungsmediums entweder vollständig oder teilweise zu kompensieren. In einem alternativen Ausführungsbeispiel können TFB-Blöcke **130** ebenso in TFB-Pakete **150** transformiert werden, ohne eine zusätzliche Signalverarbeitung auf die Blöcke **130** anzuwenden. Im Wesentlichen wird eine Wellenform **170** entsprechend dem TFB-Paket **150** durch einen Wellenformgenerator **160** erzeugt und physikalisch auf dem Übertragungsmedium realisiert. Der Wellenformgenerator **160** wird nachstehend mit Bezug auf [Fig. 1C](#) detailliert beschrieben.

[0058] [Fig. 1B](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Codierers **120** des in [Fig. 1A](#) gezeigten Senders **100** darstellt. Der eingehende Bitstrom **110** kann in einem Empfangsmechanismus **121** gepuffert werden, bevor er codiert wird. Die eingehenden Bits werden in Gruppen **122** einer Länge M gruppiert. Ein Fehlerkorrekturmechanismus **123** kann N-M Bits für eine Fehlerkorrektur hinzufügen, womit eine Gruppe **124** der Länge N mit M Bits an Daten und N-M Fehlerkorrekturbits erhalten wird. Eine Gruppenlänge M entspricht der Anzahl von TFB-Funktionen, die zum Codieren verwendet werden, und der Anzahl von Bits, die auf eine einzelne TFB-Funktion abgebildet sind. Sowohl M als auch N können dynamisch bestimmt werden, möglicherweise pro Block. Der Fehlerkorrekturmechanismus kann eingerichtet sein, um Informationen

über die Qualität der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums an einer Eingabe **129** zu empfangen, um den Fehlerkorrekturalgorithmus in Abhängigkeit von Effekten der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums zu optimieren. In dem Fall, dass in der Eingabesequenz nicht reichend Daten sind, um einen Block **130** zu füllen, können Füllbits zu der Gruppe **122** oder **124** hinzugefügt werden. In einem Gewichtungsmechanismus **125** wird für jedes Bit in der Gruppe **124** ein Gewichtungsfaktor bestimmt, welcher dazu dient, um den Wert des Bits "0" oder "1" widerzuspiegeln. Als ein Beispiel ist der Gewichtungsfaktor -1 , wenn der Bitwert 0 ist, und $+1$, wenn der Bitwert 1 ist. Der Gewichtungsmechanismus kann eingerichtet sein, um Informationen über die Qualität der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums an einer Eingabe **131** zu empfangen, zum Optimieren der Gewichtungserzeugung unter Vorgabe der Bedingungen der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums. Die Gewichtungsfaktoren sind auf keinerlei Weise auf die vorstehend gegebenen Beispiele beschränkt und können frei gewählt werden, zu den Anwendungs- oder Systemanforderungen zu passen. Ein Abbildungsmechanismus **127** bildet die N Bits der Gruppe **124** von Bits auf N TFB-Funktionen, die durch einen Signalerzeugungsmechanismus **128** erzeugt werden, ab. Der Signalerzeugungsmechanismus **128** kann eingerichtet sein, um Informationen über die Qualität der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums zum Optimieren der TFB-Funktionen zu empfangen, unter der Vorgabe der Bedingungen der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums. Vorzugsweise sind die TFB-Funktionen digitale Darstellungen von TFB-Funktionen. Es ist jedoch auch möglich, analoge physikalische Darstellungen der TFB-Funktionen zu verwenden. Dieses Abbilden wird durch Multiplizieren einer ersten Funktion aus einem ersten Satz von TFB-Funktionen mit einem ersten Gewichtungsfaktor, einer zweiten Funktion mit einem zweiten Gewichtungsfaktor usw. erreicht, bis alle N Funktionen mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wurden. Vorzugsweise wird die erste Funktion mit einem Gewichtungsfaktor entsprechend dem ersten Bit der Gruppe **124** multipliziert, die zweite Funktion mit einem Gewichtungsfaktor entsprechend dem zweiten Bit der Gruppe **124**, usw. Nachfolgend addiert der Abbildungsmechanismus **125** alle N gewichteten Funktionen, um einen TFB-Block **130** zu bilden.

[0059] Wenn n Bits auf jede TFB-Funktion abzubilden sind und es N_T zu verwendende TFB-Funktionen gibt, werden die Bits in Gruppen von $N = n \times N_T$ Bits gruppiert (eingehende Bits plus Fehlerkorrekturbits). In dem Gewichtungsmechanismus **125** wird für jeden Satz von n Bits der Gruppe **124** ein Gewichtungsfaktor bestimmt, welcher dazu dient, um den Wert des Satzes von Bits widerzuspiegeln. Der Abbildungsmechanismus **127** bildet die N Bits der Gruppe **124** von Bits auf N_T TFB-Funktionen ab, die durch den Sig-

nalerzeugungsmechanismus **128** erzeugt werden. Wieder wird dieses Abbilden durch Multiplizieren der ersten Funktion von dem ausgewählten Satz von TFB-Funktionen mit dem ersten Gewichtungsfaktor, der zweiten Funktion von dem ausgewählten Satz von TFB-Funktionen mit dem zweiten Gewichtungsfaktor, usw. erreicht, bis alle N_T Funktionen mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert wurden. Vorzugsweise wird die erste Funktion mit einem Gewichtungsfaktor entsprechend dem ersten Satz von n Bits der Gruppe **124**, die zweite Funktion mit einem Gewichtungsfaktor entsprechend dem zweiten Satz von n Bits der Gruppe **124**, usw. multipliziert. Nachfolgend addiert der Abbildungsmechanismus **125** alle N_T gewichteten Funktionen, um einen TFB-Block **130** zu bilden.

[0060] [Fig. 1C](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Wellenformgenerators **160** des in [Fig. 1A](#) gezeigten Senders **100** darstellt. Ein Abtaster **162** wird verwendet, um eine digitale Darstellung **164** der Wellenform des Pakets **150**, wie durch den Modulator **140** erzeugt, zu bestimmen. Ein Digital-Analog (D/A)-Wandler **166** wandelt die digitale Wellenform **164** in eine analoge Wellenform um. Ein Übertragungsmechanismus **168** setzt schließlich die analoge TFB-Wellenform **170** auf das Übertragungsmedium.

[0061] Bei dem in den [Fig. 1A](#), [Fig. 1B](#) und [Fig. 1C](#) dargestellten Ausführungsbeispiel werden die eingehenden Bits **110** digital auf digitale Darstellungen der N TFB-Funktionen abgebildet, wobei die Summe von diesen (Block **130**) digital bestimmt und moduliert wird, bevor sie in eine analoge Wellenform umgewandelt wird, welche auf das Übertragungsmedium gesetzt wird. Die Erfindung ist keineswegs auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt. Alternative Ausführungsbeispiele, wobei der eingehende Bitstrom **110** an unterschiedlichen Punkten innerhalb des Systems in ein analoges Signal umgewandelt wird, liegen alle innerhalb des Umfangs der Erfindung. Beispiele multiplizieren N analoge TFB-Funktionen mit analogen Äquivalenten der Gewichtungsfaktoren oder konvertieren die N digitalen gewichteten Funktionen in analoge Wellenformen vor dem Addieren der getrennten Wellenformen, um einen Block zu bilden. Weiter kann die Erfindung elektronisch in Firmware, Software, Hardware oder verschiedenen Kombinationen von diesen ausgeführt werden.

[0062] [Fig. 2A](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Empfängers **200** des Systems gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt, das ausgestattet ist, um eine eingehende TFB-Wellenform **210** in eine oder mehrere Ströme von binären Daten **280** zu decodieren. Ein Vorderabschnitt **220** des Empfängers **200** empfängt Wellenformen **210** von dem Übertragungsmedium. Wie nachstehend detaillierter mit Bezug auf [Fig. 2A](#) beschrie-

ben ist, wandelt der Vorderabschnitt **220** die empfangene Wellenform **210** in ein abgetastetes Paket **230** um. Ein Decodierer **240** zerlegt das Paket **230** in eine Gruppe **260** von Bits, wie später mit Bezug auf [Fig. 2C](#) beschrieben ist. Letztendlich werden die Bitgruppen **260** durch einen Bitstromgenerator **270** in einem Bitstrom **280** wiederhergestellt, wie später detaillierter mit Bezug auf [Fig. 2D](#) beschrieben ist.

[0063] [Fig. 2B](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Vorderabschnitts **220** des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers **200** darstellt. Der Vorderabschnitt **220** empfängt ein analoges Wellenformsignal **210** von dem Übertragungsmedium, z.B. einer Leitung. Das eingehende Signal kann in einem Signalbearbeitungsmechanismus **222** bearbeitet werden, um die Amplitude und/oder das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Ein Analog/Digital-(A/D)-Wandler **224** erzeugt ein digitales abgetastetes Paket **230** entsprechend der empfangenen analogen Wellenform **210**.

[0064] [Fig. 2C](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Decodierers **240** des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers **200** darstellt. Da eine Wellenform **270**, wie in dem Sender realisiert ist, verzerrt werden kann, während sie sich über das Übertragungsmedium ausbreitet, kann die verzerrte Wellenform **210** zur Kompensation der Effekte der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums, z.B. Rauschen, Dämpfung und Phasenverschiebung auf der Wellenform, durch einen Kompensatormechanismus **246** verarbeitet werden, der kompensierte empfangene Pakete **248** ergibt. In einem alternativen Ausführungsbeispiel kann eine Kompensation der Verzerrung, die durch das Übertragungsmedium hervorgerufen wird, ebenso in den Basisfunktionen eingearbeitet werden; in solch einem Fall kann die Sammlung von Basisfunktionen möglicherweise pro Block variieren. Veranschaulichend kann eine Kompensation von Nebensprechen bzw. „cross talk“, das während einer Übertragung hervorgerufen wird, in Verarbeitungen in sowohl dem Sender **100** als auch dem Empfänger **200** enthalten sein. Ein Kalibrierungsmechanismus **242** kann verwendet werden, um die Parameter, die die Kompensation steuern, durch Vergleichen der empfangenen Wellenform **210** mit einer bekannten gesendeten Wellenform zu bestimmen. Ein Demodulator **250** demoduliert die (digital codierten) Pakete **248** mit einer Trägerfrequenz für jeden Kanal, der in der Übertragung verwendet wird, was abgetastete Blöcke **252** ergibt. In einem Anpassungsmechanismus **254** werden die abgetasteten Blöcke **252** an einen Satz von TFB-Funktionen angepasst, um für jede der Funktionen in dem Satz einen Gewichtungsfaktor zu bestimmen. Dies ergibt im Falle der in dem vorstehenden Beispiel gegebenen Gewichtungsfaktoren, dass Bit i auf 0 gesetzt wird, wenn der Gewichtungsfaktor -1 ist, oder auf 1, wenn der Gewichtungsfaktor $+1$ ist.

Die Gewichtungsfaktoren sind keineswegs auf die Beispiele beschränkt und können frei gewählt werden, um sich den Anwendungs- oder Systemanforderungen anzupassen. Eine i -te Funktion bildet sich auf ein i -tes Bit in der für einen einzelnen Block **252** erzeugten Sequenz ab. Die sich ergebenden N Gewichtungsfaktoren werden auf eine Gruppe **260** von N Bits auf eine solche Weise abgebildet, dass der Eingabeblock **124** mit der Wahrscheinlichkeit P rekonstruiert wird. Veranschaulicht wird das Anpassen durch Berechnen einer Annäherung des inneren Produkts der empfangenen Pakete **248** mit den TFB-Funktionen, die zum Decodieren der Daten verwendet werden, durchgeführt. Der Anpassungsprozess stellt Informationen über Rauschen, das in der Übertragung und/oder dem Übertragungsmedium erzeugt wird, bereit, welches dann durch einen Rauschen-Schätzmechanismus **256** geschätzt und an den Sender zurück gesendet wird (**258**), um die Codierung, wenn erforderlich, anzupassen. In dem Sender **100** kann diese Information z.B. zu der Eingabe **129** des Fehlerkorrekturmechanismus zum Optimieren des Fehlerkorrekturalgorithmus gerichtet sein und/oder der Eingabe **131** des Gewichtungsmechanismus, um beim Optimieren der Gewichtungen, die auf die TFB-Funktionen angewendet werden, verwendet zu werden, unter Vorgabe der Effekte des Übertragungsmediums. Diese Informationen können ebenso verwendet werden, um den Satz von TFB-Funktionen, die innerhalb des Senders verwendet werden, zu modifizieren. Es ist ebenso möglich, Informationen, die nicht durch den Schätzmechanismus **256** geschätzt wurden, z.B. von einer separaten Messung, zur Optimierung zu verwenden.

[0065] [Fig. 2D](#) ist ein Blockdiagramm, das eine veranschaulichende Implementierung des Bitstromgenerators **270** des in [Fig. 2A](#) gezeigten Empfängers **200** darstellt. Die M Bits in der Gruppe **260**, die in dem Anpassungsmechanismus **254** extrahiert werden, werden in einem Fehlerkorrekturmechanismus **272** mit einem Fehlerkorrekturalgorithmus verarbeitet, wobei ein Algorithmus, der zum Codieren verwendet wird, angepasst wird, so dass sich die ursprüngliche Bitsequenz ergibt. Eine Gruppe **274** von M decodierten Bits wird in einem Puffer **276** platziert und, nachdem sie verknüpft wurden, wird der sich ergebende Bitstrom **280** für externe Geräte, wie etwa einen Computer, über einen Schnittstellenmechanismus **278** verfügbar gemacht.

[0066] In dem durch die [Fig. 2A](#), [Fig. 2B](#), [Fig. 2C](#) und [Fig. 2D](#) dargestellten Ausführungsbeispiel werden die eingehenden Wellenformen **210** nach einer Signalbearbeitung und vor einer Kompensation digitalisiert. Die Erfindung ist keinesfalls auf dieses Ausführungsbeispiel begrenzt. Alternative Ausführungsbeispiele, bei denen die eingehende Wellenform **210** an unterschiedlichen Punkten innerhalb des Systems in digitale Daten umgewandelt werden, liegen alle in-

nerhalb des Umfangs der Erfindung. Beispiele sind digital angewendete Signalbearbeitungen oder Kompensationen für z.B. Dämpfung auf eine analoge Weise. Weiter kann die Erfindung elektronisch, in Firmware, Software, Hardware oder in verschiedenen Kombinationen von diesen ausgeführt werden.

[0067] Die Hardware-Ausführungsbeispiele von [Fig. 1A](#) und [Fig. 2A](#) können eingesetzt werden, um unter Verwendung von Frequenzmultiplex (FDM) mehrere Kanäle zu erzeugen, wobei jeder der Kanäle aus einem Strom von Paketen besteht.

[0068] Jedes dieser Pakete wiederum ist aus gewichteten Summen eines Satzes von TFB-Funktionen konstruiert.

[0069] [Fig. 3B](#) ist ein Beispiel einer Nicht-TFB-Funktion im Frequenzbereich. Die Funktion von [Fig. 3B](#) ist im Frequenzbereich auf einen rechteckigen Anteil mit einer Breite von 1 Hz begrenzt, aber ihre Fourier-Transformation, die Sinc-Funktion, verläuft im Zeitbereich sowohl im negativen als auch im positiven Bereich ins Unendliche ([Fig. 3A](#)). Ähnlich verläuft eine Funktion, die im Zeitbereich auf einen rechteckigen Anteil begrenzt ist, im Frequenzbereich im positiven und negativen Bereich ins Unendliche.

[0070] Um das drastische Verlaufen der in [Fig. 3A](#) gezeigten Sinc-Funktion zu reduzieren, kann der steile Anstieg und Abfall der Amplitude des rechteckigen Anteils ([Fig. 3B](#)) zu einem eher schrittweisen Anstieg und Abfall der Amplitude z.B. unter Verwendung einer angehobenen Kosinusfunktion („raised-cosine function“) geändert werden. Jedoch ergeben sogar die eher schrittweise angehobenen Kosinusfunktionen im Wesentlichen ein Verlaufen. Die beste Lösung für dieses Verlaufsproblem ist es, TFB-Funktionen zu verwenden, wobei ein Beispiel von diesen in den [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) gezeigt ist.

[0071] [Fig. 4A](#) ist ein Beispiel einer TFB-Funktion im Zeitbereich, und [Fig. 4B](#) die entsprechende TFB-Funktion im Frequenzbereich.

[0072] Zum Vergleich zeigen die [Fig. 5A](#) und [Fig. 5B](#) Vergrößerungen des Zeitbereichsgraphs der TFB-Funktion und der Sinc-Funktion. Es sei angemerkt, dass der vertikale Zeichnungsbereich mit Bezug auf die [Fig. 3A](#) und [Fig. 4A](#) reduziert ist, um das Abfallen von lokalen Maxima zu zeigen.

Patentansprüche

1. System zum Erhöhen eines Durchsatzes digitaler Daten durch Übertragen von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionspaketen über ein Übertragungsmedium, wobei die zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen glatte Funktionen sind, welche so-

wohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich eine begrenzte Ausdehnung haben, außerhalb welcher die Amplitude des Produkts der Funktion mit einem Polynom vernachlässigbar oder zumindest niedriger als ein vorbestimmter Schwellenwert ist, wobei das System einen Sender aufweist, mit:

einem digitalen Empfangsmechanismus **121** zum Empfangen eines eingehenden Stroms **110** von digitalen Informationen auf einer oder mehreren eingehenden digitalen Leitungen, wobei die digitalen Informationen in einen binären Bitformat aus „0“ und „1“ vorliegen,

einem Gewichtungsmechanismus **125** zum Erzeugen entsprechender Gewichtungsfaktoren unter Verwendung der digitalen Informationen, die von dem digitalen Empfangsmechanismus **121** empfangen werden;

einem Signalerzeugungsmechanismus **128**, der ausgestattet ist, um eine Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen zu erzeugen; gekennzeichnet durch

einen Abbildungsmechanismus **127**, der mit dem Signalerzeugungsmechanismus gekoppelt ist, zum Anwenden von durch den Gewichtungsmechanismus **128** erzeugten und empfangenen Gewichtungsfaktoren auf eine entsprechend erzeugte zeit- und frequenzbegrenzte Funktion, und danach Summieren der gewichteten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, um dadurch eine entsprechende Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen **150** zu erzeugen, wobei die Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen einen zeit- und frequenzbegrenzten Informationsstrom aufweisen; und einen Übertragungsmechanismus **168** zum Übertragen der Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen über das Übertragungsmedium.

2. System gemäß Anspruch 1, wobei der Empfangsmechanismus **121** eine Einrichtung zum Puffern des eingehenden Stroms und eine Einrichtung zum Gruppieren der Bits in Gruppen aufweist.

3. System gemäß Anspruch 2, wobei das System eingerichtet ist, um die Anzahl von Bits in einer Gruppe dynamisch zu bestimmen.

4. System gemäß Anspruch 2, wobei die Einrichtung zum Gruppieren der Bits eingerichtet ist, um im Fall, dass in dem eingehenden Strom von Informationen unzureichende Daten sind, eines oder mehrere Füllbits hinzuzufügen, um eine Gruppe aufzufüllen.

5. System gemäß Anspruch 2, mit einem Fehlerkorrekturmechanismus **129**, der eingerichtet ist, um Fehlerkorrekturbits zu den Bitgruppen hinzuzufügen.

6. System gemäß Anspruch 5, wobei das System eingerichtet ist, um die Anzahl von Fehlerkorrekturbits dynamisch zu definieren.

7. System gemäß Anspruch 1, mit einem Modulator zum Modulieren der Summe der gewichteten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen mit einer Trägerfrequenz.

8. System gemäß Anspruch 5, wobei der Fehlerkorrekturmechanismus **129** eingerichtet ist, um Informationen über die Qualität der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums bei einer Eingabe zu empfangen, um den Fehlerkorrekturalgorithmus in Abhängigkeit von Einflüssen des Übertragungsmediums zu optimieren.

9. System gemäß Anspruch 1, wobei der Gewichtungsmechanismus **125** eingerichtet ist, um Informationen über die Qualität der Übertragung und/oder des Übertragungsmediums bei einer Eingabe zu empfangen, zum Optimieren einer Gewichtungserzeugung in Anbetracht der Zustände des Übertragungsmediums.

10. System gemäß Anspruch 1, wobei der Signalerzeugungsmechanismus **160** ausgestattet ist, um eine Vielzahl von digitalen Darstellungen von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen zu erzeugen.

11. System gemäß Anspruch 1, weiter mit einem Empfänger **200** zum Empfangen eines eingehenden Informationsstroms **210** in der Form von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen, die auf dem Übertragungsmedium übertragen werden; wobei der Empfänger einen Vorderabschnitt **220**, einen Decodierer **240** zum Extrahieren der digitalen Informationen und einen Erzeugungsmechanismus **270** zum Erzeugen eines oder mehrerer abgehender binärer Datenbitströme **280** aufweist.

12. System gemäß Anspruch 11, wobei der Vorderabschnitt **220** einen Analog-Digital-Wandler **224** zum Umwandeln des eingehenden Informationsstroms in einen abgetasteten Strom von Bits **230** aufweist.

13. System gemäß Anspruch 11, wobei der Decodierer einen Kompensator **246** zum Korrigieren des abgetasteten eingehenden Informationsstroms **230** bezüglich Verzerrungen des Signals während der Übertragung und zum Bestimmen der Parameter, die die Korrektur steuern, aufweist.

14. System gemäß Anspruch 13, wobei der Fehlerkorrekturmechanismus des Senders **129** eingerichtet ist, um die Parameter vom Kompensator des Empfängers zu empfangen.

15. System gemäß Anspruch 13, wobei der Gewichtungsmechanismus **125** des Senders eingerichtet ist, um die Parameter vom Kompensator des Empfängers zu empfangen.

16. System gemäß Anspruch 11, wobei der Decodierer **240** einen Demodulator **250** zum Demodulieren der zeit- und frequenzbegrenzten Pakete aufweist.

17. System gemäß Anspruch 11, wobei der Decodierer **240** einen Signalerzeugungsmechanismus aufweist, der ausgestattet ist, um eine Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen zu erzeugen.

18. System gemäß Anspruch 17, wobei der Decodierer einen Anpassungsmechanismus **254** zum Anpassen des empfangenen Informationsstroms an den Satz von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen aufweist, um für jede Funktion in dem Satz den Gewichtungsfaktor zu bestimmen.

19. System gemäß Anspruch 18, wobei die zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, die in dem Anpassungsmechanismus verwendet werden, von den zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, die in dem Abbildungsmechanismus verwendet werden, verschieden sind.

20. System gemäß Anspruch 11, wobei der Decodierer einen Schätzmechanismus **256** zum Schätzen von Informationen über das Rauschen, das durch das und/oder in dem Übertragungsmedium erzeugt wird, aufweist.

21. System gemäß Anspruch 20, wobei der Signalerzeugungsmechanismus des Empfängers **200** eingerichtet ist, um die Informationen des Schätzmechanismus **256** zu empfangen und zu verwenden, um die erzeugten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen abzugleichen.

22. System gemäß Anspruch 20, wobei der Signalerzeugungsmechanismus **128** des Senders **100** eingerichtet ist, um die Informationen des Schätzmechanismus **256** zu empfangen und zu verwenden, um die erzeugten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen abzugleichen.

23. System gemäß Anspruch 11, wobei der Erzeugungsmechanismus **270** einen Fehlerkorrekturmechanismus **272** zum Anwenden einer Fehlerkorrektur auf den einen oder die mehreren abgehenden Datenströme aufweist.

24. System gemäß Anspruch 11, wobei der Erzeugungsmechanismus **270** einen Puffer **76** für die decodierten Bits aufweist.

25. System gemäß Anspruch 11, wobei der Erzeugungsmechanismus **270** einen Mechanismus **178** zum Verknüpfen der Bits und/oder zum Verfügbarmachen der Bits für ein externes Gerät aufweist.

26. System gemäß Anspruch 11, wobei zumindest ein Teil des Decodierers in Software implementiert ist, die in einem programmierbaren Berechnungsmechanismus ausgeführt wird, wie etwa einem Allzweckcomputer, einem digitalen Signalprozessor (DSP) oder einem FPGA.

27. System gemäß Anspruch 1 oder 11, wobei zumindest eine der zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen aus der Teil-Klasse von orthogonalen zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen ausgewählt wird.

28. System gemäß Anspruch 1 oder 11, wobei zumindest eine der zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen aus der Teil-Klasse von Hermite-Gauss-Funktionen ausgewählt wird.

29. Sender, mit:
 einem digitalen Empfangsmechanismus zum Empfangen eines eingehenden Stroms von digitalen Informationen auf einer oder mehreren eingehenden digitalen Leitungen, wobei die digitalen Informationen in einen binären Bitformat aus „0“ und „1“ vorliegen, einem Gewichtungsmechanismus zum Erzeugen entsprechender Gewichtungsfaktoren unter Verwendung der digitalen Informationen, die von dem digitalen Empfangsmechanismus empfangen werden;
 einem Signalerzeugungsmechanismus, der ausgestattet ist, um eine Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen zu erzeugen;
 einem Abbildungsmechanismus, der mit dem Signalerzeugungsmechanismus gekoppelt ist, zum Anwenden von durch den Gewichtungsmechanismus erzeugten und empfangenen Gewichtungsfaktoren auf eine entsprechend erzeugte zeit- und frequenzbegrenzte Funktion, und danach Summieren der gewichteten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, um dadurch eine entsprechende Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen zu erzeugen, wobei die Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen einen zeit- und frequenzbegrenzten Informationsstrom aufweisen; und
 einem Übertragungsmechanismus zum Übertragen der Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen über das Übertragungsmedium.

30. Empfänger zum Empfangen eines eingehenden Informationsstroms in der Form von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen, die auf einem Übertragungsmedium übertragen werden; wobei der Empfänger aufweist einen Vorderabschnitt, einen Decodierer zum Extrahieren der digitalen Informationen, wobei der Decodierer einen Demodulator zum Demodulieren der zeit- und frequenzbegrenzten Pakete aufweist; und einen Anpassungsmechanismus zum Anpassen des empfangenen Informationsstroms an einen Satz von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, um für jede Funktion in dem Satz einen Gewichtungsfaktor zu bestimmen, und Abbilden der Ge-

wichtungsfaktoren auf Gruppen von Bits; und einen Erzeugungsmechanismus, der die Gruppen von Bits verarbeitet, um einen oder mehrere abgehende binäre Datenbitsströme zu erzeugen.

31. Verfahren zum effektiven Erhöhen eines Durchsatzes digitaler Daten durch Übertragen von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionspaketen über ein Übertragungsmedium, wobei die zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen glatte Funktionen sind, welche sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich eine begrenzte Ausdehnung haben, außerhalb welcher die Amplitude des Produkts der Funktion mit einem Polynom vernachlässigbar oder zumindest niedriger als ein vorbestimmter Schwellenwert ist, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:
 Empfangen eines eingehenden Stroms von digitalen Informationen in einen binären Bitformat aus „0“ und „1“,
 Verwenden der digitalen Informationen, um eine Sequenz von Gewichtungsfaktoren zu erzeugen;
 Erzeugen eine Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen;
 Anwenden der Gewichtungsfaktoren auf die Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, und
 Summieren der gewichteten zeit- und frequenzbegrenzten Funktionen, um dadurch eine entsprechende Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen zu erzeugen, wobei eine Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen einen zeit- und frequenzbegrenzten Informationsstrom aufweisen; und
 Übertragen der Vielzahl von zeit- und frequenzbegrenzten Paketen über das Übertragungsmedium.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

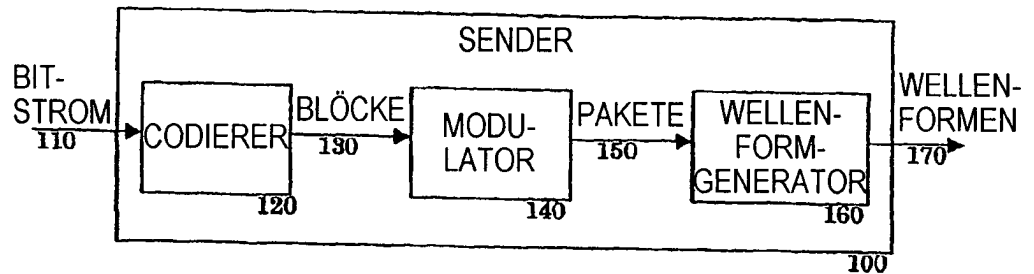


FIG. 1B

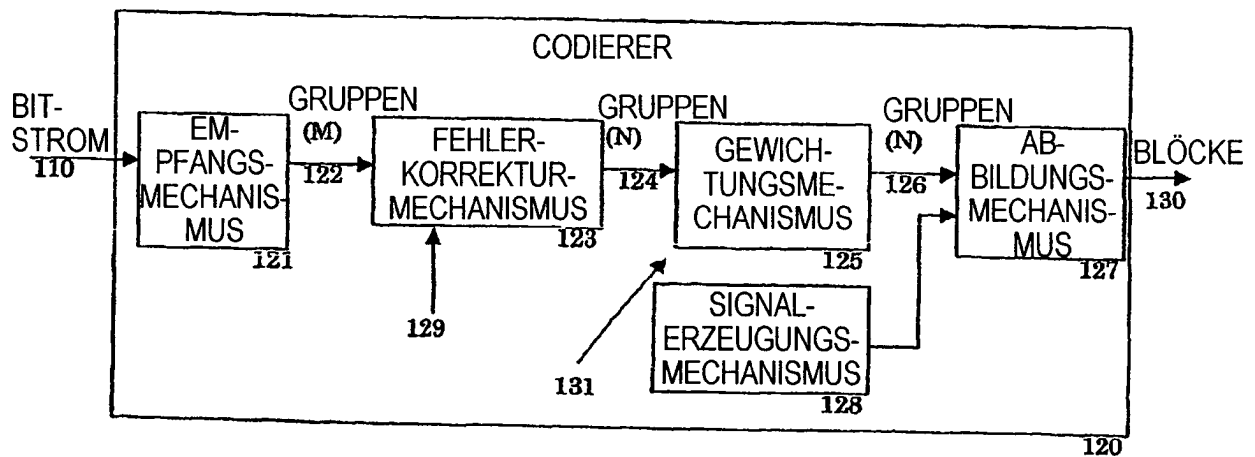


FIG. 1C

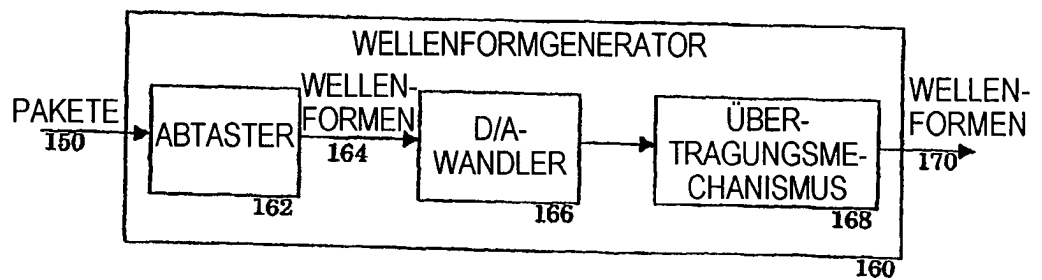


FIG. 2A

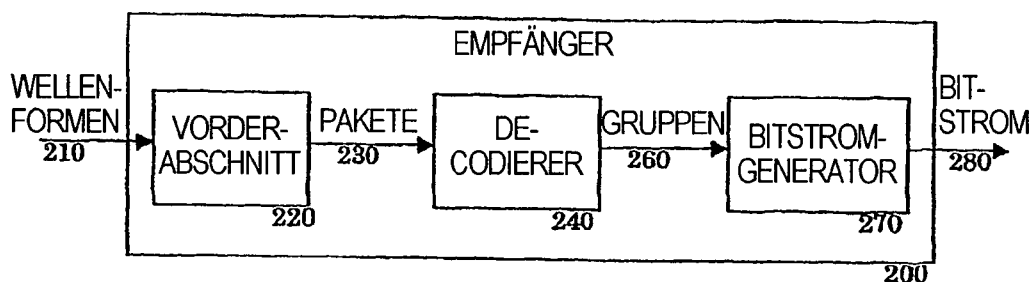


FIG. 2B

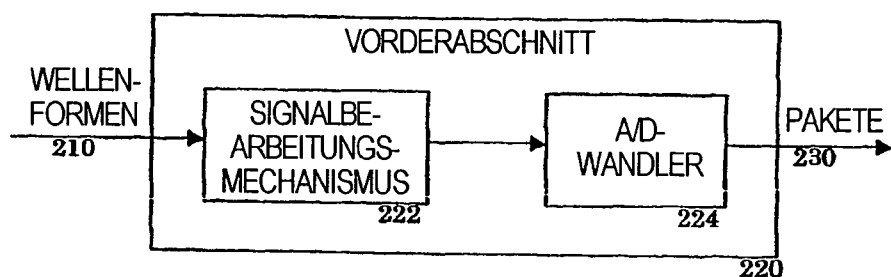


FIG. 2C

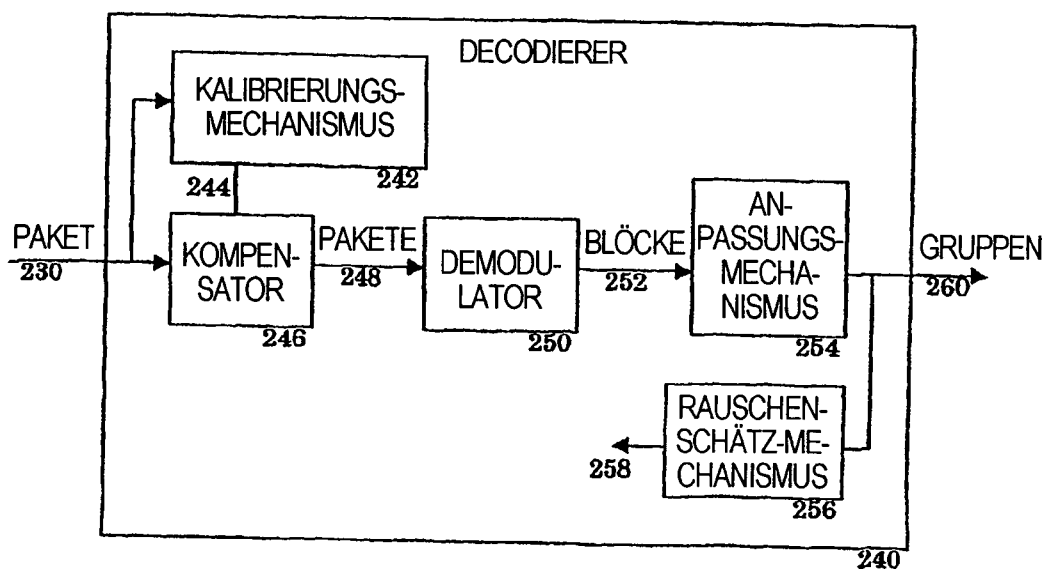


FIG. 2D

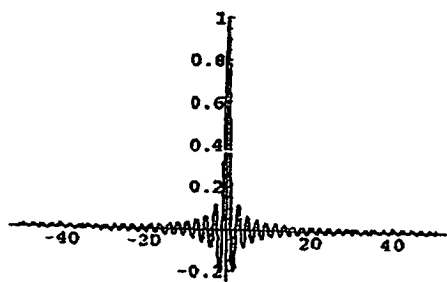
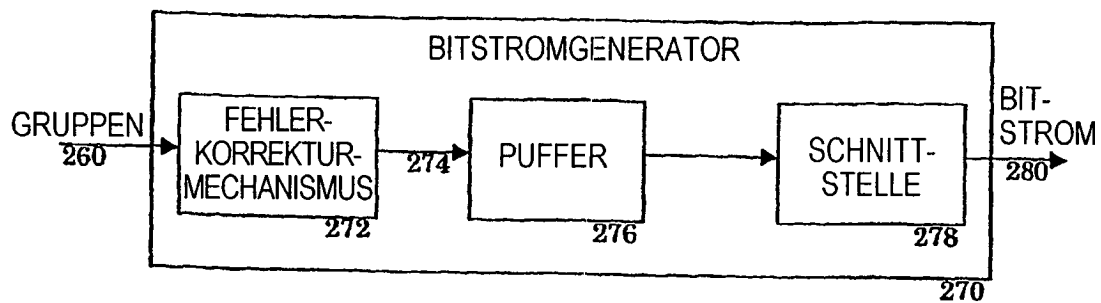


FIG. 3A

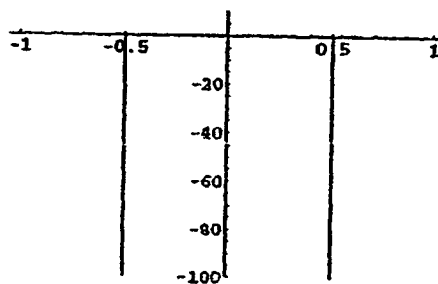


FIG. 3B

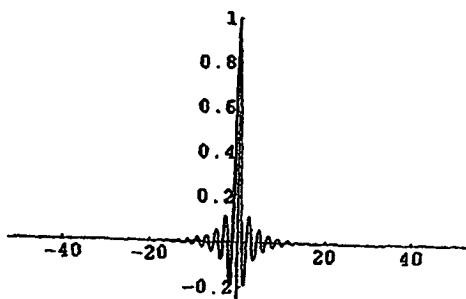


FIG. 4A

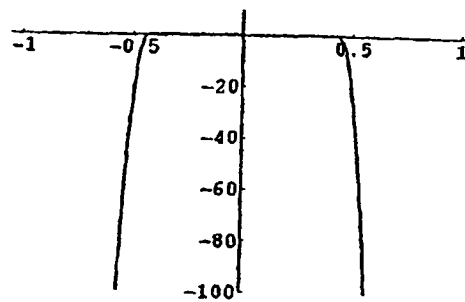


FIG. 4B

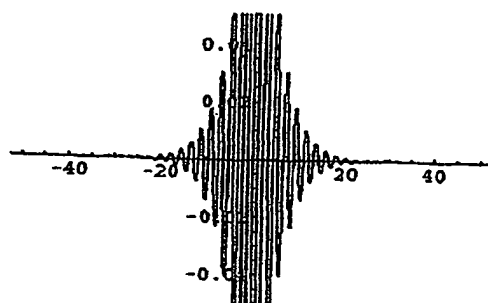


FIG. 5A

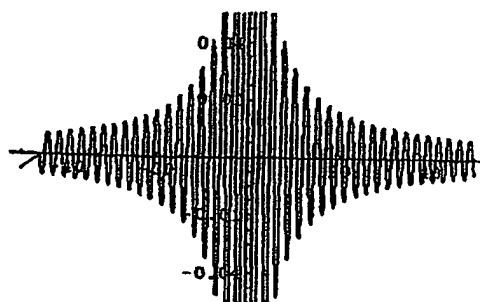


FIG. 5B