(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 33 718 T2** 2007.11.29

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 041 756 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 33 718.9**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 302 601.0**
(96) Europäischer Anmeldetag: **29.03.2000**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.10.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **07.03.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **29.11.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***H04H 1/00*** (2006.01)
H04L 5/06 (2006.01)
H04L 5/02 (2006.01)
H04L 1/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

290819	**13.04.1999**	**US**
280280	**29.03.1999**	**US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
Mansour, David, Fair Lawn, New Jersey 07410, US;
Sinha, Deepen, Chatham, New Jersey 07928, US;
Sundberg, Carl-Erik Wilhelm, Chatham, New Jersey 07928, US

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung für die Übertragung mehrerer Datenströme im gleichen Band und Kanal**

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

Verwandte Anmeldung

[0001] Die vorliegende Erfindung ist eine Teilfortsetzung der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/280,280, die am 29. März 1999 im Namen der Erfinder Hui-Ling Lou, Deepen Sinha und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Technique for Effectively Communicating Multiple Digital Representations of a Signal" eingereicht und dem Empfänger der vorliegenden Erfindung zugewiesen wurde.

Erfindungsgebiet

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die digitale Audiorundsendung (DAB) und andere Techniken zum Senden von Informationen und insbesondere Techniken zum Implementieren von bandinternen IBOC-(In Band On Channel)-Hybridsystemen für DAB und andere Anwendungen.

Allgemeiner Stand der Technik

[0003] Das schlagartige Wachstum der digitalen Kommunikationstechnologie hat zu einem immer größeren Bandbreitenbedarf zur Kommunikation von digitalen Audioinformationen, Videoinformationen und/oder Daten geführt. Zur effizienten Bandbreitennutzung zur Kommunikation von digitalen Audioinformationen ist beispielsweise eine PAC-(Perceptual Audio Coding)-Technik entwickelt worden. Einzelheiten dieser Technik sind aus der US-Patentschrift Nr. 5,285,498 ausgegeben am 8. Februar 1994 an Johnston, und der US-Patentschrift Nr. 5,040,217, ausgegeben am 13. August 1991 an Brandenburg et al. ersichtlich. In Übereinstimmung mit einer derartigen PAC-Technik wird jeder in einer Abfolge von Zeitbereichsblöcken eines Audioinformationen darstellenden Audiosignals in dem Frequenzbereich codiert. Insbesondere wird die Frequenzbereichdarstellung jedes Blocks in Codebänder unterteilt, von denen jedes basierend auf psychoakustischen Kriterien derart individuell codiert wird, dass die Audioinformationen signifikant komprimiert werden, wodurch eine geringere Anzahl an Bits erforderlich ist, um die Audioinformationen darzustellen, als der Fall wäre, wenn die Audioinformationen in einem einfacheren digitalen Format, wie dem PCM-Format dargestellt werden würden.

[0004] In jüngerer Zeit hat sich die Industrie auf die Idee konzentriert, ein bereits bestehendes analoges Amplituden-Modulations-(AM)-Frequenzband zu nutzen, um für die effizientere Berücksichtigung auch von digitalen Kommunikationen zu sorgen. Eine etwaige Anpassung des AM-Bands zur Bereitstellung der zusätzlichen Kapazität für digitale Kommunikationen darf jedoch die gegenwärtig von Radiostationen für die Rundsendung von AM-Funkwellen auf demselben Band erzeugten analogen AM-Signale nicht signifikant beeinträchtigen. In den USA sind angrenzenden geographischen Gebieten, die durch AM-Radiorundsendung abgedeckt sind, unterschiedliche AM-Trägerfrequenzen zugewiesen, die mindestens 20 kHz auseinanderliegen. Insbesondere wenn sie genau 20 kHz auseinanderliegen, wird der dem angrenzenden Gebiet zugewiesene AM-Träger als „zweiter benachbarter Träger" bezeichnet. Wenn sie 10 kHz auseinanderliegen, wird der dem angrenzenden Gebiet zugewiesene AM-Träger analog als „erster benachbarter Träger" bezeichnet.

[0005] Zur Kommunikation von digitalen Audioinformationen ist ein bandinternes On-Channel-AM-(IBOC-AM)-Schema (auch als „Hybrid-IBOC-AM" bekannt) vorgeschlagen worden. In Übereinstimmung mit dem vorgeschlagenen Schema besetzen digital modulierte, die Audioinformationen darstellende Signale beispielsweise ein in einem analogen AM-Hostträger zentriertes digitales Band von 30 kHz. Die Leistungspegel der Spektren der digital modulierten Signale können über ein Subband von 10 kHz in dem digitalen Band an jedem Ende davon gleich hoch sein. Ein diesen Stand der Technik aufweisendes Dokument ist WO 9749207.

[0006] Bei der Implementation ist es jedoch wahrscheinlich, dass zwei derartige IBOC-AM-Schemen jeweils in zwei angrenzenden Gebieten eingesetzt werden würden, von denen die zugewiesenen AM-Hostträger 20 kHz entfernt sind. In diesem Fall überlappen sich die in den jeweiligen AM-Hostträgern zentrierten digitalen Bänder von 30 kHz für die digitale Kommunikation einander um 10 kHz, wodurch es in jedem Gebiet zu einer unerwünschten „Störung benachbarter Kanäle" kommt. Eine solche Störung wird insbesondere als „Störung des zweiten benachbarten Kanals" bezeichnet, da der dominante störende Träger in diesem Fall aus einem zweiten benachbarten Träger besteht. Die Störung des zweiten benachbarten Kanals verschlechtert die digitalen Kommunikationen in jedem der angrenzenden Gebiete, insbesondere in den Teilen der Gebiete, die sich nahe ihrer gemeinsamen Grenze befinden. Ähnliche Probleme entstehen in anderen Arten von IBOC-Systemen, z.B. Frequenzmodulations-(FM)-IBOC-Systemen, die auch als IBOC-FM-Systeme oder Hybrid-IBOC-FM-Systeme bekannt sind, Satellitenrundsendesysteme, Internetradiosysteme, TV-Rundsendesystem usw.

[0007] Dementsprechend besteht ein Bedarf an einer Technik, die beispielsweise auf der PAC-Technik basiert, zur effizienten Nutzung eines bestehenden Sendebands, z.B. eines AM-, FM- oder anderen Bands, für digitale Kommunikationen und zur Behandlung von Störungen angrenzender Kanäle in angrenzenden Gebieten, in denen IBOC-Schemen eingesetzt sind.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0008] Die vorliegende Erfindung stellt Verfahren und Vorrichtungen für das Senden und/oder Empfangen mehrerer Informationsströme bei der IBOC-basierten Rundsendung digitaler Audiosignale und andere Anwendungen bereit. In Übereinstimmung mit der Erfindung werden aus einem Informationssignal mehrere Bitströme erzeugt, und die Bitströme werden unter Verwendung von Frequenzbändern gesendet, die mit einem Host-Trägersignal, z.B. einem AM- oder FM-Host-Trägersignal assoziiert sind. Die Art und Weise, auf die die mehreren Bitströme erzeugt und gesendet werden, kann auf Faktoren basieren, wie z.B. Mehrfachbeschreibungscodierung, eingebettete Codierung vom Kern-/Verstärkungstyp, niedrigerer Basiscodierungsrate in einem Frequenzband bezüglich zu einem anderen Frequenzband, Klassifizierung der Bitfehlerempfindlichkeit für ungleichen Fehlerschutz (UEP), ungleichförmiges Leistungsprofil der Bänder, erhöhte Gesamtfrequenzbandleistung, Erhöhung der Zeitdiversität im Frequenzband und im Bitstrom durch Einführen einer Verzögerung zwischen den Bitströmen in verschiedenen Bändern und/oder in demselben Band. Die einzelnen Bitströme können unter Verwendung eines äußeren Codes, z.B. eines CRC-Codes, RS-Codes, BCH-Codes oder anderer linearer Blockcodes, und innerer Codes, z.B. einem Faltungscode, Turbocode oder trelliscodierter Modulation codiert werden.

[0009] In einer veranschaulichenden Ausführungsform wird aus einem Audioinformationssignal eine Gruppe von Bitströmen erzeugt. Die Gruppe von Bitströmen kann z.B. insgesamt vier Bitströme umfassen, die dadurch erzeugt werden, dass jeder der beiden Mehrfachbeschreibungsbitströme entsprechend der getrennten Darstellungen des Audioinformationssignals in Bitströme der ersten und zweiten Klasse aufgetrennt wird. Die Bitströme der ersten und zweiten Klasse, die mit dem ersten und zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziiert sind, können dann in einem jeweiligen ersten und zweiten Subband eines ersten Seitenbands eines FM-Host-Trägers gesendet werden, während die mit dem zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziierten Bitströme der ersten und zweiten Klasse in jeweiligen ersten und zweiten Subbändern eines zweiten Seitenbands des FM-Host-Trägers gesendet werden. Die Bitströme der ersten Klasse können mit einem anderen Grad an Fehlerschutz versehen werden, als die Bitströme der zweiten Klasse, z.B. durch Verwenden verschiedener Teile eines ungleichförmigen Leistungsprofils für die entsprechenden Subbänder oder durch Platzieren der Bitströme in Subbänder mit einer unterschiedlichen Suszeptibilität gegenüber Störungen. Zwischen mindestens einer Teilmenge der vier Bitströme kann Verzögerung eingeführt werden, um beispielsweise bei Vorliegen von Abklingen eine verbesserte Leistung bereitzustellen.

[0010] Die Erfindung stellt eine Reihe von anderen signifikanten Vorteilen gegenüber herkömmlichen Systemen bereit, einschließlich zum Beispiel eines verbesserten Reichweitegebiets und verringerter Speicherplatzerfordernisse. Die Erfindung kann in zahlreichen Anwendungen implementiert werden, wie simultanem Hören und/oder Aufzeichnen von Programmen, simultaner Lieferung von Audiosignalen und Daten usw. Außerdem kann eine oder mehrere der erfindungsgemäßen Techniken auf andere Arten von Digitalinformationen angewendet werden, einschließlich beispielsweise Sprach-, Daten-, Video- und Bildinformationen. Die Erfindung kann darüber hinaus nicht nur auf Wahrnehmungscodierer, sondern auch andere Arten von Quellcodierern angewendet werden, die andere Komprimierungstechniken verwenden, welche über einen weiten Bereich von Bitraten wirken, und die mit anderen Sendekanälen als Radiorundsendekanälen verwendet werden können.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0011] Fig. 1 zeigt ein Leistungsprofil digital modulierter Signale, die mehrere Bitströme darstellen, welche über entsprechende Subbänder eines erfindungsgemäßen Frequenzbands gesendet werden.

[0012] Fig. 2 ist ein Blockdiagramm eines Senders zum Senden mehrerer Audioinformationen enthaltender Bitströme über Subbänder eines erfindungsgemäßen Frequenzbands.

[0013] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm eines Empfängers zum Wiederherstellen der gesendeten Audioinformationen unter Verwendung des Senders aus Fig. 2.

[0014] Fig. 4 ist eine Tabelle, die die Konfiguration einer Reihe verschiedener erfindungsgemäßer Mehrfachstrom-Hybrid-IBOC-(In Band On Channel)-FM-Systemen zeigt.

[0015] Fig. 5 zeigt eine Gruppe von Leistungsprofilen, die in einem erfindungsgemäßen Mehrfachstrom-IBOC-FM-System verwendet werden können.

[0016] Fig. 6 und Fig. 7 zeigen die Funktionsweise der Mehrfachstrom-IBOC-FM-Systeme **7** bzw. **9** aus Fig. 4.

[0017] Fig. 8 ist eine Tabelle, die Mischmoden in einem erfindungsgemäßen Vierfachstrom-IBOC-FM-System zeigt.

[0018] Fig. 9 zeigt Beispiele von Halbratencodes, die in den erfindungsgemäßen Mehrfachstrom-IBOC-FM-Systemen verwendet werden können.

[0019] Fig. 10 bis Fig. 13 sind Tabellen, die die Leistungszuwächse in einem beispielhaften erfindungsgemäßen Mehrfachstrom-IBOC-FM-System zeigen.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

[0020] Die Erfindung wird im Folgenden im Zusammenhang mit beispielhaften Mehrfachstromtechniken zur Verwendung beim Senden und Empfangen von Audioinformationsbits beschrieben, z.B. Audiobits, die von einem Audiocodierer erzeugt werden, wie dem PAC-(Perceptual Audio Coder)-Codierer, der in D. Sinha, J. D. Johnston, S. Dorward und S. R. Quackenbusch, „The Perceptual Audio Coder", in Digital Audio, Abschnitt 42, S. 42-1 bis 42-18, CRC Press, 1998, beschrieben wird. Es versteht sich jedoch, dass die erfindungsgemäßen Mehrfachstromtechniken auf viele andere Arten von Informationen, z.B. Video- oder Bildinformationen, und andere Arten von Codierungsvorrichtungen angewendet werden können. Außerdem kann die Erfindung in einer großen Bandbreite unterschiedlicher Arten von Kommunikationsanwendungen, einschließlich der Kommunikation über das Internet und andere Computernetzwerke, und über zelluläre Multimedia-, Satelliten-, drahtlose Verbindungs-, drahtlose Lokalschaltungs-, drahtlose Hochgeschwindigkeitszugriffs- und andere Arten von Kommunikationssystemen, verwendet werden. Die Erfindung kann mit jeder gewünschten Art von Kommunikationskanal oder -kanälen verwendet werden, wie zum Beispiel Frequenzkanälen, Zeitschlitzen, CDMA-(Code Division Multiple Access)-Schlitzen und virtuellen Verbindungen in einem asynchronen Transfermodus (ATM) oder anderen paketbasierten Sendesystemen verwendet werden.

[0021] Die Erfindung betrifft Techniken für die digitale Kommunikation über mehrere Frequenzbänder, einschliefflich beispielsweise Teilen eines Amplituden-Modulations-(AM)- oder Frequenz-Modulations-(FM)-Frequenzbands, das gegenwärtig von Radiostationen für die AM- oder FM-Radiorundsendung verwendet wird. Ein erfindungsgemäßes System kann verwendet werden, um digital modulierte Signale, welche beispielsweise Audioinformationen darstellen, über ein AM- oder FM-Frequenzband in einem geographischen Gebiet effektiv zu kommunizieren, mit dem ein analoger Host-AM- oder Host-FM-Träger assoziiert ist, dessen Frequenz ungeachtet von etwaiger Störung angrenzender Kanäle, die die digital modulierten Signale beeinträchtigen, f_c ist.

[0022] Zur effektiven Kommunikation von Audioinformationen und Behandlung jeder Störung angrenzender Kanäle, insbesondere Störung zweiter angrenzender Kanäle, wird erfindungsgemäß eine Mehrfachstromcodierung in einem IBOC-System implementiert, um mehrere Bitströme zu erzeugen, die ein die Audioinformationen enthaltendes Audiosignal darstellen, und die Bitströme werden jeweils über individuelle Subbänder in einem digitalen Seitenband gesendet. Das Audiosignal kann unter Verwendung aller empfangenen Bitströme oder einer Teilmenge davon wiederhergestellt werden, wenn einige der Subbänder durch die Störung der angrenzenden Kanäle und/oder andere nachteilige Kanalbedingungen erheblich beeinträchtigt sind. Die Audioqualität des wiederhergestellten Signals variiert, basierend zum Beispiel auf einer Messung des Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses (SNR) oder vorzugsweise auf einer wahrnehmungsbasierten Messung, mit den zugrundeliegenden empfangenen Bitströmen, die verwendet werden. Je mehr empfangene Bitströme verwendet werden, desto höher ist im Allgemeinen die Audioqualität des wiederhergestellten Signals. Vorteilhafterweise ermöglicht das erfindungsgemäße System gegenüber Systemen aus dem Stand der Technik eine gesteigerte Robustheit gegenüber nachteiligen Kanalbedingungen und eine günstigere Degradierung bei Auftreten solcher Bedingungen.

[0023] In einer zur Verwendung in einem IBOC-AM-System geeigneten veranschaulichenden Ausführungsform werden beispielsweise drei Bitströme verwendet, um ein die Audioinformationen enthaltendes Audiosignal zu kommunizieren. Erfindungsgemäß stellt einer der Bitströme die Kernaudioinformation dar und wird als „C-Strom" bezeichnet. Die anderen beiden Bitströme stellen erste und zweite Verstärkungsaudioinformation dar und werden als „E_1-Strom" bzw. „E_2-Strom" bezeichnet. Aufgrund des unten beschriebenen Aufbaus der Mehrfachstromcodierung ist das nur auf dem C-Strom basierend wiederhergestellte Signal zwar brauchbar, weist aber die geringste annehmbare Qualität auf; das auf dem C-Strom in Kombination entweder mit dem E_1-Strom oder dem E_2-Strom basierend wiederhergestellte Signal weist die höchste Qualität auf. Jedes nur auf dem E_1-Strom und/oder auf dem E_2-Strom basierend wiederhergestellte Signal ist jedoch unbrauchbar.

[0024] In Übereinstimmung mit einem Aspekt der Erfindung wird somit der C-Strom, der die Mindestkern-Audioinformationen darstellt, über das Subband **103** in Fig. 1 zwischen f_c –5 kHz und f_c +5 kHz gesendet, welches gegenüber der Störung des zweiten angrenzenden Kanals immun ist, der die erste Verstärkungsaudioinformation darstellende E_1-Strom wird über das Subband **105** zwischen f_c –15 kHz und f_c –5 kHz gesendet, welches der Störung des zweiten benachbarten Kanals unterliegt, und der die zweite Verstärkungsaudioinformation darstellende E_2-Strom wird über das Subband **107** zwischen f_c +5 kHz und f_c +15 kHz gesendet, welches ebenfalls der Störung durch den zweiten angrenzenden Kanal unterliegt. Somit könnte die Mindestkernaudioinformation ungeachtet jeder Störung des zweiten angrenzenden Kanals wiederhergestellt werden und abhängig davon,

ob die jeweiligen Unterbänder **105** und **107** durch die Störung des zweiten angrenzenden Kanals erheblich beeinträchtigt werden, durch einen beliebigen des E_1- und E_2-Stroms verstärkt werden.

[0025] Fig. 2 zeigt Sender **201** in einem die Grundsätze der Erfindung verkörpernden IBOC-AM-Kommunikationssystem. Ein die Audioinformationen enthaltendes analoges Audiosignal a(t), das von dem Sender **201** gesendet werden soll, wird dem eingebetteten Audiocodierer **203**, der unten vollständig beschrieben wird, zugeführt. Zum jetzigen Zeitpunkt reicht es aus zu wissen, dass der auf Mehrfachstromcodieren basierende Codierer den oben genannten C-Strom, E_1-Strom und E_2-Strom erzeugt, welche das analoge Signal auf den Leitungen **209a**, **209b** bzw. **209c** darstellen. Die so erzeugten Bitraten für den C-Strom, E_1-Strom und E_2-Strom betragen M kb/Sek., S1 kb/Sek. bzw. S2 kb/Sek. Wenn es sich bei dem Codierer **203** um einen Audiocodierer mit 48 kb/Sek. handelt, können M, S1 und S2 in diesem Fall beispielsweise so eingestellt werden, dass sie 16, 16 und 16 betragen. Diese Bitraten werden so ausgewählt, dass wenn alle der Ströme erfolgreich empfangen werden, die Qualität des resultierenden wiederhergestellten Signals nahe der eines einfachen Stroms ist, der von einem herkömmlichen, nicht eingebetteten Audiocodierer bei M + S1 + S2 kb/Sek. erzeugt wurde. Analog ist die Qualität des resultierenden Signals, das auf der Basis einer Kombination aus dem C-Strom und dem E_1- oder dem E_2-Strom wiederhergestellt wird, nahe der eines einfachen Stroms, der durch den herkömmlichen nicht eingebetteten Audiocodierer bei M + S1 kb/Sek. oder M + S2 kb/Sek. erzeugt wurde. Außerdem ist die resultierende Qualität, die der Kombination aus dem C-Strom mit dem E_1-Strom oder dem E_2-Strom entspricht, erheblich höher als die analoge AM-Qualität.

[0026] Der C-Strom auf der Leitung **209a**, der E_1-Strom auf der Leitung **209b** und der E_2-Strom auf der Leitung **209c** werden dem äußeren Kanalcodierer **215a**, dem äußeren Kanalcodierer **215b** bzw. dem äußeren Kanalcodierer **215c** zugeführt. Der äußere Kanalcodierer **215a** codiert den C-Strom gemäß einer wohlbekannten Vorwärtsfehlerkorrekturcodierungstechnik, z.B. der Reed-Solomon-(RS)-Codierungstechnik in diesem Fall, oder alternativ gemäß einer zyklischen Redundanzprüfungs-(CRC)-Binärblockcodierungstechnik, um die Korrektur und/oder Detektion von Fehlern in dem C-Strom nach seiner Sendung vorzusehen. Der C-Strom wird von dem Codierer **215a** auf einer Block-für-Block-Basis bearbeitet, wobei jeder Block eine vorbestimmte Anzahl von Bits aufweist. Auf eine herkömmliche Art hängt der Codierer **215a** die aus der Codierung resultierenden RS-Prüfsymbole an jeden entsprechenden Block an. Auf ähnliche Weise verarbeitet der Codierer **215b** bzw. **215c** jeweils den E_1-Strom und den E_2-Strom auf einer Block-für-Block-Basis und hängt RS-Prüfsymbole an jeden entsprechenden Block der Ströme für Fehlerkorrektur- und/oder -detektionszwecke an.

[0027] Der RS-codierte C-Strom, der RS-codierte E_1-Strom und der RS-codierte E_2-Strom werden den Trelliscodierern **221a**, **221b** bzw. **221c** zugeführt. Der Trelliscodierer **221a** verarbeitet den empfangenen RS-codierten C-Strom auf einer Symbol-für-Symbol-Basis (von einem RS-Prüfsymbol verschieden), wobei das Symbolintervall eine vorbestimmte Dauer T_1 aufweist.

[0028] Codierer **221a** codiert den empfangenen Bitstrom auf wohlbekannte Art in Übereinstimmung mit einem Trelliscode, um dem Kommunikationssystem einen sogenannten „Codierungszuwachs" bereitzustellen, der sich in Form einer Verstärkung der Immunität gegenüber zufälligen Kanalbehinderungen, wie zusätzlichem Rauschen, manifestiert ohne Einbußen an Quellbitrate oder zusätzlicher Rundsendebandbreite. Insbesondere der Codierer **221a** führt Redundanz in den empfangenen Bitstrom in Übereinstimmung mit dem Trelliscode ein, um die Verwendung einer auf maximaler Wahrscheinlichkeit basierenden Decodiertechnik an Empfänger **301** in der zu beschreibenden Fig. 3 zu ermöglichen. Diese Redundanz nimmt die Form eines oder mehrerer Zusatzbits an. Während jedes Symbolintervalls bildet der Codierer **221a** ein codiertes Wort, welches Redundanzbits und Bits von dem empfangenen RS-codierten C-Strom enthält und verwendet wird, um ein Symbol aus einer Signalkonstellation herkömmlichen Aufbaus auszuwählen.

[0029] Die ausgewählten Symbole von dem Codierer **221a** werden von dem Verschachteler **227a** verschachtelt, um die Symbole pseudozufällig zu machen. Während jedes Zeitrahmens mit einer Dauer von K_1T_1 verarbeitet das Modem **230a** die K_1 Symbole von dem Verschachteler **227a** in Übereinstimmung mit dem wohlbekannten OFDM-(Orthogonal Frequency Division Multiplexed)-Schema, wobei K_1 eine vorbestimmte Zahl ist. Auf wohlbekannte Weise erzeugt das Modem **230a** K_1 Pulsformungsträger oder digital modulierte Signale, die den K_1 Symbolen entsprechen. Die resultierenden Pulsformungsträger werden durch die Sendeschaltung **235a** über ein Subband **303** mit einem Leistungsprofil **309** gesendet. Die Sendeschaltung **235a** kann z.B. Hochfrequenz-(HF)-Aufwärtsumwandler, einen Leistungsverstärker und eine Antenne enthalten, die jeweils einen herkömmlichen Aufbau aufweisen.

[0030] Auf ähnliche Weise bildet der Trelliscodierer **221b** während jedes Symbolintervalls T_2 ein codiertes Wort, das Redundanzbits und Bits aus dem empfangenen RS-codierten E_1-Strom enthält und verwendet wird, um ein Symbol aus einer zweiten vorbestimmten Signalkonstellation auszuwählen, wobei T_2 eine vorbestimmte Dauer darstellt. Die resultierende

Sequenz ausgewählter Symbole wird durch Verschachteler **227b** verschachtelt, um die Symbole pseudozufällig zu machen. Während jedes Zeitrahmens mit einer Dauer von K_2T_2 verarbeitet das Mehrfachträgermodem **230b** K_2 Symbole von dem Verschachteler **227b** in Übereinstimmung mit dem wohlbekannten OFDM-Schema, in dem K_2 eine vorbestimmte Zahl ist. Auf wohlbekannte Weise erzeugt das Modem **230b** K_2 Pulsformungsträger oder digital modulierte Signale entsprechend den K2 Symbolen. Die sich ergebenden Pulsformungsträger werden von der Sendeschaltung **235b** über das Subband **105** mit dem Leistungsprofil **111**.

[0031] Außerdem bildet der Trelliscodierer **221c** während jedes Symbolintervalls T_3 auf ähnliche Weise ein codiertes Wort, das Redundanzbits Bits von dem empfangenen RS-codierten E_2-Strom und das verwendet wird, um ein Symbol aus einer dritten vorbestimmten Signalkonstellation auszuwählen, wobei T_3 eine vorbestimmte Dauer darstellt. Die resultierende Sequenz ausgewählter Symbole wird von dem Verschachteler **227c** verschachtelt, um die Symbole pseudozufällig zu machen. Während jedes Zeitrahmens mit einer Dauer von K_3T_3 sendet das Mehrfachträgermodem **230c** K_3 Symbole von dem Verschachteler **227b** in Übereinstimmung mit dem wohlbekannten OFDM-Schema, in dem K_3 eine vorbestimmte Zahl ist. Auf wohlbekannte Weise erzeugt das Modem **230b** K_3 Pulsformungsträger oder digital modulierte Signale entsprechend den K_3 Symbolen. Die resultierenden Pulsformungsträger werden von der Sendeschaltung **235c** über das Subband **107** mit dem Leistungsprofil **113** gesendet. Wenn der E_1-Strom und der E_2-Strom äquivalent sind und S1 = S2, was bei diesem Beispiel der Fall ist, gilt $T_2 = T_3$ und $K_2 = K_3$.

[0032] Unter Bezugnahme auf Fig. 3 empfängt der Empfänger **301** Signale, die von dem Sender **201** über die Subbänder **103**, **105** bzw. **107** gesendet werden. Die dem C-Strom, E_1-Strom und E_2-Strom entsprechenden empfangenen Signale werden von den Empfangsschaltungen **307a**, **307b** und **307c** verarbeitet, welche an den oben beschriebenen Sendeschaltungen **235a**, **235b** bzw. **235c** Umkehrfunktionen ausführen. Die Ausgabe der Schaltung **307a** umfasst die K_1-Pulsformungsträger wie gesendet, welche dem Demodulator **309a** zugeführt werden. Dementsprechend erzeugt Demodulator **309a** eine Symbolsequenz, die die Kernaudioinformation enthält. Die erzeugten Symbole werden durch den Entschachteler **313a** entschachtelt, welcher an dem oben beschriebenen Verschachteler **227a** die Umkehrfunktion durchführt. Auf der Basis der entschachtelteten Symbole und der in dem Trelliscodierer **221a** verwendeten Signalkonstellation bestimmt der Trelliscodierer **317a** auf herkömmliche Weise nach dem wohlbekannten Viterbi-Algorithmus, welches die am wahrscheinlichsten gesendeten Symbole sind, wodurch der die RS-Prüfsymbole enthaltende C-Strom, d.h. der RS-codierte C-Strom, wiederhergestellt wird. Der Außenkanaldecodierer **319a** extrahiert die RS-Prüfsymbole aus den Blöcken der RS-codierten C-Strom-Bits. Jeder Block von C-Strom-Bits kann aufgrund von Kanalunzulänglichkeiten, z.B. Störung durch die in Subband **103** gesendeten Signale, Fehler enthalten. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block geringer als ein Schwellwert ist, dessen Wert von der tatsächlich verwendeten RS-Codierungstechnik abhängt, korrigiert der Decodierer **319a** die Fehler in dem Block. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block größer als der Schwellwert ist und die Fehler durch Decodierer **319a** detektiert werden, gibt letzterer an den unten beschriebenen Mischprozessor **327** eine erste Anzeige aus, die die Fehlerdetektion angibt. Der Decodierer **319a** stellt dem eingebetteten Audiodecodierer **330** dann den wiederhergestellten C-Strom bereit.

[0033] Auf ähnliche Weise umfasst die Ausgabe von Schaltung **307b** die K_2-Pulsformungsträger, die dem E_1-Strom entsprechen, welche dem Demodulator **309b** zugeführt werden. Dementsprechend erzeugt der Demodulator **309b** eine Abfolge von Symbolen, die die erste Verstärkungsaudioinformationen enthalten. Die erzeugten Symbole werden durch den Entschachteler **313b** verschachtelt, der an dem oben beschriebenen Verschachteler **227b** die Umkehrfunktion durchführt. Auf der Basis der entschachtelten Symbole und der in dem Trelliscodierer **221b** verwendeten Signalkonstellation bestimmt der Trelliscodierer **317b** auf herkömmliche Weise nach dem Viterbi-Algorithmus, welches die am wahrscheinlichsten gesendeten Symbole sind, wodurch der die RS-Prüfsymbole enthaltende E_1-Strom, d.h. der RS-codierte E_1-Strom, wiederhergestellt wird. Der Außenkanaldecodierer **319b** extrahiert die RS-Prüfsymbole aus den Blöcken der RS-codierten E_1-Strombits und untersucht die RS-Prüfsymbole in Verbindung mit den entsprechenden Blöcken von E_1-Strom-Bits. Jeder Block von E_1-Strom-Bits kann aufgrund von Kanalunzulänglichkeiten, z.B. Störung des zweiten angrenzenden Kanals durch die in Subband **105** gesendeten Signale, Fehler enthalten. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block kleiner als der oben erwähnte Schwellwert ist, korrigiert der Decodierer **319b** die Fehler in dem Block. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block jedoch größer als der Schwellwert ist und die Fehler durch den Decodierer **319b** detektiert werden, gibt der letztere an den Mischprozessor **327** eine zweite Anzeige aus, die die Fehlerdetektion anzeigt. Der Decodierer **319b** stellt dann den wiederhergestellten E_1-Strom an den eingebetteten Audiodecodierer **330** bereit.

[0034] Außerdem umfasst die Ausgabe von Schaltung **307c** die K_3-Pulsformungsträger, die dem E_2-Strom entsprechen, welche dem Demodulator **309c** zugeführt werden. Dementsprechend erzeugt

der Demodulator **309c** eine Abfolge von Symbolen, die die ersten Verstärkungsaudioinformationen enthalten. Die erzeugten Symbole werden durch den Entschachteler **313c** verschachtelt, der an dem oben beschriebenen Verschachteler **227c** die Umkehrfunktion durchführt. Auf der Basis der entschachtelten Symbole und der in dem Trelliscodierer **221c** verwendeten Signalkonstellation bestimmt der Trelliscodierer **317c** auf herkömmliche Weise nach dem Viterbi-Algorithmus, welches die am wahrscheinlichsten gesendeten Symbole sind, wodurch der die RS-Prüfsymbole enthaltende E_2-Strom, d.h. der RS-codierte E_2-Strom, wiederhergestellt wird. Der Außenkanaldecodierer **319c** extrahiert die RS-Prüfsymbole aus den Blöcken der RS-codierten E_2-Strombits und untersucht die RS-Prüfsymbole in Verbindung mit den entsprechenden Blöcken von E_2-Strom-Bits. Jeder Block von E_2-Strom-Bits kann aufgrund von Kanalunzulänglichkeiten, z.B. Störung des zweiten angrenzenden Kanals durch die in Subband **107** gesendeten Signale, Fehler enthalten. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block kleiner als der oben erwähnte Schwellwert ist, korrigiert der Decodierer **319c** die Fehler in dem Block. Wenn die Anzahl von Fehlern in jedem Block jedoch größer als der Schwellwert ist und die Fehler durch den Decodierer **319c** detektiert werden, gibt der letztere an den Mischprozessor **327** eine dritte Anzeige aus, die die Fehlerdetektion anzeigt. Der Decodierer **319c** stellt dann den wiederhergestellten E_2-Strom an den eingebetteten Audiodecodierer **330** bereit.

[0035] Der eingebettete Audiodecodierer **330** führt die Umkehrfunktion an dem oben beschriebenen eingebetteten Audiocodierer **203** aus und ist in der Lage, den empfangenen C-Strom, E_1-Strom und E_2-Strom zu mischen, um ein Audiosignal wiederherzustellen, das a(t) entspricht. Der Mischprozessor **327** bestimmt jedoch, dass einer des E_1- und des E_2-Stroms mit dem C-Strom im Decodierer **330** gemischt werden soll. Eine solche Bestimmung basiert auf Messungen der Datenintegrität in des E_1-Stroms und des E_2-Stroms. Der Mischprozessor **327** kann auch die Brauchbarkeit des C-Stroms basierend auf einer Messung seiner Datenintegrität bestimmen und jede Audiosignalausgabe basierend auf dem C-Strom von dem Empfänger **303** steuern. Dazu stellt der Prozessor **327** erste, zweite und dritte Steuersignale bereit, die die Bestimmungen der Verwendung des C-Stroms, E_1-Stroms bzw. E_2-Stroms in dem Decodierer **330** anzeigen, um das Audiosignal wiederherzustellen. In Reaktion auf derartige Steuersignale wird der Decodierer entsprechend (a) bei der vollen Rate betrieben und verwendet alle drei Ströme, um das Audiosignal wiederherzustellen, (b) mischt er auf eine geringere Bitrate und verwendet den C-Strom in Kombination mit dem E_1-Strom oder dem E_2-Strom, um das Audiosignal wiederherzustellen, (c) wird er bei der geringsten Bitrate betrieben und verwendet nur den C-Strom, um das Audiosignal wiederherzustellen, oder (d) stellt auf der Basis des C-Stroms kein Signal wieder her. Um das Auftreten von (d) zu verhindern, können, wenn auch selten, Abhilfeverfahrensweisen implementiert werden, einschließlich des Sendens des Audiosignals über das AM-Band als ein herkömmliches analoges AM-Signal und das Wiederherstellen des Audiosignals basierend auf dem analogen AM-Signal in dem Empfänger, wenn Fall (d) eintritt.

[0036] Die Messungen, auf deren Basis der Prozessor **327** bestimmt, ob einer des C-Stroms, E_1-Stroms und E_2-Stroms beim Wiederherstellen des Audiosignals verwendet wird, enthalten beispielsweise die Frequenzen der ersten, zweiten und dritten Anzeige, die von dem Prozessor **327** empfangen werden, welche die Bitfehler in dem empfangenen C-Strom, E_1-Strom bzw. E_2-Strom anzeigen. Der tatsächliche Frequenzschwellwert, über dem der entsprechende Strom zurückgewiesen oder „stumm geschaltet" wird, hängt von der Bitrate des Stroms, der Qualitätsanforderungen der Ausgabe usw. ab.

[0037] Die vorgenannten Messungen können auch eine Schätzung eines Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses hinsichtlich jedes während des periodischen Trainings jedes der Modems **230a**, **230b** und **230c** erhaltenen Subbands enthalten. Da diese Modems Signalgebung auf mehreren Ebenen implementieren und in variierenden Kanalbedingungen betrieben werden, wird eine Trainingsequenz mit bekannten Signalen für die Entzerrung und die Pegelanpassung in den Demodulatoren **309a**, **309b** und **309c** periodisch verwendet. Eine solche Trainingsequenz kann zur Schätzung des Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses verwendet werden. Wenn eine solche Schätzung unterhalb eines annehmbaren Schwellwerts liegt, empfängt der Mischprozessor **327** ein Ausnahmesignal von dem entsprechenden Demodulator. In Reaktion auf das Ausnahmesignal und abhängig von anderen Messungen kann der Prozessor **327** ein Steuersignal ausgeben, das den Strom betrifft, welcher mit dem Demodulator assoziiert ist, um zu bewirken, dass der Decodierer **330** den Strom stumm schaltet. Da das Ausnahmesignal zeitlich mit dem Teil des Stroms ausgerichtet sein muss, der durch das unter dem Standard liegende Signal-zu-Rauschen-Verhältnis beeinträchtigt wird, wird das Verzögerungselement **335** eingesetzt, um die einem solchen Stromteil beim Durchqueren des Verschachtelers und zwischengeschalteter Decodierer auferlegte Verzögerung zu kompensieren.

[0038] Die vorstehende Hybrid-IBOC-AM-Ausführungsform veranschaulicht lediglich die Grundsätze der Erfindung. Es versteht sich daher, dass Fachleute in der Lage sein werden, zahlreiche andere Anordnungen, die die Grundsätze der Erfindung verkörpern, zu erarbeiten, und die somit innerhalb ihrer Idee und ihres Schutzumfangs liegen.

[0039] In der offenbarten Ausführungsform werden beispielsweise die drei Ströme, d.h. der C-Strom, der E_1-Strom und der E_2-Strom verwendet, um die zu sendenden Audioinformationen darzustellen. Es versteht sich jedoch, dass die verwendete Anzahl derartiger Ströme höher oder niedriger als drei sein kann.

[0040] Außerdem kann ein Audiosignal mit Digitalqualität, wie oben erwähnt, nur neu erzeugt werden, wenn der C-Strom brauchbar ist. Es versteht sich jedoch, dass das Audiosginal nach einem gemischten Ansatz auch über das AM-Band als ein analoges AM-Hostsignal gesendet werden kann. Wenn der C-Strom verloren wird und mindestes ein E_i-Strom in dem Empfänger wiederhergestellt wird, kann der E_i-Strom verwendet werden, um die analoge Audiosignalausgabe zu verstärken, wobei i generisch eine ganze Zahl größer oder gleich 1 darstellt. Der E_i-Strom kann beispielsweise verwendet werden, um dem analogen Signal Hochfrequenzinhalt und/oder Stereokomponenten zuzufügen. Wenn alle E_i- und C-Ströme verloren sind, würde der Empfänger nur für die analoge Audiosignalausgabe sorgen.

[0041] Außerdem werden in der offenbarten Ausführungsform komplementäre Quantisierer verwendet, um Bitströme mit äquivalenter Verstärkung, z.B. E_1-Strom und E_2-Strom, für Kommunikationen zu erzeugen. Auf der Basis der bisherigen Offenlegung ist es offensichtlich, dass ein Fachmann ähnliche komplementäre Quantisierer verwenden kann, um für Kommunikationen äquivalente C-Ströme, z.B. C_1-Strom und C_2-Strom zu erzeugen. In einer alternativen Ausführungsform kann a(t) beispielsweise in Übereinstimmung mit der Erfindung so codiert werden, dass sich daraus ein Verstärkungsbitstrom und C_1- und C_2-Ströme von 8 kb/Sek., 20 kb/Sek., 20 kb/Sek. bzw. 20 kb/Sek. ergeben.

[0042] In der offengelegten Ausführungsform wird ferner beispielsweise Subband **103** verwendet, um den C-Strom zu senden. Es versteht sich, dass z.B. Subband **103** auch für die Sendung von Duplikatversionen des C-Stroms oder äquivalenter C-Ströme weiter unterteilt werden kann, um der Kernaudioinformation weitere Robustheit zu verleihen.

[0043] Außerdem können die oben beschriebenen Mehrfachcodierungsschemen auf digitale Bänder unterschiedlicher Größen angewendet werden, die einen analogen Host-AM-Träger bei f_c umgeben, z.B. f_c ±5 kHz, f_c ±10 kHz, f_c ±15 kHz, f_c ±20 kHz usw.

[0044] Die oben beschriebenen Mehrfachstromcodierungsschemen können ferner auf Kommunikationen nicht nur von Audioinformationen, sondern auch von Text, Graphik, Video usw. betreffende Informationen, angewendet werden.

[0045] Außerdem sind die oben beschriebenen Mehrfachstromcodierungsschemen und die gemischte Mischtechnik nicht nur auf die Hybrid-IBOC-AM-Systeme anwendbar, sondern auch auf andere Systeme, z.B. Hybrid-IBOC-FM-Systeme, Satellitenrundsendesysteme, Internetradiosysteme, TV-Rundsendesysteme usw.

[0046] Außerdem können die Mehrfachcodierungsschemen mit einer anderen wohlbekannten Kanalcodierung als der oben beschriebenen RS-Codierung verwendet werden, wie beispielsweise der Bose-Chandhuri-Hocquenghem-(BCH)-Codierung usw., mit oder ohne Emfindlichkeits-Klassifikationen des Ungleichen Fehlerschutzes (UEP).

[0047] Außerdem implementieren die Mehrfachträgermodems **230a**, **230b** und **230c** veranschaulichend ein OFDM-Schema. Es versteht sich, dass ein Fachmann jedes andere Schema in einem solchen Modem verwenden kann, wie stattdessen beispielsweise ein Frequenzmultiplexschema, ein Zeitmultiplex-(TDM)-Schema, ein Codemultiplex-(CDM)-Schema.

[0048] Ferner müssen die Frequenzsubbänder zur Sendung einzelner Bitströme in dem Mehrfachstromcodierungsansatz nicht zusammenhängen. Außerdem müssen die auf verschiedene Subbänder angewendeten Verschachtelungstechniken nicht identisch sein.

[0049] Außerdem kann jedes Frequenzsubband in dem Mehrfachstromcodierungsansatz durch gemeinsame zeitliche Benutzung des Frequenzsubbands nach einem wohlbekannten TDMA-(Time Division Multiple Access)-Schema oder durch gemeinsame Benutzung des Codes nach einem wohlbekannten CDMA-(Code Division Multiple Access)-Schema oder durch andersartige gemeinsame Benutzung des Frequenzsubbands nach einer ähnlichen impliziten Teilung des Subbands zur Sendung mehrerer Bitströme verwendet werden.

[0050] Ferner müssen die Leistungsprofile der digital modulierten Signale in dem Mehrfachcodierungsansatz über das Sendungsband nicht gleichförmig sein.

[0051] Schließlich werden Sender **201** und Empfänger **301** hier in einer Form offenbart, in der verschiedene Sender- und Empfängerfunktionen durch diskrete Funktionsblöcke ausgeführt werden. Jede beliebige oder weitere dieser Funktionen könnten jedoch ebensogut in einer Anordnung verkörpert werden, in der die Funktionen jedes beliebigen oder weiterer dieser Blöcke oder praktisch aller dieser Funktionen beispielsweise durch einen oder mehrere entsprechend programmierte Prozessoren verwirklicht werden.

[0052] Wie zuvor erwähnt, können die oben in Verbindung mit Fig. 1 bis Fig. 3 beschriebenen Mehrfachstromsende- und -empfangstechniken sowohl auf IBOC-FM-Systeme als auch andere Arten digitaler Rundsendesysteme angewendet werden. Fig. 4 listet eine Reihe von Beispielen von Mehrfachstrom-IBOC-FM-Systemen in Übereinstimmung mit der Erfindung auf. Für jedes der Systeme spezifiziert die Tabelle in Fig. 4 die Audiocodierungsrate auf jedem von zwei Seitenbändern, die Kanalcodierungsrate des einen Seitenbands, die Kanalcodierungsrate des zweiten Seitenband, ein Leistungsprofil, eine Quellcodiererart (falls zutreffend), eine Kanalcodiererart und eine Anzahl von Strömen (MS). Wie im Folgenden ausführlicher beschreiben werden wird, stellen die veranschaulichenden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung durch die Verwendung von Mehrfachstromcodierung und -bitplatzierung Sendung unter Einführung von Zeitdiversität und ungleichförmige Leistungsprofile für verschiedene Frequenzbänder oder innerhalb eines gegebenen Frequenzbands eine verbesserte Leistung bereit. Diese Merkmale der Erfindung können signifikante Vorteile bereitstellen, einschließlich beispielsweise eines verbesserten Reichweitengebiets und verringerten Speicherplatzanforderungen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen.

[0053] Jedes der in Fig. 4 aufgelisteten Systeme verwendet sowohl einen Kanalcode, der auch als innerer Code bezeichnet wird, als auch einen äußeren Code. Zu inneren Codes, die in den Systemen aus Fig. 4 oder anderen Systemen der Erfindung verwendet werden können, gehören Block- oder Faltungscodes, so genannte „Turbo"-Codes und mit trelliscodierter Modulation assoziierte Codierung. Zu Beispielen für äußere Codes, die verwendet werden können, gehören CRCs, RS-Codes, BACH-Codes und andere Arten von linearen Blockcodes.

[0054] Bei System **1** aus Fig. 4 handelt es sich um ein Basisleitungssystem, welches eine Audiocodierung von 96 kb/Sek. in einer Einfachstromsendungskonfiguration über zwei Seitenbänder mit OFDM-Modulation verwendet. Die beiden Frequenzseitenbänder für digitales Audio werden auf jeder Seite eines analogen Host-FM-Signals gesendet. Es wird ein gleichförmiges Leistungsprofil a in Fig. 5 verwendet. Die Kanalcodierung hat die Rate 4/5, Speicher **6** auf jedem Seitenband mit einer Gesamtrate von 2/5, Speicher **6** in einer CPPC-(Complementary Punctured Pair Convolutional)-Kanalcodierungskonfiguration auf beiden Seitenbändern. Die optimale Bitplatzierung (OBP) wird in Verbindung mit dem Kanalcode verwendet. Die CPPC-Codes und die OBP-Techniken, die sich für die Verwendung in den erfindungsgemäßen IBOC-FM-Systemen eignen, werden beispielsweise in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/217,655 beschrieben, welche am 21. Dezember 1998 im Namen der Erfinder Brian Chen und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Optimal Complementary Punctured Convolutional Codes" eingereicht und dem Inhaber der vorliegenden Erfindung zugewiesen wurde.

[0055] Eine signifikante Schwierigkeit des Systems **1** ist die vorgesehene beschränkte Reichweite der digitalen Sendung, insbesondere, wenn für den Empfänger nur ein Seitenband verfügbar ist, z.B. aufgrund von erheblicher Störung. Diese Schwierigkeit bleibt auch dann signifikant, wenn weiches Kombinieren verwendet wird.

[0056] Die Systeme **2** bis **9** aus Fig. 4 verwenden eine oder mehrere der folgenden Techniken, um im Vergleich zu dem Basisleitungssystem **1** ein verbessertes Signal-zu-Rauschen-Verhältnis und somit eine verbesserte Reichweite von Digitalsignalen bereitzustellen: Mehrfachstromsendung, Mehrfachbeschreibungs-(MD)-Audiocodierung, eine Kern-/Verstärkungsart eingebetteter Audiocodierung, wie die oben in Verbindung mit Fig. 2 und Fig. 3 beschriebene, eine niedrigere Basisaudiocodierungsrate in einem Seitenband, Bitfehlerempfindlichkeit für ungleichen Fehlerschutz (UEP), modifizierte Leistungsprofile auf den Seitenbändern und eine vergrößerte Seitenbandgesamtleistung. Das Absenken der PAC-Audiocodierungsrate pro Seitenband auf 64 kb/Sek. stellt zusätzliche Bandbreite bereit, die ausreicht, um die Verwendung geringerratiger Kanalcodes zuzulassen. In den Systemen **2** bis **9** aus Fig. 4 gestattet die Verwendung einer Audiocodierungsrate von 64 kb/Sek. auf mindestens einem der Seitenbänder die Verwendung eines erheblich leistungsstärkeren Kanalcodes, d.h. einen Faltungskanalcode mit einer Rate von 1/2, anstelle des 4/5-Codes des Basisleitungssystems **1**.

[0057] Es können auch andere erfindungsgemäße Techniken verwendet werden, um die Leistung weiter zu verbessern. In einem oder mehreren der Systeme aus Fig. 4 kann beispielsweise eine Steigerung der Zeitdiversität in dem Frequenzband und dem Bitstrom bereitgestellt werden, indem zwischen den Bitströmen in verschiedenen Seitenbändern und/oder innerhalb desselben Seitenbands eine Verzögerung eingeführt wird. Eine solche Anordnung kann verwendet werden, um bei Vorliegen von Abklingen eine verbesserte Leistung bereitzustellen. Die für die Verwendung mit der vorliegenden Erfindung geeigneten Zeitdiversitätstechniken werden ausführlicher in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/102,776 beschrieben, die am 23. Juni 1998 im Namen der Erfinder Robert L. Cupo et al. unter dem Titel „Broadcast Method Having Time and Frequency Diversity" eingereicht und dem Inhaber der vorliegenden Erfindung zugewiesen wurde.

[0058] Die Erzeugung von codierten Strömen mehrerer Quellen kann unter Verwendung von PAC-Codierungstechniken wie der Bitstromteilung, der Mehr-

fachbeschreibungscodierung und eingebetteter Codierung erfolgen. Ein besonderes Mehrfachstromsendesystem kann eine oder mehrere dieser Techniken einsetzen, um eine Mehrfachstromdarstellung eines Quellsignals zu erzeugen. Bei der Bitstromteilung werden Quellbits in zwei oder mehrere Klassen unterschiedlicher Empfindlichkeit gegenüber Bitfehlern unterteilt, wobei jede mit einem anderen Grad an Fehlerschutz nach einer UEP-Technik versehen wird. Die Erfindung kann mit UEP-Techniken verwendet werden, wie sie in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/022,114 die am 11. Februar 1998 im Namen der Erfinder Deepen Sinha und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Unequal Error Protection For Perceptual Audio Coders" eingereicht wurde, und in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/163,656, die am 30. September 1998 im Namen der Erfinder Deepen Sinha und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Unequal Error Protection for Digital Broadcasting Using Channel Classification" eingereicht wurde, die beide dem Inhaber der vorliegenden Erfindung zugewiesen wurden, beschrieben werden.

[0059] Bei der Mehrfachbeschreibungscodierung werden Quellbits in zwei oder mehr äquivalente Ströme codiert, so dass jeder dieser Ströme sowohl unabhängig als auch in Kombination mit anderen Unterströmen decodiert werden kann, um andere Grade wiederhergestellter Audioqualität bereitzustellen. Bei der eingebetteten Codierung werden Quellbits mit einem Kern- oder wesentlichen Bitstrom und einem oder mehreren Verstärkungsbitströmen codiert. Beispielhafte Mehrfachbeschreibungs- und eingebettete Codierungstechniken, die sich zur Verwendung bei der vorliegenden Erfindung eignen, werden in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/280,785 beschrieben, die am 29. März 1999 im Namen der Erfinder Peter Kroon und Deepen Sinha unter dem Titel „Multirate Embedded Coding of Speech and Audio Signals" eingereicht und dem Inhaber der vorliegenden Anmeldung zugewiesen wurde.

[0060] Die in Fig. 4 aufgelisteten Leistungsprofile werden in Fig. 5 dargestellt. Die hier als a+ und a'+ bezeichneten Leistungsprofile entsprechen den Leistungsprofilen a bzw. a' bei einer gleichförmigen Leistungssteigerung von 3 dB über das gesamte Seitenband. Fig. 5 zeigt nur ein einzelnes Seitenband jedes der Leistungsprofile und es versteht sich, dass das andere Seitenband auf dieselbe Weise konfiguriert werden kann. Erhöhte Leistungsprofile innerhalb der Profile werden auf einen Leistungspegel P bezogen und als ein Vielfaches von P ausgedrückt, z.B. handelt es sich bei 2,5 P um den erhöhten Pegel in dem Profil b. Die erhöhten Leistungspegel werden auch in dB bezüglich Pegel P ausgedrückt, d.h. Pegel P entspricht 0 dB. Die in Fig. 5 gezeigten Leistungspegel sind nur Beispiele und es können zahlreiche andere Arten von Profilen verwendet werden. Das bestimmte ausgewählte Profil wird allgemein von bestimmten anwendungsspezifischen Faktoren abhängen, wie der Selbststörung und/oder der Störung durch angrenzende Kanäle. Zusätzliche Einzelheiten hinsichtlich der ungleichförmigen Leistungsprofile, die sich für die Verwendung mit der vorliegenden Erfindung eignen, gehen aus der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/064,938 hervor, die am 22. April 1998 im Namen der Erfinder Brian Chen und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Technique for Communicating Digitally Modulated Signals Over an Amplitude-Modulation Frequency Band" eingereicht und dem Inhaber der vorliegenden Anmeldung zugewiesen wurde.

[0061] In den Fig. 6 und Fig. 7 wird die Funktionsweise der Systeme **7** und **9** aus Fig. 4 näher beschrieben. Die Systeme **7** und **9** stellen bevorzugte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen IBOC-FM-Systems bereit. Beide Systeme verwenden eine Gesamtquellcodierungsrate von 128 kb/Sek., einen Faltungskanalcode mit einer Rate von 1/2, Mehrfachbeschreibungscodierung, Zwei-Ebenen-UEP und mindestens vier Bitströme. Unter Bezugnahme auf Fig. 6 wird ein Audiosignal zunächst unter Verwendung einer Mehrfachbeschreibungscodierungstechnik codiert, um zwei Ströme S_1 und S_2 jeweils bei 64 kb/Sek. bereitzustellen. Die Ströme S_1 und S_2 werden als Seitenbänder **604** bzw. **606** auf einem Host-FM-Signal **602** gesendet. Die Sendung der Mehrfachbeschreibungsströme S_1 und S_2 auf verschiedenen Frequenzbändern stellt erfindungsgemäß sowohl Informations- als auch Zeitdiversität bereit. Auch wenn Fig. 4 anzeigt, dass das System **7** die Leistungsprofile b, c, d oder e aus Fig. 5 verwenden kann, verwendet die in Fig. 6 dargestellte Ausführungsform das Leistungsprofil b. Dieses Profil enthält die Subbänder A, B und C in jedem der Seitenbänder **604** und **606** wie gezeigt.

[0062] Die beiden Ströme S_1 und S_2 aus Fig. 6 werden unter Verwendung eines Bitstromklassifizierers in zwei Klassen, Klasse I und Klasse II geteilt. Die Bits der Klasse I stellen die wichtigeren Audiobits dar und werden mit einem höheren Grad an Fehlerschutz versehen, indem sie mit dem hochleistenden Subband B des ungleichförmigen Leistungsprofils b assoziiert werden. Die Bits der Klasse II, die für die wiederhergestellte Audioqualität von geringerer Bedeutung sind als die Bits der Klasse I, werden mit einem geringeren Grad versehen, indem sie mit den geringer leistenden Subbändern A und C des Leistungsprofils b assoziiert werden. Die Subbänder A, B und C jedes Seitenbands **604** und **606** werden unter Verwendung eines inneren Faltungscodes mit einer Rate von 1/2 und einem äußeren CRC-Code zur Sendung codiert. Die Sendung des Systems **7** kann eine Implementation mit vier oder sechs Strömen verwenden.

[0063] Es sei darauf hingewiesen, dass die Gesamt-

verstärkung für die Bits der Klasse I bei dem Leistungsprofil b sich in der Größenordnung von 8 bis 9,4 dB auf einem Gausschen Kanal befindet. Es wird angenommen, dass diese Verstärkungszahlen bei abklingenden Kanälen stärker sind. Bei bestimmten Anwendungen kann ein Leistungsprofil des Typs c in Fig. 5 verwendet werden, um zwischen den Klassen I und II ein geeignetes Gleichgewicht zu halten.

[0064] Fig. 6 zeigt auch einen Teil eines Empfängers zum Decodieren der mehreren Ströme aus System **7**. Der Empfänger enthält Viterbi-Decodierer der Rate 1/2 **612**, **614**, **616** und CRC-Decodierer **632**, **634** und **636** zur Verwendung bei der Decodierung des jeweiligen inneren und äußeren Codes für den Strom S_1, und Viterbi-Decodierer der Rate 1/2 **622**, **624**, **626** und CRC-Decodierer **642**, **644** und **646** zur Verwendung bei der Decodierung des jeweiligen inneren Codes und äußeren Codes für den Strom S_2. Bei der Implementation mit vier Strömen, die in Fig. 6 mit durchgezogenen Linien dargestellt wird, werden die Subbänder A und C des Seitenbands **604** in dem Viterbi-Decodierer **612** und dem CRC-Decodierer **632** decodiert, das Subband B des Seitenbands **604** wird in dem Viterbi-Decodierer **614** und dem CRC-Decodierer **634** decodiert und die Subbänder A und C des Seitenbands **606** werden in dem Viterbi-Decodierer **614** und dem CRC-Decodierer **634** decodiert, die Subbänder A und C des Seitenbands **606** werden in dem Viterbi-Decodierer **622** und dem CRC-Decodierer **642** decodiert und dass Subband B des Seitenbands **606** wird in dem Viterbi-Decodierer **624** und dem CRC-Decodierer **644** decodiert. Die in Fig. 6 mit gestrichelten Umrissen gezeigten Decodierer **616**, **626**, **636** und **646** werden in dieser Implementation nicht verwendet und können aus dem Empfänger entfernt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Länge des CRC-Blocks in den in Fig. 6 und Fig. 7 dargestellten Systemen unter Verwendung herkömmlicher Techniken optimiert werden kann. Eine Liste von Viterbi-Algorithmen, die in dem Gebiet wohlbekannt sind, kann in dem Decodierprozess ebenfalls verwendet werden.

[0065] Die Sechs-Strom-Implementation des Empfängers für System **7** decodiert das Subband C des Seitenbands **604** in dem Viterbi-Decodierer **616** und dem CRC-Decodierer **636** und das Subband A des Seitenbands **606** in dem Viterbi-Decodierer **626** und dem CRC-Decodierer **646**. Wie in den vorstehenden Implementationen wird das Subband A des Seitenbands **604** in dem Viterbi-Decodierer **612** und dem CRC-Decodierer **632** decodiert und das Subband C des Seitenbands **606** in dem Viterbi-Decodierer **622** und dem CRC-Decodierer **642** decodiert. In jeder dieser Beispielimplementationen werden die Ausgaben der CRC-Decodierer an einen PAC-Decodierer **650** angelegt, der wiederhergestellte Audioausgabesignale erzeugt, die an die Lautsprecher **652**, **654** angelegt werden.

[0066] Unter Bezugnahme nun auf Fig. 7 wird ein Audiosignal zuerst unter Verwendung einer Mehrfachbeschreibungscodierungstechnik codiert, um zwei Ströme S_1 und S_2 jeweils bei 64 kb/Sek. zu erzeugen. Die Ströme S_1 und S_2 werden auf einem Host-FM-Signal **702** als Seitenbänder **704** bzw. **706** gesendet. Auch wenn Fig. 4 anzeigt, dass das System **7** das Leistungsprofil a oder a+ aus Fig. 5 verwenden kann, verwendet die in Fig. 7 dargestellte Ausführungsform das Leistungsprofil a+. Dieses Profil enthält die Subbänder A' und B' in jedem der beiden Seitenbänder **704** und **706** wie gezeigt.

[0067] Wie bei System **7** werden die beiden Ströme S_1 und S_2 in System **9** unter Verwendung eines Bitstromklassifizierers in zwei Klassen, Klasse I und Klasse II geteilt. Die Bits der Klasse I stellen die wichtigeren Audiobits dar und werden mit einem höheren Grad von Fehlerschutz versehen, indem sie dem Subband B' des gleichförmigen Leistungsprofils a' assoziiert werden. Das Subband B1 stellt das Subband des Leistungsprofils dar, welches für Störungen, z.B. Störungen durch den zweiten angrenzenden Kanal, weniger anfällig ist. Die Bits der Klasse II, die für die wiederhergestellte Audioqualität von geringerer Bedeutung sind als die Bits der Klasse I, werden mit einem geringeren Leistungspegel versehen, indem sie mit dem Subband A' des Leistungsprofils a+ assoziiert werden. Anders ausgedrückt werden die empfindlichsten Bits in dem Subband B' auf beiden Seiten des Hosts übertragen und die am wenigsten empfindlichen Bits werden in Subband A' auf beiden Seiten übertragen. Diese UEP-Anordnung macht sich den Umstand zu Nutze, dass die ersten angrenzenden Störungen im Allgemeinen in Subband A' einen höheren Grad an Störung verursachen als in Subband B'. Durch Ausnutzung von Störungsvariationen über die Seitenbänder werden aus dieser Art von Frequenzteilungs-UEP somit Leistungszuwächse erzielt. Die Subbänder A' und B' jedes Seitenbands **704** und **706** werden unter Verwendung eines inneren Faltungscodes mit der Rate 1/2 und eines äußeren CRC-Codes zur Sendung codiert. Die Sendung des Systems **9** verwendet eine Implementation mit vier Strömen.

[0068] Fig. 7 zeigt auch einen Teil eines Empfängers für die Decodierung der mehreren Ströme aus System **9**. Der Empfänger enthält Viterbi-Decodierer **712**, **714** mit einer Rate von 1/2 und CRC-Decodierer **732**, **734** zur Verwendung bei der Decodierung des jeweiligen inneren und äußeren Codes für den Strom S_1 und Viterbi-Decodierer **722**, **724** mit einer Rate von 1/2 und CRC-Decodierer **742**, **744** zur Verwendung bei der Decodierung des jeweiligen inneren und äußeren Codes für den Strom S_2. In der Implementation mit vier Strömen wird das Subband A' des Seitenbands **704** in dem Viterbi-Decodierer **712** und dem CRC-Decodierer **732** decodiert, das Subband B' des Seitenbands **704** wird in dem Viterbi-Decodierer

714 und dem CRC-Decodierer **734** decodiert, das Subband A' des Seitenbands **706** wird in dem Viterbi-Decodierer **722** und dem CRC-Decodierer **742** decodiert und das Subband B' des Seitenbands **706** wird in dem Viterbi-Decodierer **724** und dem CRC-Decodierer **744** decodiert. Die Ausgaben der CRC-Decodierer **732**, **734**, **742** und **744** werden an einen PAC-Decodierer **750** angelegt, der wiederhergestellte Audioausgabesignale zur Anlage an die Lautsprecher **752**, **754** erzeugt. Es sei darauf hingewiesen, dass die in Fig. 6 und Fig. 7 dargestellten beispielhaften Systeme so konfiguriert sein können, dass sie zwischen die verschiedenen Mehrfachbitströme in Übereinstimmung mit den vorgenannten Zeitdiversitätstechniken Verzögerung einführen.

[0069] Die Systeme **7** und **9** enthalten wie oben beschreiben verschiedene eingebaute Digitalmischmoden, die eine günstige Degradierung bei Vorhandensein von Störungen oder anderen Arten von Sende- und/oder Empfangsproblemen bereitstellen. Fig. 8 ist eine Tabelle, die diese Mischmoden für ein IBOC-FM-System mit vier Strömen zusammenfasst, wie beispielsweise für die Vier-Strom-Implementationen der Systeme **7** und **9**. Zu Zwecken von Fig. 8 sind die Ströme der Klasse I und der Klasse II, die mit einem der Seitenbänder assoziiert sind, als Klasse I' bzw. Klasse II' bezeichnet, um sie von den mit dem anderen Seitenband assoziierten Bits der Klasse I und der Klasse II zu unterscheiden. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass jede zu Zeitdiversitätszwecken zwischen die Bitströme eingeführte Verzögerung durch den Empfänger entfernt worden ist.

[0070] Die erste Spalte der Tabelle aus Fig. 8 spezifiziert die verfügbaren Ströme, d.h. die Ströme, die in einer gegebenen Sendesituation ohne eine signifikante Verschlechterung empfangen werden können, und die zweite Spalte gibt die entsprechende Qualität des wiederhergestellten Audios an. Wenn beispielsweise Ströme verfügbar sind, die den Klassen I, II, I' und II' entsprechen, befindet sich die wiederhergestellte Audioqualität im Bereich einer Einstrom-PAC-Qualität von 96 kb/Sek. Die Verfügbarkeit von Strömen, die den Klassen (I + II + II') oder den Klassen (II + I' + II') entsprechen, führt zu einer Qualität, die besser als eine Einstrom-PAC-Qualität von 64 kb/Sek. ist. Die Verfügbarkeit von Strömen, die den Klassen (I + II) oder den Klassen (I' + II') entsprechen, führt zu einer besseren Qualität als der analogen FM-Qualität. Die mit der Verfügbarkeit von Strömen, die den Klassen (I + I') entsprechen, assoziierte Qualität ist unbekannt, dagegen wird davon ausgegangen, dass die mit der Verfügbarkeit von Strömen, die den Klassen I oder den Klassen I' entsprechen, assoziierte Qualität erheblich verschlechtert ist.

[0071] Fig. 9 ist eine Tabelle, die Beispiele von Kanalcodes mit einer Rate von 1/2 zeigt, die in den Systemen **2** bis **9** verwendet werden. M ist der Codespeicher und d_f ist der freie Hamming-Abstand. Die Codeerzeuger werden in oktaler Form gegeben und es werden auch Gewichtspektren gegeben (Ereignis a_d, c_d Bit). Es sei darauf hingewiesen, dass die Codes mit einer Rate von 1/2 mit M = 7 und M 0 9 besonders geringe Gewichte aufweisen. Es wird geschätzt, dass eine Auswahl von M = 8, d.h. 256 Zuständen, für die Auswahl einen angemessenen Komplexitätsgrad darstellt. Eine Reihe der in der Tabelle aus Fig. 9 gezeigten Codes der Rate 1/2 wurden aus T. Ottosson, „Coding, Modulation and Multiuser Decoding for DS-CDMA Systems", Diss., Chalmers University of Technology, Gothenburg, Schweden, November 1997 entnommen. Es könnten natürlich viele andere Arten und Anordnungen von Codes in dem erfindungsgemäßen IBOC-FM-System verwendet werden.

[0072] In Fig. 10 bis Fig. 13 werden Leistungsverbesserungen in einem beispielhaften erfindungsgemäßen Mehrfachstrom-IBOC-FM-System gezeigt. Fig. 10, Fig. 11 und Fig. 12 zeigen Verstärkungen des Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses (SNR), die sich aus der Verwendung von Codes der Rate 1/2, 2/3 bzw. 3/4 ergeben, im Vergleich zu dem Code der Rate 4/5, M = 6, des Basisleitungssystems **1**. In jedem Fall wird ein gleichförmiges Leistungsprofil a aus Fig. 5 und ein Gausscher Kanal angenommen. In Fig. 10 werden die Verstärkungen für das einseitige System der Rate 4/5 mit d_f = 4 und für das entsprechende zweiseitige System der Rate 2/5 mit d_f = 11 gezeigt. Die Codes der Rate 2/3 und 3/4 sind aus G. C. Clark Jr. und J. B. Cain, „Error Correction Coding for Digital Communication", Plenum Press, New York 1981 entnommen.

[0073] Es sei darauf hingewiesen, dass die Audiocodiererrate bei einem System, in dem die Basisleitungsrate in einem Seitenband auf die Rate 1/2 geändert wurde, wobei alle anderen Parameter unverändert bleiben, 60 kb/Sek. beträgt. Die Verwendung einer Audiocodiererrate von 64 kb/Sek. in einem solchen System erfordert eine Kanalcodierungsrate von 8/15. Auch wenn solche Codes verfügbar sind, werden diese Codes allgemein mit RCPC-(Rate Compatible Punctured Code)-Beschränkungen durch Punktierung eines Stammcodes der Rate 1/3 optimiert. Unter Verwendung eines anderen Stammcodes, z.B. eines Stammcodes der Rate 1/2 können Codes erhalten werden, die eine bessere Leistung bieten.

[0074] Aus Fig. 10 ist ersichtlich, dass ein einseitiges System der Rate 1/2 mit 60 kb/Sek. und M = 6 mit dem System der Rate 2/5 mit 96 kb/Sek. und M = 6 hinsichtlich der asymptotischen Fehlerratenleistung des Gausschen Kanals vergleichbar ist. Außerdem ist ersichtlich, dass die Systeme mit einer Rate von 1/2 mit M > 8 den Systemen mit einer Rate von 2/5 mit M = 6 überlegen sind. Außerdem ist das doppel-

seitige System der Rate 120 kb/Sek. mit der Rate 1/2 und M = 6 mit dem System der Rate 2/5 mit 96 kb/Sek. und M = 6 in der asymptotischen Fehlerratenleistung für den Gausschen Kanal vergleichbar. Ausführungsformen der Erfindung, in denen ausreichend Bandbreite für eine Rate von 1/2 vorliegt, können stattdessen beispielsweise einen Code der Rate 8/15 verwenden, was zu etwas geringeren Verstärkungen des SNR führt. Um für eine derartige Ausführungsform akzeptable Codes der Rate 8/15 zu bestimmen, kann eine einfache Codesuche durchgeführt werden.

[0075] Fig. 13 fasst Leistungsmessungen auf der Basis der Simulation der oben beschriebenen Mehrfachstrom-IBOC-FM-Systeme zusammen. Bei dem Gausschen Kanal sagen die Simulationen eine Verstärkung von ungefähr 8 dB in dem Subband B bei einem Code der Rate 1/2 und einem Audiocodierer von 60 kb/Sek. voraus. In den Subbändern A und C liegt die SNR-Verstärkung etwa 4 dB über dem Code der Basisleitung mit 96 kb/Sek. und einer Rate von 4/5 bei dem gleichförmigen Leistungsprofil a. Fig. 13 zeigt die geschätzten Verstärkungen des Kanal-SNR (E, N_o) über das Basisleitungssystem **1** der Rate 4/5. Die beiden UEP-Fehlerwahrscheinlichkeiten in dem Subband B (oder B') und in den Subbändern A plus C (oder A') werden als P_I bzw. P_{II} bezeichnet.

[0076] Fig. 13 zeigt an, dass für das Leistungsprofil b die beiden Fehlerratenwahrscheinlichkeiten P_I und P_{II} ungefähr 4 dB auseinander liegen. Es wird angenommen, dass das Gesamtsystem in diesem Fall durch P_{II} in der Leistung beschränkt sein wird. Bei dem Leistungsprofil c sind die beiden Fehlerwahrscheinlichkeiten näher (und beide besser) als bei dem Profil b. Das Leistungsprofil c kann daher in Anwendungen, in denen die Störpegel annehmbar sind, eine zu bevorzugende Lösung sein. Die Form des Profils c kann in einer bestimmten Anwendung auch nach Bedarf weiter modifiziert werden. Eine solche mögliche Modifikation ist das Profil d aus Fig. 5, welches eine geringere Gesamtleistungssteigerung des Seitenbands aufweist als Profil c sowie P_I- und P_{II}-Werte, die sogar enger zusammen liegen, als bei Profil c. Die Optimierung der Form des Leistungsprofils kann auf einer Reihe von Faktoren basieren, einschließlich der Störung des Hostsignals, erste angrenzende Störpegel und FCC-Emissions-Masken oder andere Erfordernisse. Bei abklingenden Kanälen können die Verstärkungen aus Fig. 13 als geringere Grenzen angesehen werden.

[0077] Das UEP mit zwei Ebenen aus den in Fig. 13 zusammengefassten Simulationen wird unter Verwendung desselben Codes mit einer Rate von 1/2 in beiden Klassen I und II mit unterschiedlichen Durchschnittsleistungspegeln in den beiden Klassen erhalten. Somit gibt es bei diesem Ansatz für das gleichförmige Leistungsprofil a keine UEP-Verstärkung. In anderen Ausführungsformen der Erfindung kann eine UEP-Verstärkung erzielt werden, indem zwei separate Kanalcodes eingesetzt werden, deren Raten höher (Klasse II) und niedriger (Klasse I) als 1/2 sind, bei einer Durchschnittsrate von 1/2. Ein solcher Ansatz kann z.B. mit einer gleichförmigen Leistungssteigerung von 3 dB über das gesamte Seitenband, d.h. Leistungsprofil a+, verwendet werden, was zu einem ähnlichen Ergebnis führt, wie durch das Leistungsprofil d bereitgestellt wird. Die Kanalcodes können in einer solchen Ausführungsform durch Codesuche gefunden werden. Alternativ kann ein UEP-Frequenzteilungs-Ansatz verfolgt werden, so dass derselbe Code der Rate 1/2 in den Subbändern B und (A+C) verwendet wird. In diesem Fall gibt es keine Verstärkung auf einem Kanal mit gleichförmigem Rauschen, aber es werden Verstärkungen z.B. für die erste benachbarte Störungsart erzielt. Weitere Einzelheiten hinsichtlich dieses UEP-Frequenzteilungs-Ansatzes können der oben genannten US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 09/163,656 entnommen werden.

[0078] Für die Tonanzahl und die Struktur des/der OFDM-Modems zur Verwendung in den in Fig. 4 aufgelisteten veranschaulichenden Mehrfachstromsystemen gibt es eine Reihe von verschiedenen Optionen. Eine mögliche Implementation verwendet zwei Seitenbänder von 70 kHz mit ungefähr 90 Tönen auf jeder Seite. In dieser Beispielimplementation wird eine einfache 512 schnelle Fouriertransformation (FFT) verwendet und die Anzahl der Töne pro kHz beträgt 1,29. Andere Implementationen verwenden zweimal so viele Töne, d.h. ungefähr 180 Töne pro Seitenband und eine einfache 1024 FFT mit null Füllungen. Die Symbolzeit in dieser Implementation ist zweimal so lang wie in dem vorhergehenden Beispiel. Außerdem wird der relative Overhead für die zyklische Erweiterung um einen Faktor von zwei reduziert. Die Anzahl von Tönen pro kHz in dieser Implementation beträgt 2,57. Noch eine andere Option besteht in der Verwendung von zwei separaten OFDM-Modems für das obere und untere Seitenband. Bei beispielsweise zwei separaten 256 FFTs ist der relative Overhead nun sogar geringer als bei der einfachen 1024 FFT mit null Füllungen. In diesem Fall beträgt die Anzahl der Töne 3,66. Auch wenn die FFTs einfacher sind, müssen zwei Modems verwendet werden.

[0079] Bei Verwendung der ungleichförmigen Leistungsprofile aus Fig. 5 ist es wichtig, dass der Aufbau des Verschachtelers das Leistungsprofil berücksichtigt, auch wenn es sich bei dem Kanal um einen Gausschen Kanal handelt. Dies liegt daran, dass verschiedene Symbole unterschiedliche Leistungspegel in den OFDM-Tönen aufweisen können. Wenn ein vollständiges Fehlerereignis des Faltungscodes nur mit Symbolen assoziiert ist, die in Tönen eines geringen Leistungspegels gesendet werden, wird die Leis-

tung verschlechtert. Zur Erzielung des „Durchschnittsleistungspegel"-Verhaltens der Codes sollten die Fehlerereignisse in der Regel aus einer Mischung von hohen und niedrigen Leistungspegeln basieren. Glücklicherweise sind dominierende Faltungscode-Fehlerereignisse in der Regel von kurzer Dauer. Zu weiteren Aspekten bei dem Aufbau des Verschachtelers zählt das zeit-selektive und frequenz-selektive Abklingen. Es gibt keine absolute Garantie, dass das Durchschnittsleistungspegel-Verhalten erzielt wird, es sei denn, Faltungscode und Verschachteler werden zusammen aufgebaut, und es kann möglicherweise zu einem geringen Verlust kommen.

[0080] Alternative Ausführungsformen der Erfindung können andere Arten von äußeren Codes, z.B. RS, BCH oder andere lineare Blockcodes, andere Arten von inneren Codes, z.B. verschiedene Arten von Faltungscodes, Turbocodes oder Codierung, die mit trelliscodierter Modulation assoziiert ist, und eine Vielzahl anderer Arten der Verschachtelung, z.B. Blockverschachtelung, Faltungsverschachtelung oder Zufallsverschachtelung verwenden. Die alternativen Ausführungsformen könnten außerdem nur einen inneren Code und keinen äußeren Code verwenden oder umgekehrt. Ausführungsformen, die einen fehlerkorrigierenden äußeren Code vom RS-, BCH- oder einen anderen ähnlichen Typ verwenden, können den Code natürlich zur Fehlerkorrektur verwenden.

[0081] Es sei darauf hingewiesen, dass ein oder mehrere der mit einem bestimmten Hostträgersignal assoziierten Frequenzbänder in einer Ausführungsform der Erfindung so angeordnet sein können, dass sie den Träger überlappen. Eine solche Ausführungsform könnte die z.B. in der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 08/704,470, die am 22. August 1996 im Namen der Erfinder Haralabos C. Papadopolous und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Technique for Simultaneous Communications of Analog Frequency-Modulated and Digitally Modulated Signals Using Precanceling Scheme" eingereicht und der US-Patentanmeldung mit der Seriennr. 08/834,541, die am 18. März 1997 im Namen der Erfinder Brian Chen und Carl-Erik W. Sundberg unter dem Titel „Band Insertion and Precancellation Technique for Simultaneous Communications of Analog Frequency-Modulated and Digitally Modulated Signals" eingereicht, und die beide dem Inhaber der vorliegenden Erfindung zugewiesen wurden, beschriebenen Techniken verwenden.

[0082] Die Erfindung kann auf die Decodierung einer großen Bandbreite von Rahmenformaten, einschließlich TDM-(Time Division Multiplexed)-, FDM-(Frequency Division Multiplexed)- und CDM-(Code Division Multiplexed)-Formaten, sowie auf Kombinationen aus TDM, FDM, CDM und anderen Arten von Rahmenformaten angewendet werden. Außerdem können zahlreiche unterschiedliche Arten von Modulationstechniken in Verbindung mit der Erfindung verwendet werden, auch wenn sie hier nicht ausführlicher beschrieben werden, dazu zählen beispielsweise Einfachträgermodulation in jedem Kanal oder Mehrfachträgermodulation, z.B. OFDM, in jedem Kanal. Ein gegebener Träger kann unter Verwendung jeder gewünschten Art von Modulationstechnik moduliert werden, einschließlich z.B. einer Technik wie der m-QAM, m-PSK- oder der trelliscodierten Modulation.

[0083] Wie oben erwähnt kann eine oder mehrere der erfindungsgemäßen Techniken auf die Sendung von anderen Digitalinformationen außer Audio, wie beispielsweise Sprache, Daten, Video, Bilder oder andere Arten von Informationen angewendet werden. Obwohl die veranschaulichenden Ausführungsformen Audioinformationen, wie die durch einen PAC-Codierer erzeugten, verwenden, ist die Erfindung allgemeiner auf Digitalinformationen jeder Form und durch jede Art von Komprimierungstechnik erzeugt anwendbar. Der eingebettete Audiocodierer in dem beispielhaften Sender **201** aus Fig. 2 kann beispielsweise alternativ als ein Mehrfachbeschreibungsaudiocodierer oder als eine Kombination aus Mehrfachbeschreibungsaudiocodierer und eingebettetem Audiocodierer implementiert sein. Die Erfindung kann in zahlreichen Anwendungen implementiert sein, wie gleichzeitigem Hören und/oder Aufzeichnen, gleichzeitiger Lieferung von Audio und Daten usw. Diese und zahlreiche weitere alternative Ausführungsformen und Implementationen innerhalb des Schutzumfangs der folgenden Ansprüche werden Fachleuten offensichtlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bearbeiten mindestens eines Informationssignals für die Übertragung in einem Kommunikationssystem, mit den folgenden Schritten:

Erzeugen mehrerer Bitströme (S_1, S_2) aus dem Informationssignal, wobei jeder der Bitströme einer separaten Darstellung des Informationssignals entspricht und in mehrere Bitklassen (I, II) aufgetrennt wird; und

Senden der Bitströme in entsprechenden Teilen eines oder mehrerer Frequenzbänder (**604**, **606** oder **704**, **706**), die mit einem Host-Trägersignal (**602** oder **702**) assoziiert sind, wobei eine gegebene der Bitklassen, die mit einem der Bitströme assoziiert ist und eine größere Empfindlichkeit gegenüber Störungen als eine andere der mit diesem Bitstrom assoziierten Bitklassen aufweist, in einem entsprechenden einzelnen der Teile des einen oder der mehreren Frequenzbänder gesendet wird, der so konfiguriert wird, daß er eine geringere Suszeptibilität gegenüber Störungen als ein anderer der Teile aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Host-Trägersignal ein FM-Trägersignal ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Informationssignal ein Audiosignal umfaßt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Sendens umfaßt, die Bitströme so zu senden, daß mindestens einer der Bitströme mit einer anderen Übertragungskenngröße als ein anderer der Bitströme gesendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die andere Übertragungskenngröße einen anderen Grad des Fehlerschutzes und/oder einen anderen Teil eines ungleichförmigen Sendeleistungsprofils umfaßt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Erzeugens umfaßt, die Informationssignale darstellende erste und zweite Mehrfachbeschreibungsbitströme zu erzeugen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt des Sendens umfaßt, den ersten Mehrfachbeschreibungsbitstrom auf einem ersten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden und den zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom auf einem zweiten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei der Schritt des Erzeugens ferner umfaßt, jeden des ersten und des zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstroms in Bitströme mindestens einer ersten und einer zweiten Klasse aufzutrennen, wobei jeder der Bitströme der ersten und zweiten Klasse einem verschiedenen Grad des Fehlerschutzes entspricht.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Schritt des Sendens ferner umfaßt, die mit dem ersten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziierten Bitströme der ersten und zweiten Klasse in einem jeweiligen ersten und zweiten Subband des ersten Seitenbands zu senden und die mit dem zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziierten Bitströme der ersten und zweiten Klasse in einem jeweiligen ersten und zweiten Subband des zweiten Seitenbands zu senden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei jedes der Subbänder des ersten und/oder des zweiten Seitenbands mit einem verschiedenen Grad des Fehlerschutzes assoziiert ist.

11. Verfahren nach Anspruch 9, wobei jedes der Subbänder des ersten und/oder des zweiten Seitenbands mit einem verschiedenen Teil eines ungleichförmigen Sendeleistungsprofils und/oder einer verschiedenen Suszeptibilität gegenüber Störungen assoziiert ist.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Erzeugens umfaßt, mindestens einen ersten Bitstrom mit einer ersten Codierungsrate und einen zweiten Bitstrom mit einer Codierungsrate, die niedriger als die erste Codierungsrate ist, zu erzeugen, und wobei der Schritt des Sendens umfaßt, mindestens den ersten Bitstrom in einem ersten Seitenband des Host-Trägersignals und den zweiten Bitstrom in einem zweiten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden.

13. Verfahren nach Anspruch 1, ferner mit dem Schritt des Einfügens einer Verzögerung zwischen mindestens einer Teilmenge der Bitströme vor dem Sendeschritt, um Zeitdiversität in dem System bereitzustellen.

14. Vorrichtung zum Verarbeiten mindestens eines Informationssignals für die Übertragung, wobei die Vorrichtung folgendes umfaßt:
einen Sender (**201**), der für folgendes wirkt: (i) Erzeugen mehrerer Bitströme (S_1, S_2) aus dem Informationssignal, wobei jeder der Bitströme einer separaten Darstellung des Informationssignals entspricht und in mehrere Bitklassen (I, II) aufgetrennt wird, und (ii) Senden der Bitströme in entsprechenden Teilen eines oder mehrerer Frequenzbänder (**604**, **606** oder **704**, **706**), die mit einem Host-Trägersignal (**602** oder **702**) assoziiert sind, wobei eine gegebene der Bitklassen, die mit einem der Bitströme assoziiert ist und eine größere Empfindlichkeit gegenüber Störungen als eine andere der mit diesem Bitstrom assoziierten Bitklassen aufweist, in einem entsprechenden einzelnen der Teile gesendet wird, der so konfiguriert wird, daß er eine geringere Suszeptibilität gegenüber Störungen als ein anderer der Teile aufweist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei das Host-Trägersignal ein FM-Trägersignal ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei das Informationssignal ein Audiosignal umfaßt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei mindestens einer der Bitströme mit einer anderen Übertragungskenngröße als ein anderer der Bitströme gesendet wird.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, wobei die andere Übertragungskenngröße einen anderen Grad des Fehlerschutzes und/oder einen anderen Teil eines ungleichförmigen Sendeleistungsprofils umfaßt.

19. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Sender ferner wirkt, um einen ersten und einen zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom zu erzeugen, die das Informationssignal darstellen.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, wobei der Sender ferner wirkt, um den ersten Mehrfachbe-

schreibungsbitstrom auf einem ersten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden und den zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom auf einem zweiten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, wobei der Sender ferner wirkt, um jeden des ersten und des zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstroms in Bitströme mindestens einer ersten und einer zweiten Klasse aufzutrennen, wobei jeder der Bitströme der ersten und zweiten Klasse einem verschiedenen Grad des Fehlerschutzes entspricht.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, wobei der Sender ferner wirkt, um die mit dem ersten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziierten Bitströme der ersten und zweiten Klasse in einem jeweiligen ersten und zweiten Subband des ersten Seitenbands zu senden und die mit dem zweiten Mehrfachbeschreibungsbitstrom assoziierten Bitströme der ersten und zweiten Klasse in einem jeweiligen ersten und zweiten Subband des zweiten Seitenbands zu senden.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei jedes der Subbänder des ersten und/oder des zweiten Seitenbands mit einem verschiedenen Grad des Fehlerschutzes assoziiert ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 22, wobei jedes der Subbänder des ersten und/oder des zweiten Seitenbands mit einem verschiedenen Teil eines ungleichförmigen Sendeleistungsprofils und/oder einer verschiedenen Suszeptibilität gegenüber Störungen assoziiert ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Sender ferner wirkt, um mindestens einen ersten Bitstrom mit einer ersten Codierungsrate und einen zweiten Bitstrom mit einer Codierungsrate, die niedriger als die erste Codierungsrate ist, zu erzeugen, und wobei der Schritt des Sendens umfaßt, mindestens den ersten Bitstrom in einem ersten Seitenband des Host-Trägersignals und den zweiten Bitstrom in einem zweiten Seitenband des Host-Trägersignals zu senden.

26. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Sender ferner wirkt, um eine Verzögerung zwischen mindestens einer Teilmenge der Bitströme vor der Übertragung einzuführen, um Zeitdiversität in dem System bereitzustellen.

27. Verfahren zum Verarbeiten mindestens eines Informationssignals in einem Kommunikationssystem, mit den folgenden Schritten:
Empfangen mehrerer Bitströme (S_1, S_2), wobei jeder der Bitströme einer separaten Darstellung des Informationssignals entspricht und in mehrere Bitklassen (I, II) aufgetrennt wird, wobei die Bitströme in entsprechenden Teilen von einem oder mehreren Frequenzbändern (**604**, **606** oder **704**, **706**), die mit einem Host-Trägersignal (**602** oder **702**) assoziiert sind, gesendet werden, und wobei ferner eine gegebene der Bitklassen, die mit einem der Bitströme assoziiert ist und eine größere Empfindlichkeit gegenüber Störungen als eine andere der Bitklassen, die mit diesem Bitstrom assoziiert sind, aufweist, in einem entsprechenden der Teile gesendet wird, der so konfiguriert ist, daß er eine geringere Suszeptibilität gegenüber Störungen als ein anderer der Teile aufweist; und
Rekonstruieren des Informationssignals aus den empfangenen Bitströmen.

28. Vorrichtung zum Verarbeiten mindestens eines Informationssignals, wobei die Vorrichtung folgendes umfaßt:
einen Empfänger (**301**) der für folgendes wirkt : (i) Empfangen mehrerer Bitströme (S_1, S_2), wobei jeder der Bitströme einer separaten Darstellung des Informationssignals entspricht und in mehrere Bitklassen (I, II) aufgetrennt wird, wobei die Bitströme in entsprechenden Teilen von einem oder mehreren Frequenzbändern (**604**, **606** oder **704**, **706**), die mit einem Host-Trägersignal (**602** oder **702**) assoziiert sind, gesendet werden, und wobei ferner eine gegebene der Bitklassen, die mit einem der Bitströme assoziiert ist und eine größere Empfindlichkeit gegenüber Störungen als eine andere der Bitklassen, die mit diesem Bitstrom assoziiert sind, aufweist, in einem entsprechenden der Teile gesendet wird, der so konfiguriert ist, daß er eine geringere Suszeptibilität gegenüber Störungen als ein anderer der Teile aufweist; und (ii) Rekonstruieren des Informationssignals aus den empfangenen Bitströmen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

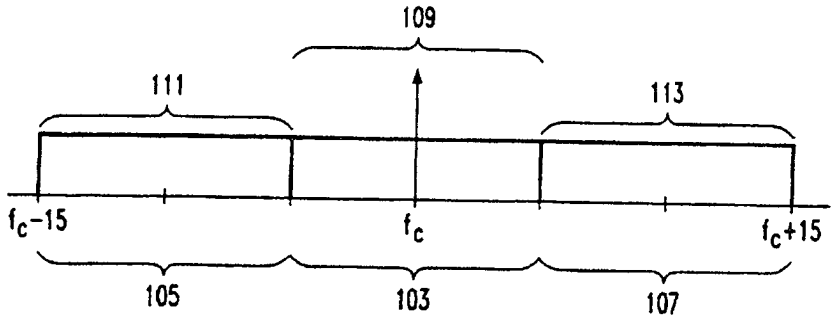

FIG. 2

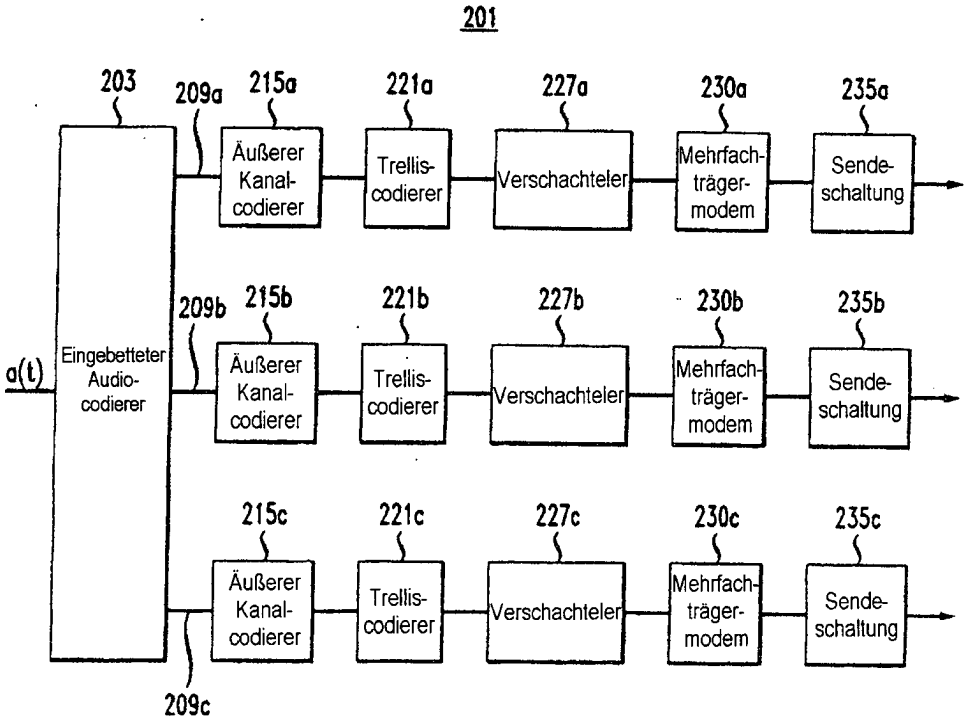

FIG. 3

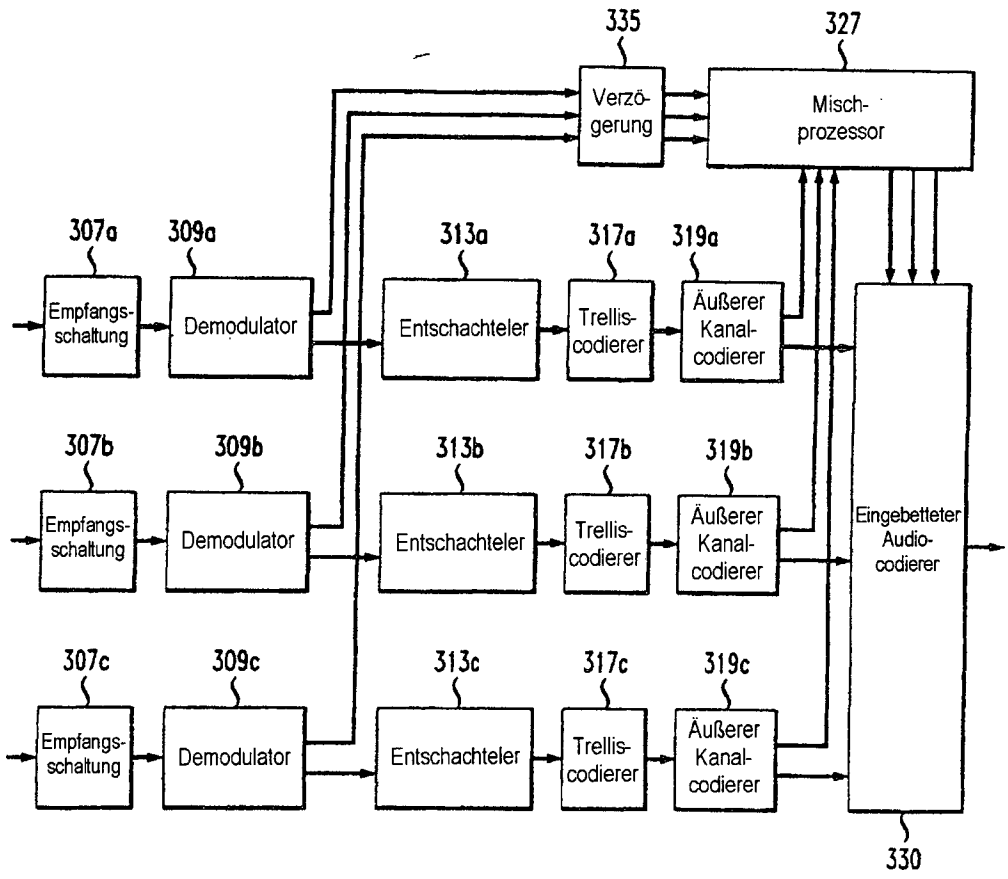
301
335
327
Verzö-
gerung
Misch-
prozessor
307a
309a
313a
317a
319a
Empfangs-
schaltung
Demodulator
Entschachteler
Trellis-
codierer
Äußerer
Kanal-
codierer
307b
309b
313b
317b
319b
Empfangs-
schaltung
Demodulator
Entschachteler
Trellis-
codierer
Äußerer
Kanal-
codierer
Eingebetteter
Audio-
codierer
307c
309c
313c
317c
319c
Empfangs-
schaltung
Demodulator
Entschachteler
Trellis-
codierer
Äußerer
Kanal-
codierer
330

FIG. 4

System-Nr.	Audiocodier-errate kb/Sek. ein/zwei Seitenbänder	Kanal-coderate ein Seitenband	Kanal-coderate zwei Seitenband	Leistung-sprofil	Quellco-diererart	Kanalcodeart	MS
1	96/96	4/5	2/5	a		OBP CPPC	1
2	64/64	1/2	1/4	a		OBP CPPC	1
3	64/128	1/2	1/2	a,a+	MD	CC	2
4	64/64	1/2	1/4	b,c,d,e		OBP CPPC	1
5	64/128	1/2	1/2	b,c,d,e	MD	CC	2
6	64/128	1/2	1/2	b,c,d,e	MD C/E	CC	3
7	64/128	1/2	1/2	b,c,d,e	MD UEP2	CC	4/6
8	64/128	1/2	1/2	b,c,d,e	MD C/E	CC	4/6
9	64/128	1/2	1/2	a,a+	MD UEP2	CC	4

FIG. 5

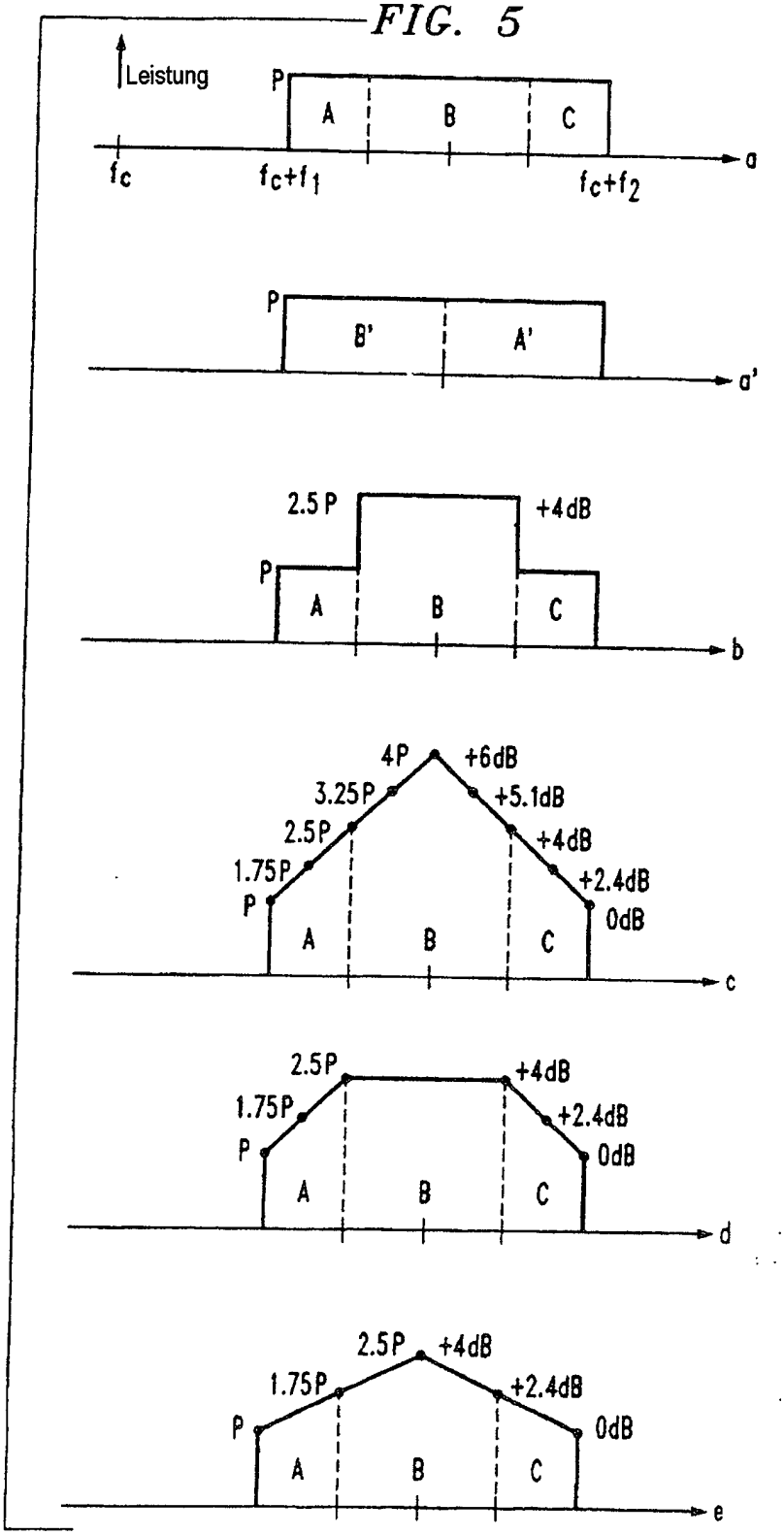
Leistung
P
A
B
C
fc
fc+f1
fc+f2
a
P
B'
A'
a'
2.5 P
+4dB
P
A
B
C
b
4P
+6dB
3.25P
+5.1dB
2.5P
+4dB
1.75P
+2.4dB
P
0dB
A
B
C
c
2.5P
+4dB
1.75P
+2.4dB
P
0dB
A
B
C
d
2.5P
+4dB
1.75P
+2.4dB
P
0dB
A
B
C
e

FIG. 6

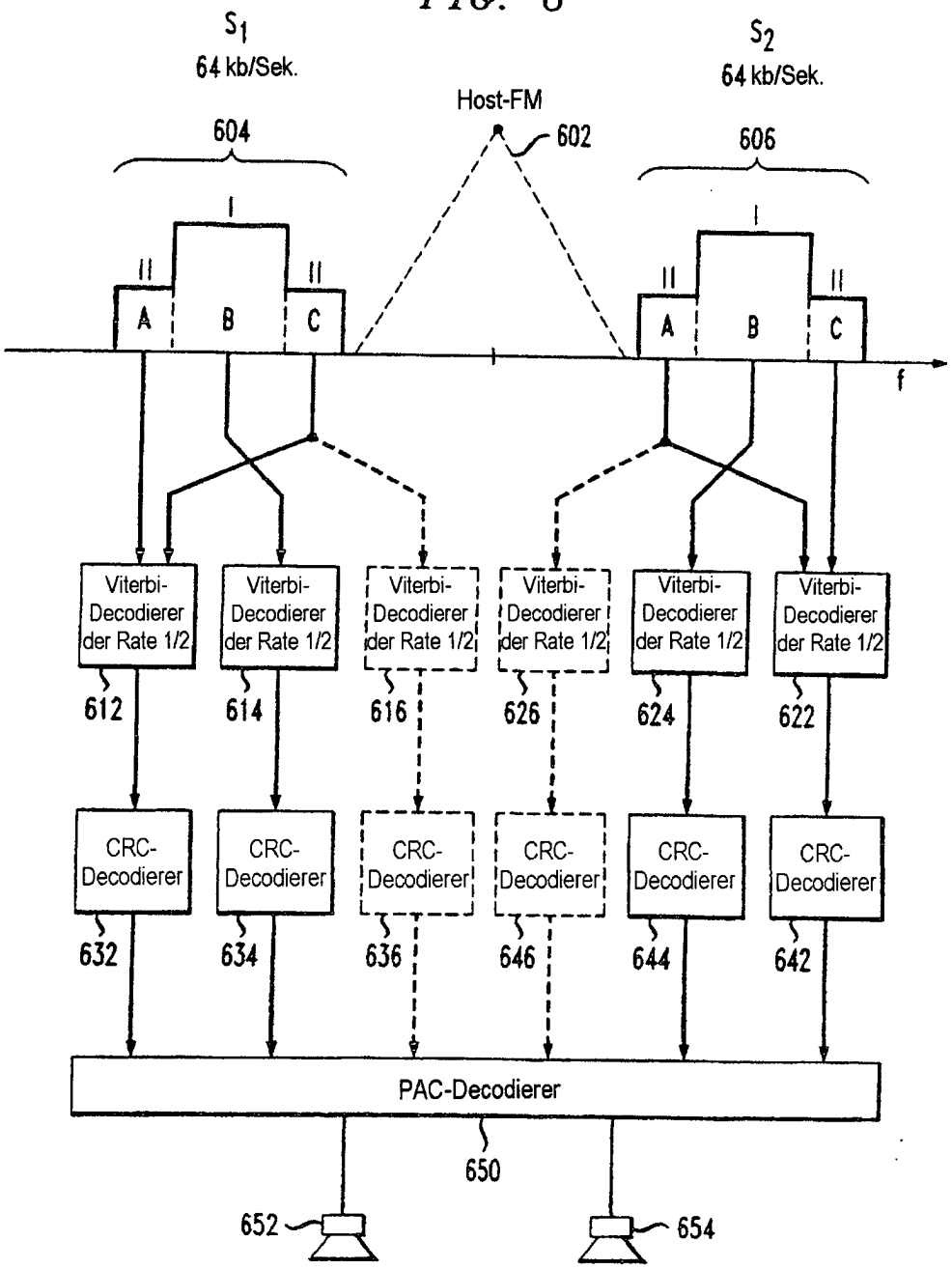
S1
64 kb/Sek.
S2
64 kb/Sek.
Host-FM
602
604
606
I
II
A
B
C
f
Viterbi-Decodierer der Rate 1/2
612
614
616
626
624
622
CRC-Decodierer
632
634
636
646
644
642
PAC-Decodierer
650
652
654

FIG. 7

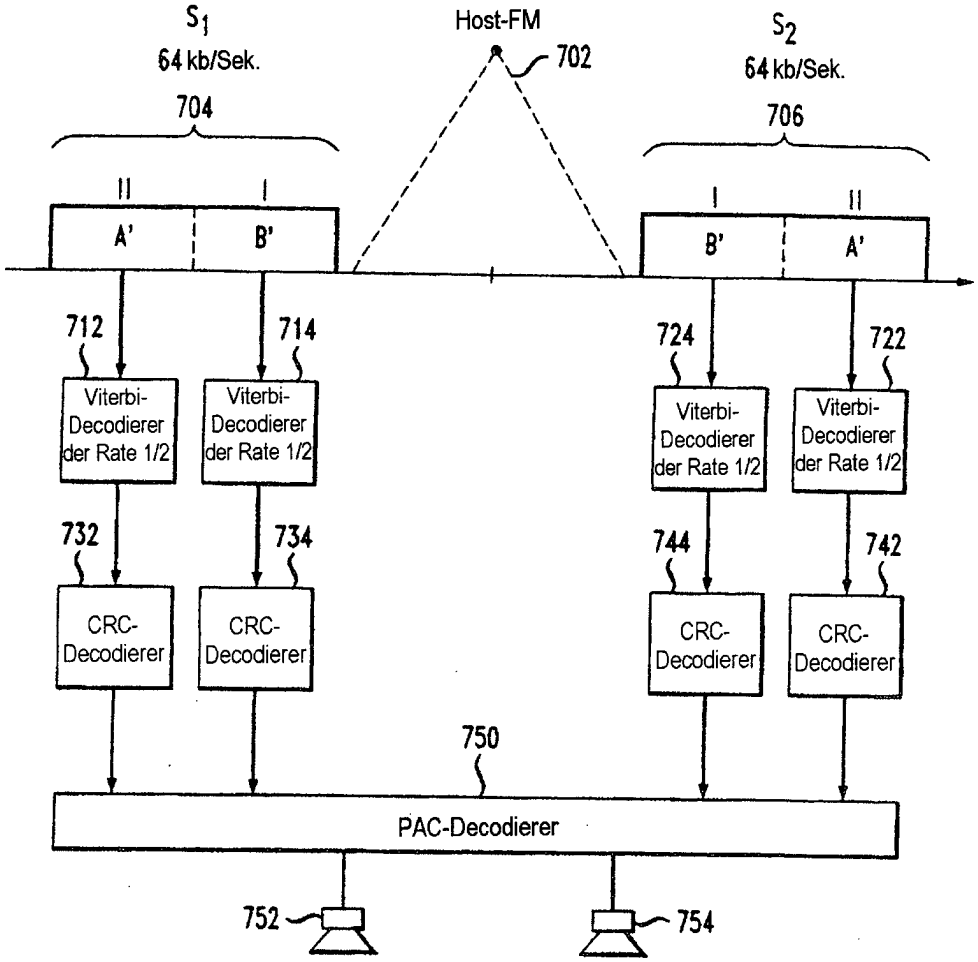

FIG. 8

Verfügbare Ströme	Entsprechende Qualität
I + I' + II + II'	Einfachstrom-PAC mit 96 kbps
(I + II + II') oder (I' + II' + II)	Besser als 64 kbps PAC
(I + II) oder (I' + II')	Besser als Analog-FM
(I + I')	Unbekannt
I oder I'	—

FIG. 9

M + 1	Erzeuger	d_f	$\{a_d,\ d = d_f, d_f + 1, \ldots, d_f + 19\}$ $[c_d,\ d = d_f, d_f + 1, \ldots, d_f + 19]$
7	133, 171	10	(11,0,38,0,193,0,1331,0,7275,0,40406,0,234969,0,1337714,0, 7594819,0,43375588,0) [36,0,211,0,1404,0,11633,0,77433,0,502690,0,3322763,0, 21292910,0,134365911,0,843425871,0]
8	247, 371	10	(1,6,12,26,52,132,317,730,1823,4446,10739,25358,60773,146396, 350399,842174,2021290,4853474,11648661,27945646) [2,22,60,148,340,1008,2642,6748,18312,48478,126364,320062, 821350,2102864,5335734,13549068,34254388, 86441848,217480314,545858054]
9	561, 753	12	(11,0,50,0,286,0,1630,0,9639,0,55152,0,320782,0,1859184,0, 10777264,0,62423710,0) [33,0,281,0,2179,0,15035,0,105166,0,692330,0,4580007,0, 29692894,0,190453145,0,1208999091,0]
10	1151, 1753	12	(1,7,19,28,69,185,411,1010,2492,5963,14192,34584,83567,200343, 483393,1165406,2809777,6773483,16324253,39351344) [2,21,100,186,474,1419,3542,9774,25950,66831,171594,447372, 1152976,2938087,7497956,19072552,48400420,122452387, 309085546,778801868]
11	3345, 3613	14	(14,0,92,0,426,0,2595,0,15221,0,87694,0,509876,0,2975097,0, 17303477,0,100650003,0) [56,0,656,0,3708,0,27503,0,185997,0,1220645,0,7966761,0, 51581661,0,329655865,0,2089605350,0]
12	5261, 7173	15	(14,21,34,101,249,597,1373,3317,8014,19559,47302,113723, 274266,662666,1600334,3857052,9308986,22473832, 54226452,130860787) [66,98,220,788,2083,5424,13771,35966,93970,246720,635694, 1623432,4149988,10599534,26964102,68271886,172723512, 436205306,1098861232,2763565986]
13	12767, 16461	16	(14,38,35,108,342,724,1604,4020,9825,23899,57724,138584, 335272,808236,1952588,4714596,11375389,27462352, 66275890,159940379) [60,188,288,952,2754,6628,16606,44640,116712,304987,785180, 2002076,5132496,13067080,33236580,84264272,213035502, 537722506,1354359096,3404955291]

FIG. 10

Codes der Rate 1/2 M	d_f	Verstärkung von SNR bezüglich M = 6, R = 4/5*	Verstärkung von SNR bezüglich M = 6, R = 2/5**
6	10	4,0 dB	−0,4 dB
8	12	4,8 dB	0,4 dB
10	14	5,4 dB	1,0 dB
12	16	6,0 dB	1,5 dB

*d_f = 4 **d_f = 11

FIG. 11

Codes der Rate 2/3 M	d_f	Verstärkung von SNR bezüglich M = 6, R = 4/5
6	6	1,8 dB
8	8	3,0 dB

FIG. 12

Codes der Rate 3/4 M	d_f	Verstärkung von SNR bezüglich M = 6, R = 4/5
6	5	1,0 dB
8	6	1,8 dB

FIG. 13

OFDM-Leistungsprofil	Bänder B, (B') P_I	Bänder A + C, (A') P_{II}	Gesamtseitenband-Leistungssteigerung
a, a'	4 dB	4 dB	0 dB
a+, a'+	7 dB	7 dB	3 dB
b	8 dB	4 dB	2,4 dB
c	9,1 dB	6,4 dB	4,0 dB
d	8 dB	6,4 dB	3,3 dB
e	7,3 dB	5,4 dB	2,4 dB