



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 600 23 173 T2 2006.04.27

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 232 622 B1

(51) Int Cl.⁸: H04L 27/34 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 600 23 173.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US00/32010

(96) Europäisches Aktenzeichen: 00 982 190.1

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 01/039455

(86) PCT-Anmeldetag: 22.11.2000

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 31.05.2001

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 21.08.2002

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 12.10.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 27.04.2006

(30) Unionspriorität:

167021 P 23.11.1999 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:

Thomson Licensing, Boulogne Billancourt, FR

(72) Erfinder:

SETTLE, Forrest Timothy, Indianapolis, US;

KRAUSS, Peter Thomas, Lafayette, US;

RAMASWAMY, Kumar, Indianapolis, US

(74) Vertreter:

Roßmanith, M., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,
30457 Hannover

(54) Bezeichnung: FEHLERDETEKTION UND -KORREKTURKODIERUNG FÜR HIERARCHISCHE QAM-ÜBERTRAGUNGSSYSTEME

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 eingelebt, 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**TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft hierarchische Quadraturamplitudenmodulations-Übertragungssysteme.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Hierarchische Quadraturamplitudenmodulations-(QAM-)Übertragungssysteme sind wohlbekannt. Zum Beispiel beschreibt das US-Patent Nr. 5,966,412, ausgegeben am 12.10.1999 an Ramaswamy, ein Modulationssystem, das mit älteren Quadraturphasenumtast-(QPSK-)Empfängern rückwärts kompatibel bleiben kann, während gleichzeitig ferner zusätzliche Datenströme zur Bereitstellung höherer Datenraten oder präziserer Daten durch fortschrittlichere Empfänger empfangbar sind. [Fig. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines hierarchischen QRM-Übertragungssystems, so wie es in diesem Patent offengelegt wird. [Fig. 1](#) zeigt einen Datensender **100**, der über einen Übertragungskanal **200** an einen Datenempfänger **300** angekoppelt ist.

[0003] In [Fig. 1](#) ist ein erster Eingangsanschluß DATA 1 an eine (nicht gezeigte) Quelle eines ersten Datensignals und ein zweiter Eingangsanschluß DATA 2 an eine (nicht gezeigte) Quelle eines zweiten Datensignals angekoppelt. Das erste und das zweite Datensignal können separate und unabhängige Daten oder auch verwandte Datensignale repräsentieren, wie zum Beispiel Signale, die jeweilige Teile des selben Datensignals führen (für einen größeren Durchsatz des Übertragungssystems) oder ein elementarer Datenteil und ein Ergänzungsdatenteil des selben Datensignals (zur Übertragung erweiterter Signale unter Beibehaltung von Rückwärtskompatibilität mit existierenden älteren Empfängern, wie später ausführlicher beschrieben werden wird). Der erste Eingangsanschluß DATA 1 ist an einen Eingangsanschluß eines ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodierers **102** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des ersten Codierers **102** ist an einen Eingangsanschluß eines Niveau-1-QPSK-Modulators **104** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des Niveau-1-QPSK-Modulators **104** ist an einen ersten Eingangsanschluß eines Signalkombinierers **106** angekoppelt.

[0004] Der zweite Eingangsanschluß DATA 2 ist an einen Eingangsanschluß eines zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodierers **108** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des zweiten Codierers **108** ist an einen Eingangsanschluß eines Niveau-2-QPSK-Modulators **110** angekoppelt. Der Niveau-2-QPSK-Modulator **110** ist an einen Eingangsanschluß eines variablen Verstärkers **111** mit einer Verstärkung G angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des variablen Verstär-

kers **111** ist an einen zweiten Eingangsanschluß des Signalkombinierers **106** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des Signalkombinierers **106** erzeugt ein kombiniertes moduliertes Signal und ist an den Übertragungskanal **200** angekoppelt. Bei der dargestellten Ausführungsform ist dieser Kanal ein Direksatelliten-Fernsehsignalübertragungssystem und der Übertragungskanal umfaßt eine Bodensedestation am Sender **100** (repräsentiert durch eine gestrichelt gezeigte Sendeantenne), einen (nicht gezeigten) Kommunikationssatelliten zum Empfangen der Daten von der Bodenstation und zum Neuausstrahlen dieser Daten zu mehreren Bodenempfangsstationen, von denen eine (**300**) in [Fig. 1](#) dargestellt ist, die das wiederausgestrahlte Datensignal empfängt und verarbeitet, wie durch eine gestrichelt gezeigte Empfangsantenne dargestellt.

[0005] Der Ausgang des Übertragungskanals **200** ist an einen Eingangsanschluß eines Niveau-1-QPSK-Demodulators **302** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des Niveau-1-Demodulators **302** ist an jeweilige Eingangsanschlüsse eines ersten Fehlerdetektions-Korrekturdecoder **304** und einer Verzögerungsschaltung **306** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des ersten Decodierers **304** ist an einen Ausgangsanschluß DATA 1' und an einen Eingangsanschluß eines Neucodierers **308** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des Neucodierers **308** ist an einen Subtrahenteneingangsanschluß eines Subtrahierers **310** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß der Verzögerungsschaltung **306** ist an einen Minuendeneingangsanschluß des Subtrahierers **310** angekoppelt. Ein Differenzausgangsanschluß des Subtrahierers **310** ist an einen Eingangsanschluß eines zweiten Fehlerdetektions-/korrekturdecoder **312** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß des zweiten Decodierers **312** ist an einen zweiten Datenausgangsanschluß DATA 2' angekoppelt.

[0006] Im Betrieb codiert der erste Codierer **102** das erste Datensignal DATA 1, um auf bekannte Weise Fehlerdetektions-/korrekturfähigkeiten bereitzustellen. Die Paare **102/304**, **108/312** von Codierer/Decoder können beliebige der bekannten Fehlerdetektions-/korrekturcodes implementieren und diese Codes können verkettet werden, wie in dem oben erwähnten Patent beschrieben wird. Der erste Codierer **102** erzeugt einen Strom codierter Bit, der das codierte erste Datensignal DATA 1 repräsentiert. Der Niveau-1-Modulator **104** verarbeitet sukzessive Mengen der beiden codierten Datenbit, wobei jede Menge als ein Symbol bezeichnet wird, um auf bekannte Weise ein QPSK-Signal zu erzeugen, das in einem von vier Quadranten liegt. Ähnlich codiert der zweite Codierer **108** das zweite Datensignal DATA 2, um auf bekannte Weise Fehlerdetektions-/korrekturfähigkeiten bereitzustellen. Der Niveau-2-Modulator **110** verarbeitet Mengen zweier codierter Datenbit, um auch ein QPSK-Signal zu erzeugen, das in einem

von vier Quadranten liegt. Für Fachleute ist erkennbar, daß zusätzliche Datensignale (DATA 3 usw.) jeweils durch zusätzliche Codierer fehlerdetektions-/korrekturcodiert werden können und zusätzliche QPSK-Modulatoren (Niveau 3 usw.) auf jeweilige zusätzliche Mengen zweier codierter Datenbit reagieren können, um zusätzliche QPSK-Signale zu erzeugen. Dem QPSK-Signal aus dem Niveau-1-Modulator **104** wird ein Gewicht von 1 gegeben; dem QPSK-Signal aus dem Niveau-2-Modulator **110** wird durch den variablen Verstärker **111** ein Gewicht bzw. eine Verstärkung von 0,5 gegeben; dem dritten ein Gewicht von 0,25 und so weiter. Alle gewichteten QPSK-Signale werden dann durch den Signalkombinierer **106** zu einem einzigen modulierten Signal kombiniert und durch einen Übertragungskanal **200** übertragen.

[0007] Der Niveau-1-QPSK-Modulator **104** bewirkt, daß das kombinierte Signal als Reaktion auf die Menge aus zwei codierten Datenbit aus dem ersten Codierer **102** in einem von vier Quadranten liegt. Jeder Quadrant kann seinerseits als in vier Subquadranten unterteilt betrachtet werden. Der Niveau-2-QPSK-Modulator **110** bewirkt daß das kombinierte Signal als Reaktion auf die Menge zweier Eingangsdatenbit aus dem zweiten Codierer **108** in einem der Subquadranten in dem durch den Niveau-1-QPSK-Modulator **104** ausgewählten Quadranten liegt. Dieser Subquadrant kann ferner als in vier Subsubquadranten unterteilt betrachtet werden, und es kann bewirkt werden, daß das kombinierte Signal als Reaktion auf die Menge zweier Eingangsdatenbit aus einem (nicht gezeigten) dritten Codierer in einem dieser Subsubquadranten liegt und so weiter.

[0008] Ein (in [Fig. 1](#) durch eine gestrichelte Linie **300'** dargestellter) älterer Empfänger enthält nur einen Niveau-1-QPSK-Demodulator **302**, der erkennen kann, wo in der I-Q-Ebene das Empfangssignal liegt. Aus diesen Informationen kann der Fehlernetektions-/korrekturdecodierer **304** die entsprechenden zwei codierten Bit in dem empfangenen ersten Datenstrom bestimmen. Der Fehlernetektions-/korrekturdecodierer **304** kann ferner etwaige durch den Übertragungskanal eingeführte Fehler korrigieren, um ein empfangenes Datensignal DATA 1' zu erzeugen, das das ursprüngliche erste Datensignal DATA 1 repräsentiert. Somit kann ein solcher Empfänger ein erstes Datensignal DATA 1 bei Anwesenheit zusätzlich modulierter Datensignale DATA 2, (DATA 3) usw. ordnungsgemäß empfangen, decodieren und verarbeiten. Die von den Niveau-2-(und Niveau-3-usw.)QPSK-Modulatoren hinzugefügten Signale sehen für einen solchen Empfänger einfach wie Rauschen aus.

[0009] Ein fortschrittlicherer Empfänger **300** kann jedoch erkennen, in welchem Quadranten das empfangene modulierte Signal liegt und kann somit suk-

zessive Mengen zweier Datenbit, die das erste Datensignal DATA 1 repräsentieren, empfangen, decodieren und verarbeiten. Der Neucodierer **308** in dem erweiterten Empfänger regeneriert dann ein ideales Signal, das in der Mitte des angegebenen Quadranten liegt, das von dem empfangenen modulierten Signal subtrahiert wird. Diese Operation versetzt die Mitte des Sendesignalquadranten an den Ursprung. Es bleibt ein durch 0,5 gewichtetes QPSK-moduliertes Signal, das das zweite Datensignal DATA 2 repräsentiert. Dieses Signal wird dann durch den zweiten Decodierer **312** decodiert, um zu bestimmen, in welchem Subquadranten das Signal liegt, wodurch die diesem Signal entsprechende Menge zweier Bit angegeben wird. Sukzessive Mengen zweier Empfangsdatenbit, die das zweite Datensignal DATA 2 repräsentieren, werden somit empfangen, decodiert und verarbeitet und so weiter. Ein solches Übertragungssystem arbeitet durch Modulieren eines Trägers in Quadratur mit etwas als Konstellation zulässiger Symbole Betrachtetem und ist eine Form von Quadraturamplitudenmodulation (QAM). Ein solches System wird als hierarchisches QAM-Übertragungssystem bezeichnet, weil man mit ihm weitere Niveaus von Datensignalen oder weitere Niveaus von Einheiten in einem einzigen Signal übertragen kann, während Rückwärtskompatibilität mit älteren Empfängern aufrechterhalten wird.

[0010] [Fig. 2a](#) ist ein Diagramm einer Konstellation in der I-Q-Ebene zulässiger Symbole für ein hierarchisches 16QAM-Übertragungssystem, wie in dem oben erwähnten Patent dargestellt. In [Fig. 2a](#) bestimmt eine erste Menge zweier Bit, in welchem Quadranten das erzeugte Symbol liegt. Wenn die ersten beiden Bit „00“ sind, liegt das Symbol in dem oberen rechten Quadranten und der Niveau-1-Modulator **104** produziert I-Q-Signale dergestalt, daß $I = 1$ und $Q = 1$ gilt; wenn die ersten beiden Bit „01“ sind, liegt das Symbol in dem oberen linken Quadranten und der Niveau-1-Modulator **104** produziert I-Q-Signale dergestalt, daß $I = -1$ und $Q = 1$ gilt; wenn die ersten beiden Bit „10“ sind, liegt das Symbol in dem unteren rechten Quadranten und der Niveau-1-Modulator **104** produziert I-Q-Signale dergestalt, daß $I = 1$ und $Q = -1$ gilt; und wenn die ersten beiden Bit „11“ sind, liegt das Symbol in dem unteren linken Quadranten und der Niveau-1-Modulator **104** produziert I-Q-Signale dergestalt, daß $I = -1$ und $Q = -1$ gilt. Dies ist in [Fig. 2a](#) durch das entsprechende Bitpaar in der Mitte des assoziierten Quadranten gezeigt.

[0011] Wie oben beschrieben kann jeder Quadrant selbst als in vier Subquadranten aufgeteilt betrachtet werden, wie in dem oberen rechten Quadranten in [Fig. 2a](#) dargestellt. Die zweite Menge zweier Bit bestimmt, in welchem Subquadranten das Symbol liegt. Zur Bestimmung des Subquadranten wird dieselbe Abbildung wie oben zur Bestimmung des Quadranten beschrieben verwendet. Das heißt, wenn die

zweiten beiden Bit „00“ sind, liegt das Symbol in dem oberen rechten Subquadranten und der Niveau-2-Modulator erzeugt ein I-Q-Signal dergestalt, daß $I = 1$ und $Q = 1$ gilt; wenn die zweiten beiden Bit „01“ sind, dann liegt das Symbol in dem oberen linken Subquadranten und der Niveau-2-Modulator erzeugt ein I-Q-Signal dergestalt, daß $I = -1$ und $Q = 1$ gilt; wenn die zweiten beiden Bit „10“ sind, dann liegt das Symbol in dem unteren rechten Subquadranten und der Niveau-2-Modulator erzeugt ein I-Q-Signal dergestalt, daß $I = 1$ und $Q = -1$ gilt; und wenn die zweiten beiden Bit „11“ sind, dann liegt das Symbol in dem unteren linken Subquadranten und der Niveau-2-Modulator erzeugt ein I-Q-Signal dergestalt, daß $I = -1$ und $Q = -1$ gilt. Der variable Verstärker **111** (von **Fig. 1**) gewichtet das Signal aus dem Niveau-2-Modulator **110** mit einem Gewicht von 0,5, so daß die Punkte in den Subquadranten in einem Abstand von $\pm 0,5$ um den Mittelpunkt des Quadranten liegen. Jeder dieser Orte ist in **Fig. 2a** als durchgezogener Kreis gezeigt, wobei eine 4-Bit-Binärzahl die Kombination der ersten und zweiten Menge der beiden Bit darstellt, wobei die ersten beiden Bit das rechte Bitpaar und die zweiten beiden Bit das linke Bitpaar sind.

[0012] Es ist bekannt, daß die Bitfehlerratenleistung der jeweiligen Datenströme durch die verschiedenen Niveaus eines hierarchischen QAM-Systems, wie zum Beispiel oben beschrieben, verschieden sind. Im allgemeinen ist die uncodierte Bitfehlerrate des Niveau-1-Datenstroms besser als die uncodierte Bitfehlerrate des Niveau-2-(und höherer) Datenströme. Dies verschärft sich in einem Direktsatelliten-Fernsehübertragungssystem aufgrund der bei Satellitenausstrahlungen verwendeten nichtlinearen Hochleistungsverstärker. Solche Verstärker tendieren dazu, die Distanz zwischen den Konstellationspunkten in den höheren Niveaus der Modulation zu komprimieren. Es wurden Systeme entwickelt, um die verschiedenen Eigenschaften der verschiedenen Niveaus der hierarchischen QAM-Modulation zu berücksichtigen.

[0013] Die europäische Patentveröffentlichung 0 594 505 A1, veröffentlicht am 20.10.1993 für Combelles et al. behandelt das Problem, daß Konstellationspunkte in der Nähe der Grenzen zwischen zwei Quadranten liegen, wie zum Beispiel die Punkte 1100 und 0011 usw. in **Fig. 2a**. Wenn zu viele aufeinanderfolgende Konstellationspunkte in der Nähe der Quadrantengrenzen liegen, dann wird die Decodierung des Niveau-1-Signals schwerer und die Bitfehlerrate kann zunehmen. In dem System dieser Veröffentlichung wird der Niveau-1-Datenstrom, der die Primärdaten führt, einer „Diversity“-Codierung unterzogen, um sicherzustellen, daß der den Niveau-1-Datenstrom repräsentierende Quadrant sich genug ändert, so daß eine minimale Anzahl aufeinanderfolgender Konstellationspunkte auf der Grenze zwischen zwei Quadranten liegt. Dieses System wirkt also zur Ver-

besserung der Leistungsfähigkeit eines die Primärdaten führenden Niveau-1-Datenstroms.

[0014] Ein Artikel „Combined Multilevel Turbo-code with MR-modulation“, veröffentlicht am 18.6.1995 von Papke et al., beschreibt ein System zur Bereitstellung einer verschiedenen Codierung für die verschiedenen Signalniveaus in einem hierarchischen QAM-Modulationsschema. In dem von diesem Artikel beschriebenen System führt ein einziges QAM-moduliertes Signal ein hierarchisches Fernsehsignal, das auf Niveau 1 ein Signal mit Standarddefinition (SD), auf Niveau 2 ein Signal mit erweiterter Definition (ED) und auf Niveau 3 ein Signal mit hoher Auflösung (HD) enthält. Auf jedes Bit in jedem Symbol wird eine verschiedene Codierung angewandt, so daß das SD-Signal den „robustesten“ Schutz und das HD-Signal den schwächsten Schutz aufweist, wobei das ED-Signal in der Mitte liegt.

[0015] Wie oben beschrieben ist im allgemeinen die Bitfehlerrate des Niveau-1-Datenstroms besser als die Bitfehlerrate des Niveau-2-(und höherer) Datenströme. Die Gesamtleistungsfähigkeit des hierarchischen QAM-Übertragungssystems wird jedoch optimiert, wenn die Bitfehlerrate der jeweiligen Datenströme durch die verschiedenen Niveaus gleich ist. Es ist deshalb wünschenswert, nicht nur die Gesamtbitfehlerrate des Übertragungssystems zu optimieren, sondern auch die jeweiligen Bitfehlerraten der verschiedenen Niveaus in dem Übertragungssystem besser anzupassen.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0016] Gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung enthält ein hierarchisches QAM-Übertragungssystem einen hierarchischen QAM-Sender, der auf einen ersten und einen zweiten Datenstrom reagiert. Der hierarchische QAM-Sender sendet ein hierarchisches QAM-Signal, das aus einem Niveau-1-Signal, das den ersten Datenstrom repräsentiert und eine uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit aufweist, und einem Niveau-2-Signal, das den zweiten Datenstrom repräsentiert und eine uncodierte zweite Bitfehlerratenleistungsfähigkeit aufweist, die kleiner als die erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit ist, besteht. An den hierarchischen QAM-Sender ist ein hierarchischer QAM-Empfänger angekoppelt. Der hierarchische QAM-Empfänger empfängt das hierarchische QAM-Signal und erzeugt einen ersten und einen zweiten Empfangsdatenstrom. Erste Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise verarbeiten den ersten Datenstrom durch Codieren des ersten Datenstroms unter Verwendung eines Codes mit einer ersten Detektions-/korrekturleistung. Zweite Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise verarbeiten den zweiten Datenstrom durch Codieren des zweiten Datenstroms unter Verwendung eines Codes mit einer zweiten Fehlerdetektions-/korrek-

turleistung. Die Leistung der von den ersten und zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreisen verwendeten jeweiligen Codes ist dergestalt, daß die codierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der codierten Bitfehlerratenleistung des zweiten Datenstroms näher kommt als die uncodierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der uncodierten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des zweiten Datenstroms.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] [Fig. 1](#) ist ein Blockschaltbild eines Übertragungssystems gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung;

[0018] [Fig. 2](#) ist ein Diagramm einer Konstellation zulässiger Symbole für ein hierarchisches 16QAM-Übertragungssystem;

[0019] [Fig. 3a](#) und [c](#) sind ausführlichere Blockschaltbilder jeweiliger Teile des in [Fig. 1](#) dargestellten Übertragungssystems, und ferner einschließlich eines Gray-Code-Mappers, und [Fig. 3b](#) ist eine Tabelle mit Daten, die die Funktionsweise des Gray-Code-Mappers steuern;

[0020] [Fig. 4](#) ist ein ausführlicheres Blockschaltbild eines Teils des in [Fig. 1](#) dargestellten Übertragungssystems, wobei die Funktionsweise unterschiedlicher Fehlerdetektions-/korrekturcodes für unterschiedliche Niveaus dargestellt ist;

[0021] [Fig. 5](#) ist ein Diagramm einer empfangenen Konstellation und [Fig. 6](#) ist ein Diagramm eines Quadranten einer durch den Übertragungskanal verzerrten empfangenen Konstellation;

[0022] [Fig. 7](#) ist ein Blockschaltbild von Schaltkreisen zur Bestimmung des Schwerpunkts eines Quadranten einer empfangenen Konstellation von Datenpunkten;

[0023] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm einer Konstellation zur Darstellung der Verwendung von Gruppierungsfaktoren zur Veränderung der relativen Bitratenleistungsfähigkeit der Signale verschiedener Niveaus in einem hierarchischen QAM-Signal.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0024] [Fig. 3a](#) und [c](#) sind ausführlichere Blockschaltbilder jeweiliger Teile des in [Fig. 1](#) dargestellten Übertragungssystems ferner mit einem Gray-Code-Mapper und [Fig. 3b](#) ist eine Tabelle der Funktionsweise des in [Fig. 3a](#) und [c](#) dargestellten Gray-Code-Mappers. Unter anfänglicher Bezugnahme auf [Fig. 2b](#) ist eine Konstellation dargestellt, in der angrenzende Punkte an allen Orten Datenwerte repräsentieren, die sich nur durch eine Bitposition unter-

scheiden. Um diese Konstellation zu erzeugen, hängt die Abbildung der Menge zweier Bit in dem codierten Niveau-2-Datensignal auf Orte in einem Subquadranten davon ab, in welchem Quadranten dieser Subquadrant liegt. Der obere rechte Quadrant (00) in [Fig. 2b](#) ist mit dem in [Fig. 2a](#) identisch. In dem oberen linken Quadranten sind die linke und rechte Spalte jedoch vertauscht. In dem unteren rechten Quadranten sind die obere und untere Zeile vertauscht und in dem unteren linken Quadranten sind die linke und rechte Spalte und die obere und untere Zeile vertauscht. Dies läßt sich durch eine einfache Abbildungsoperation in dem Sender **100** vor dem Modulieren des codierten Datensignals DATA 2 und dann eine einfache Zurückabbildungsoperation in dem Empfänger **300** nach der Demodulation des empfangenen codierten zweiten Datensignals erreichen.

[0025] In [Fig. 3a](#) ist ein Teil des Senders **100** dargestellt. Ein Niveau-1-Symbol (2 Bit aus dem ersten Codierer von [Fig. 1](#)) ist an jeweilige Eingangsanschlüsse des Niveau-1-Modulators **104** und eines Gray-Code-Mappers **112** angekoppelt. Ein gleichphasiges (I-) Signal aus dem Niveau-1-Modulator **104** wird an einen ersten Eingangsanschluß eines ersten Addierers **106(I)** angekoppelt, und ein Quadratur-(Q-)Signal aus dem Niveau-1-Modulator **104** wird an einen ersten Eingangsanschluß eines zweiten Addierers **106(Q)** angekoppelt. Die Kombination aus dem ersten Addierer **106(I)** und dem zweiten Addierer **106(Q)** bildet den Signalkombinierer **106** von [Fig. 1](#). Ein Niveau-2-Symbol (2 Bit aus dem zweiten Codierer **108**) wird an einen Eingangsanschluß des Niveau-2-Modulators **110** angekoppelt. Ein I-Ausgangsanschluß des Niveau-2-Modulators **110** wird an einen I-Eingangsanschluß des Gray-Code-Mappers **112** und ein Q-Ausgangsanschluß des Niveau-2-Modulators **110** an einen Q-Eingangsanschluß des Gray-Code-Mappers **112** angekoppelt. Ein I-Ausgangsanschluß des Gray-Mappers **112** wird an einen zweiten Eingangsanschluß des ersten Addierers **106(I)** und ein Q-Ausgangsanschluß des Gray-Mappers **112** an einen zweiten Eingangsanschluß des zweiten Addierers **106(Q)** angekoppelt. Der variable Verstärker **111**, der so ausgelegt ist, daß er einen Dämpfungsfaktor von 0,5 aufweist und zwischen den Gray-Code-Mapper **112** und den Signalkombinierer **106** gekoppelt ist, ist zur Vereinfachung der Figur nicht gezeigt.

[0026] Im Betrieb wird das durch die Menge zweier codierter Datenbit repräsentierte Niveau-1-Symbol aus dem Niveau-1-Codierer **102** (von [Fig. 1](#)) empfangen. Das Niveau-1-Symbol wird durch den Niveau-1-Modulator **104** QPSKmoduliert, um eine Menge von I- und Q-Komponentensignalen zu erzeugen, die auf bekannte Weise den Quadranten des modulierten Signals repräsentieren. Wenn das Symbol zum Beispiel 0 ist, d.h. die beiden Bit 00 sind, wird der obere rechte Quadrant angegeben ($I = 1, Q = 1$); wenn das Symbol 1 ist, d.h. die beiden Bit 01 sind,

dann wird der obere linke Quadrant angegeben ($I = -1, Q = 1$); wenn das Symbol 2 ist, d.h. die beiden Bit 10 sind, dann wird der untere rechte Quadrant angegeben ($I = 1, Q = -1$); und wenn das Symbol 3 ist, d.h. die beiden Bit 11 sind, dann wird der untere linke Quadrant angegeben ($I = -1, Q = -1$). Auf ähnliche Weise wird das Niveau-2-Symbol durch den Niveau-2-Modulator **110** QPSKmoduliert, um eine Menge von I- und Q-Komponentensignalen zu erzeugen, die auf bekannte Weise den Subquadranten des modulierten Signals repräsentieren. Der Niveau-2-Modulator erzeugt das modulierte Signal genau auf dieselbe Weise wie der Niveau-1-Modulator **104**, d.h., wenn die beiden Bit 00 (0) sind, wird der obere rechte Subquadrant angegeben ($I = 1, Q = 1$); wenn die beiden Bit 01 (1) sind, wird der obere linke Subquadrant angegeben ($I = -1, Q = 1$); wenn die beiden Bit 10 (2) sind, wird der untere rechte Subquadrant angegeben ($I = 1, Q = -1$); und wenn die beiden Bit 11 (3) sind, wird der untere linke Subquadrant angegeben ($I = -1, Q = -1$). Dieses modulierte Signal wird dann mit 0,5 gewichtet (nicht gezeigt).

[0027] Die resultierende Konstellation aus der Kombination dieser beiden modulierten Signale würde wie in **Fig. 2a** dargestellt aussehen. Der Gray-Code-Mapper **112** arbeitet an den I- und Q-Signalen aus dem Niveau-2-Modulator **110**, um die in **Fig. 2b** dargestellte Konstellation zu erzeugen. **Fig. 3b** zeigt die durch den Gray-Code-Mapper **112** angewandte Abbildung. Wenn das Niveau-1-Symbol 0 ist, wodurch der obere rechte Quadrant angezeigt wird, bleiben die Subquadranten unverändert, das heißt, die I- und Q-Ausgangssignale aus dem Niveau-2-Modulator bleiben unverändert. Somit ist das I-Ausgangssignal I_{out} aus dem Gray-Code-Mapper **112** dasselbe wie das I-Eingangssignal I_{in} ($I_{out} = I_{in}$) und das Q-Ausgangssignal Q_{out} aus dem Gray-Code-Mapper **112** ist dasselbe wie das Q-Eingangssignal Q_{in} ($Q_{out} = Q_{in}$). Wenn jedoch das Niveau-1-Symbol 1 ist, wodurch der obere linke Quadrant angegeben wird, dann werden unter Bezugnahme auf **Fig. 2** die Spalten vertauscht. Das heißt, positive I-Werte werden negativ und umgekehrt. Wenn das Niveau-1-Symbol 1 ist, ist also das I-Ausgangssignal das Negative des I-Eingangssignals ($I_{out} = -I_{in}$), während das Q-Ausgangssignal dasselbe wie das Q-Eingangssignal bleibt ($Q_{out} = Q_{in}$). Wenn das Niveau-1-Symbol 2 ist, wodurch der untere rechte Quadrant angezeigt wird, werden die Zeilen vertauscht. Das heißt, positive Q-Werte werden negativ und umgekehrt. Wenn also das Niveau-1-Symbol 2 ist, ist das I-Ausgangssignal dasselbe wie das I-Eingangssignal I_{in} ($I_{out} = I_{in}$), während das Q-Ausgangssignal das Negative des Q-Eingangssignals ist ($Q_{out} = -Q_{in}$). Wenn das Niveau-1-Symbol 3 ist, wodurch der untere linke Quadrant angegeben wird, werden sowohl die Spalten als auch die Zeilen vertauscht. Das heißt, positive I-Werte werden negativ und positive Q-Werte werden negativ und umgekehrt. Wenn also das Niveau-1-Sym-

bol 3 ist, ist das I-Ausgangssignal das Negative des I-Eingangssignals ($I_{out} = -I_{in}$) und das Q-Ausgangssignal ist das Negative des Q-Eingangssignals ($Q_{out} = -Q_{in}$). Der Gray-Code-Mapper **112** stellt diese Funktion bereit. Die resultierenden I- und Q-Werte aus dem Gray-Code-Mapper **112** werden mit einem Gewicht von 0,5 wie oben beschrieben gewichtet (der Einfachheit halber nicht gezeigt) und durch den Signalkombinierer **106** mit den das Niveau-1-Symbol repräsentierenden I- und Q-Werten kombiniert. Die resultierende Konstellation ist die in **Fig. 2b** dargestellte.

[0028] Eine solche Abbildung ist in dem Empfänger **300** unter Verwendung eines ähnlichen Gray-Code-Mappers umkehrbar. **Fig. 3c** zeigt einen Teil eines Empfängers **300** mit einem solchen Gray-Code-Mapper **314**. In **Fig. 3c** wird der Ausgangsanschluß des Neucodierers **308** an einen Eingangsanschluß des Gray-Code-Mappers **314** angekoppelt. Ein I-Signal aus dem Subtrahierer **310** (von **Fig. 1**) wird an einen I-Eingangsanschluß des Gray-Code-Mappers **314** und ein Q-Signal aus dem Subtrahierer **310** an einen Q-Eingangsanschluß des Gray-Mappers **314** angekoppelt. Ein I-Ausgangsanschluß des Gray-Code-Mappers **314** wird an einen I-Eingangsanschluß des zweiten Decodierers **312** und ein Q-Ausgangsanschluß des Gray-Code-Mappers **314** an einen Q-Eingangsanschluß des zweiten Decodierers **312** angekoppelt.

[0029] Im Betrieb erzeugt der Neucodierer **308** ein Signal, das eine ideale Repräsentation des empfangenen Niveau-1-Symbols ist. Das heißt, wenn von dem empfangenen Niveau-1-Signal bestimmt wird, daß es an einer beliebigen Stelle in dem oberen rechten Quadranten liegt, erzeugt der Neucodierer **308** ein Signal mit dem Wert 0; bei einer beliebigen Stelle in dem oberen linken Quadranten einen Wert 1, bei einer beliebigen Stelle in dem unteren rechten Quadranten einen Wert 2 und bei einer beliebigen Stelle in dem unteren linken Quadranten einen Wert 3. Dieses Symbol wird einem Gray-Code-Mapper **314** zugeführt. Jeweilige I- und Q-Signale aus dem Subtrahierer **310** werden durch den Gray-Code-Mapper **314** auf die oben beschriebene und in **Fig. 3b** dargestellte Weise verarbeitet. Für Fachleute ist erkennbar, daß der Gray-Code-Mapper **314** in dem Empfänger **300** identisch wie der Gray-Code-Mapper **112** in **Fig. 3a** arbeitet und die umgekehrte Funktion wie in dem Sender **100** durchführt.

[0030] Die Verwendung der Gray-Code-Mapper (**112** und **312**) in dem Sender **100** und in dem Empfänger **300** ermöglicht die Verwendung einer Konstellation wie in **Fig. 2b** dargestellt auf die oben mit Bezug auf **Fig. 3a** beschriebene Weise. Ein Übertragungssystem, das die oben beschriebene Gray-Code-Abbildungsfunktion verwendet, um eine Konstellation zu erzeugen, in der sich angrenzende Konstel-

lationspunkte um nicht mehr als ein einziges Bit unterscheiden, erhöht die Bitfehlerrate des Systems. Simulationen haben gezeigt, daß eine Gray-Codierung wie oben beschrieben die Anzahl von Niveau-2-Bitfehlern halbiert. Dadurch wird eine zusätzliche Reserve in dem Signal/Rauschverhältnis (SNR) von etwa $\frac{1}{4}$ dB bereitgestellt. Obwohl sie mäßig ist, liefert diese Verbesserung zusammen mit weiteren Verbesserungen eine verbesserte Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems als Ganzes.

[0031] [Fig. 4](#) ist ein ausführlicheres Blockschaltbild eines Teils des in [Fig. 1](#) dargestellten Übertragungssystems, das die Funktionsweise verschiedener Fehlerdetektions-/korrekturcodes für verschiedene Niveaus herstellt. Wie oben beschrieben, erleiden verschiedene Niveaus der QPSK-Modulation aufgrund der Komprimierung der Distanz zwischen den Konstellationspunkten in den höheren Niveaus der Modulation durch die bei Satellitenausstrahlungen verwendeten nichtlinearen Hochleistungsverstärker verschiedene Grade der Verschlechterung. Genauer gesagt treten Bitfehler naturgemäß in höheren Niveaus der hierarchischen Modulation häufiger als in niedrigeren Niveaus auf. Um die Bitfehlerraten der Niveau-1- und Niveau-2-Signale besser anzupassen, werden in den jeweiligen Datenströmen Fehlerdetektions-/korrekturcodes mit verschiedenen Leistungsfähigkeitseigenschaften verwendet. Genauer gesagt werden in Datenströmen höherer Niveaus leistungstärkere Fehlerdetektions-/korrekturcodierungen verwendet, während an Datenströmen niedrigerer Niveaus weniger leistungsstarke Fehlerdetektions-/korrekturcodierungen verwendet werden. Dadurch wird die Gesamtleistungsfähigkeit und Informationsübertragungskapazität des Übertragungssystems optimiert.

[0032] In [Fig. 4](#) sind die Elemente, die mit den in [Fig. 1](#) dargestellten übereinstimmen, mit derselben Bezugszahl gekennzeichnet und werden nachfolgend nicht ausführlich beschrieben. In [Fig. 4](#) wird der erste Fehlerdetektions-/korrekturcodierer **102** in dem Sender **100** in eine Reihenschaltung eines äußeren Codierers **102(O)** und eines inneren Codierers **102(I)** aufgeteilt. Ähnlich wird der zweite Fehlerdetektions-/korrekturcodierer **108** in eine Reihenschaltung eines äußeren Codierers **108(O)** und eines inneren Codierers **108(I)** aufgeteilt. Auf entsprechende Weise wird der erste Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer **304** in dem Empfänger **300** in eine Reihenschaltung eines inneren Decodierers **304(I)** und eines äußeren Decodierers **304(O)** aufgeteilt. Ähnlich wird der zweite Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer **312** in eine Reihenschaltung eines inneren Decodierers **312(I)** und eines inneren Codierers **312(O)** aufgeteilt. Wie in dem oben erwähnten Patent besprochen wird, implementieren die äußeren Paare von Codierer/Decodierer eine Blockcodierungstechnik, wie zum Beispiel Hamming-Codes, Hadamard-Codes, zyklische Co-

des und Reed-Solomon-(RS-)Codes, während die inneren Paare von Codierer/Decodierer einen Faltungscode implementieren.

[0033] In [Fig. 4](#) ist die für den Niveau-2-Datenstrom verwendete Codierung leistungsstärker als die für den Niveau-1-Datenstrom verwendete Codierung. Genauer gesagt ist der in dem inneren Paar von Codierer/Decodierer in dem Niveau-2-Datenstrom verwendete Faltungscode leistungsstärker als der in dem inneren Paar von Codierer/Decodierer in dem Niveau-1-Datenstrom verwendete Faltungscode. Zum Beispiel implementiert bei einer bevorzugten Ausführungsform das erste innere Paar von Codierer/Decodierer, das den Niveau-1-Datenstrom verarbeitet, einen auf eine Rate von [?] punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7. Das zweite innere Paar von Codierer/Decodierer, das den Niveau-2-Datenstrom verarbeitet, implementiert einen Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ ohne Punktierung. Die Codierung des Niveau-2-Datenstroms ist leistungsstärker als die des Niveau-1-Datenstroms. Dadurch wird die Bitfehlerratenleistungsfähigkeit der Datenströme von Niveau 1 und Niveau 2 besser angepaßt und die Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems als Ganzes optimiert.

[0034] Wie oben beschrieben und in [Fig. 1](#) dargestellt, kooperieren der Niveau-1-Demodulator **302** und der Decodierer **304**, um das Signal DATA 1 aus der empfangenen Konstellation zu detektieren. Ein rekonstruiertes ideales Signal aus dem Neucodierer **308**, das dieses detektierte Signal DATA 1 repräsentiert, wird dann von der empfangenen Konstellation subtrahiert und führt im Idealfall zu einer Übersetzung der empfangenen Konstellation, um eine weitere Konstellation der Subquadranten in dem detektierten Quadranten zu bilden. Diese Übersetzungsoperation ist jedoch sehr empfindlich gegenüber einer etwaigen Fehlanpassung zwischen dem tatsächlichen „Mittelpunkt“ des Quadranten, so wie er empfangen wird, und dem idealen Mittelpunkt (verschoben um ± 1 vom Ursprung der Niveau-1-Konstellation), der von dem Neucodierer **308** angenommen wird. Jegliche Fehlanpassung in bezug auf Größe zwischen der empfangenen Konstellation und der idealen Konstellation führt dazu, daß der tatsächliche Mittelpunkt des empfangenen Quadranten von dem angenommenen Mittelpunkt verschoben ist, und wenn die empfangene Konstellation durch den Neucodierer **308** und den Subtrahierer **310** übersetzt wird, führt sie dazu, daß der tatsächliche Mittelpunkt des verschobenen Subquadranten von dem durch den zweiten Decodierer **312** angenommenen Ursprung verschoben ist. Die Verstärkung des Empfangskanals muß also präzise angepaßt werden, um den Mittelpunkt des Subquadranten an den richtigen Ort (Ursprung) zu legen, damit er genau von dem zweiten Decodierer **312** decodiert wird.

[0035] Bei bekannten Übertragungssystemen wird die Verstärkung des Systems durch Vergleichen der empfangenen Konstellation von Datenpunkten mit einer bekannten idealen Konstellation von Datenpunkten bestimmt. Mit der genauen Aufrechterhaltung der Verstärkung auf diese Weise sind jedoch mehrere Probleme verbunden. Erstens können bei bestimmten Übertragungssystemen die Orte der Konstellationspunkte absichtlich von ihren idealen Orten verzerrt werden. Die resultierende Konstellation weist nicht die in [Fig. 2](#) dargestellten gleichbeabstandeten Punkte auf. Zweitens ist der Übertragungskanal nicht konstant und kann rauschbehaftet mit veränderlichen Geraden der Nichtlinearität sein. Um den Ort des Mittelpunkts der Quadranten und somit die Verstärkung des Systems zu bestimmen, wird bei solchen Systemen der Schwerpunkt aller Datenpunkte in den Quadranten bestimmt.

[0036] [Fig. 7](#) ist ein Blockschaltbild von Schaltkreisen zur Bestimmung des Schwerpunkts eines Quadranten einer empfangenen Konstellation von Datenpunkten. In [Fig. 7](#) empfängt ein Rotator **321** I- und Q-Werte, die I- und Q-Komponenten sukzessiver empfangener Datenpunkte aus dem Niveau-1-De-modulator **302** (von [Fig. 1](#)) repräsentieren. Ein I-Ausgangsanschluß des Rotators **321** ist an einen Eingangsanschluß eines I-Tiefpaßfilters (LPF) **320** angekoppelt. Ein Q-Ausgangsanschluß des Rotators **321** ist an einen Eingangsanschluß eines Q-LPF **322** angekoppelt. Jeweilige Ausgangsanschlüsse der I- und Q-LPFs **320** und **322** werden an entsprechende Eingangsanschlüsse einer Betragsberechnungsschaltung **324** angekoppelt. Ein Ausgangsanschluß der Betragsberechnungsschaltung **324** wird an den Neucodierer **308** angekoppelt.

[0037] Im Betrieb rotiert der Rotator **321** alle empfangenen Werte aus jedem Quadranten, in dem sie empfangen wurden, auf bekannte Weise in den oberen rechten Quadranten. [Fig. 5](#) ist ein Diagramm einer empfangenen Konstellation und zeigt die Orte mehrerer sukzessiver empfangener modulierter Datenpunkte. Die empfangenen Datenpunkte bilden Streuungen in ihren jeweiligen Umgebungen der angenommenen Orte der empfangenen Konstellationspunkte in allen vier Quadranten. [Fig. 6](#) ist ein Diagramm des oberen rechten Quadranten einer empfangenen Konstellation, wovon alle Datenpunkte durch den Rotator **321** zu diesem Quadranten rotiert wurden. Der in [Fig. 6](#) dargestellte Quadrant repräsentiert eine Konstellation, die entweder durch absichtliche Vorverzerrung der übertragenen Konstellationspunkte und/oder durch Betrieb des Übertragungskanals **200** verzerrt wurde.

[0038] Die I-Komponente der rotierten Datenpunkte aus dem Rotator **321** wird in dem LPF **320** mit einem gleitenden beweglichen Mittelwert von Punkten tiefpaßgefiltert. Bei der dargestellten Ausführungsform

wird der gleitende bewegliche Mittelwert unter Verwendung der vorherigen 500 Datenpunkte berechnet. Die Q-Komponente der rotierten Datenpunkte aus dem Rotator **321** wird ähnlich mit einem gleitenden beweglichen Mittelwert tiefpaßgefiltert. Für Fachleute ist verständlich, daß die Tiefpaßfilter **320**, **322** auch unter Verwendung jeweiliger IIR-Digitalfilter konstruiert werden können. Die Tiefpaßfilteroperation erzeugt die jeweiligen I- und Q-Komponenten des Schwerpunkts der empfangenen Datenpunkte in dem Quadranten. Die Schätzung des Betrags des Schwerpunkts wird in der Betragsberechnungsschaltung **324** berechnet. Wenn zum Beispiel $r_i[n]$ die gefilterte gleichphasige I-Komponente und $r_q[n]$ die gefilterte Quadratur-Q-Komponente ist, dann wird der Betrag des Schwerpunkts als

$$M = \sqrt{r_i[n]^2 + r_q[n]^2}$$

berechnet. Der Betrag des Schwerpunkts M sollte im Idealfall $\sqrt{2} = 1,4$ betragen. Der Betrag des idealen rekonstruierten Signals aus dem Neucodierer **308** wird als Reaktion auf den Betrag des berechneten Schwerpunkts M eingestellt. Durch richtiges Einstellen des Betrags des rekonstruierten idealen Signals aus dem Neucodierer **308** werden die Mitten der jeweiligen empfangenen Quadranten ordnungsgemäß durch den Subtrahierer **310** in den Ursprung verschoben und ermöglichen eine genaue Decodierung der Niveau-2- und höheren Datensignale.

[0039] Die in [Fig. 7](#) dargestellte Schaltung arbeitet unabhängig von dem Übertragungsverfahren, ob linear oder nichtlinear. Sie arbeitet auch bei Anwesenheit einer vorverzerrten Übertragungskonstellation oder mit vom Standard abweichenden Gruppierungsfaktoren (die später ausführlicher beschrieben werden) ordnungsgemäß. Es hat sich gezeigt, daß die Schaltung in der Praxis bei Verwendung an einem hierarchischen 16QAM-Übertragungssystem über einen linearen Kanal im Vergleich mit exakter Kenntnis der Orte der Mitten der Quadranten ohne meßbare Verschlechterung gut arbeitet. Die Schaltung arbeitet auch gut bei Anwesenheit von Rauschen und insbesondere bei Anwesenheit von durch nichtlineare Kanäle, wie sie zum Beispiel in Direktsatelliten-Fernseh-signalübertragungssystemen anzutreffen sind, verursachten Kanalverzerrungen. Eine solche Schaltung verbessert die Leistungsfähigkeit der Datenströme höherer Niveaus und verbessert somit die Gesamtleistungsfähigkeit des Übertragungssystems.

[0040] Wieder mit Bezug auf [Fig. 1](#) wird bei bekannten hierarchischen QAM-Übertragungssystemen die von dem Niveau-2-Modulator **110** erzeugte Konstellation in dem Signalkombinierer **106** mit der durch den Niveau-1-Modulator **104** erzeugten Konstellation nach Gewichtung in dem variablen Verstärker **111** mit einem Faktor von 0,5 kombiniert. Der Gewichtungsfaktor von 0,5 wird als der Gruppierungsfaktor bezeichnet und kann verändert werden, um die relative

Leistungsfähigkeit der Datenströme von Niveau 1 und Niveau 2 zu verändern, wie später ausführlicher beschrieben wird. Mit Bezug auf **Fig. 2a** besteht die resultierende Konstellation aus gleichbeabstandeten Konstellationspunkten. Wie oben beschrieben, führt eine solche Anordnung zu einem Übertragungssystem, in dem die Leistungsfähigkeit des Niveau-1-Datenstroms im Hinblick auf die Bitfehlerrate besser als die des Niveau-2-Datenstroms ist. Durch Variieren des Gruppierungsfaktors können die relative Leistungsfähigkeit der Datenströme von Niveau 1 und Niveau 2 besser angepaßt sein.

[0041] Mit Bezug auf **Fig. 8a** wird die Verstärkung des variablen Verstärkers (**111** von **Fig. 1**) auf 0,3 aufbereitet. Die resultierenden Konstellationspunkte sind nur um 0,3 von dem Mittelpunkt des Quadranten beabstandet. Für Fachleute ist erkennbar, daß in der in **Fig. 8a** dargestellten Konstellation die Konstellationspunkte in einem Quadranten weiter von Konstellationspunkten in anderen Quadranten entfernt liegen als in der in **Fig. 2a** dargestellten Konstellation. Umgekehrt liegen die Konstellationspunkte in einem Quadranten näher beieinander als die in **Fig. 2a** dargestellten. Ein solches System ermöglicht eine genauere Bestimmung, in welchem Quadranten sich das Niveau-1-Datensignal befindet, zu Lasten einer weniger genauen Bestimmung des Konstellationspunkts des Niveau-2-Datensignals in dem Quadranten, wodurch die Leistungsfähigkeit des Niveau-1-Datenstroms vergrößert und die Leistungsfähigkeit des Niveau-2-Datenstroms im Vergleich zu dem System von **Fig. 2a** verkleinert wird.

[0042] Mit Bezug auf **Fig. 8b** wird die Verstärkung des variablen Verstärkers (**111** von **Fig. 1**) auf 0,7 aufbereitet. Die resultierenden Konstellationspunkte sind um 0,7 von dem Mittelpunkt des Quadranten beabstandet. Für Fachleute ist erkennbar, daß in der in **Fig. 8b** dargestellten Konstellation die Konstellationspunkte in einem Quadranten näher bei Konstellationspunkten in anderen Quadranten als bei der in **Fig. 2a** dargestellten Konstellation liegen. Umgekehrt liegen die Konstellationspunkte in einem Quadranten weiter auseinander als die in **Fig. 2a** dargestellten. Ein solches System ermöglicht eine genauere Bestimmung des Konstellationspunkts des Niveau-2-Datensignals in dem Quadranten zu Lasten einer weniger genauen Bestimmung, in welchem Quadranten sich das Niveau-1-Datensignal befindet, wodurch also die Leistungsfähigkeit des Niveau-2-Datenstroms vergrößert und die Leistungsfähigkeit des Niveau-1-Datenstroms im Vergleich zu dem System von **Fig. 2a** verkleinert wird.

[0043] Durch richtiges Einstellen der Verstärkung des variablen Verstärkers **111** (von **Fig. 1**) kann die Gruppierung der Konstellationspunkte in jedem Cluster optimal plaziert werden, um die Leistungsfähigkeit der Datenströme von Niveau 1 und Niveau 2 genauer

anzupassen. Es wurde bestimmt, daß für ein 16QAM-Übertragungssystem, das durch einen nicht-linearen Direksatelliten-Fernsehkanal gesendet wird, ein Gruppierungsfaktor von etwa 0,6 bis etwa 0,7 die Bitfehlerratenleistungsfähigkeit der Datenströme von Niveau 1 und Niveau 2 besser anpaßt. Dadurch wird die Gesamtleistungsfähigkeit des Übertragungssystems als Ganzes verbessert.

Patentansprüche

1. Hierarchisches QAM-Übertragungssystem, umfassend:
 einen auf einen ersten Datenstrom (DATA 1) und einen zweiten Datenstrom (DATA 2) reagierenden hierarchischen QAM-Sender (**100**) zum Senden eines hierarchischen QAM-Signals, das ein Niveau-1-Signal, das den ersten Datenstrom (DATA 1) repräsentiert und eine uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit aufweist, und ein Niveau-2-Signal, das den zweiten Datenstrom (DATA 2) repräsentiert und eine uncodierte zweite Bitfehlerratenleistungsfähigkeit, die kleiner als die erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit ist, aufweist, umfaßt;
 einen an den hierarchischen QAM-Sender (**100**) angekoppelten hierarchischen QAM-Empfänger (**300**) zum Empfangen des hierarchischen QAM-Signals und zum Erzeugen eines empfangenen ersten (DATA 1') und zweiten (DATA 2') Datenstroms;
 den ersten Datenstrom (DATA 1) verarbeitende erste Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102, 304**) zum Codieren des ersten Datenstroms (DATA 1) mit einem Code mit einer ersten Detektions-/korrekturleistung; und
 den zweiten Datenstrom (DATA 2) verarbeitende zweite Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108, 312**) zum Codieren des zweiten Datenstroms (DATA 2) mit einem Code mit einer zweiten Fehlerdetektions-/korrekturleistung; dadurch gekennzeichnet, daß
 die codierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der codierten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des zweiten Datenstroms näher kommt als die uncodierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der uncodierten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des zweiten Datenstroms.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
 der hierarchische QAM-Empfänger (**300**) folgendes umfaßt:
 einen an dem hierarchischen QRM-Sender (**100**) angekoppelten Eingangsanschluß zum Empfangen des hierarchischen QAM-Signals; und
 einen ersten Ausgangsanschluß zum Erzeugen des empfangenen ersten Datenstroms (DATA 1') und einen zweiten Ausgangsanschluß zum Erzeugen des zweiten Datenstroms (DATA 2'); wobei
 die ersten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise

(**102, 304**) einen zwischen den Eingangsanschluß und den ersten Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Empfängers (**300**) gekoppelten ersten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304**) zum Decodieren des codierten ersten Datenstroms (DATA 1') umfassen; und

die zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108, 312**) einen zwischen den Eingangsanschluß und den zweiten Ausgangsanschluß gekoppelten zweiten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**312**) zum Decodieren des codierten zweiten Datenstroms (DATA 2') umfassen.

3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der erste (DATA 1) und der zweite (DATA 2) Datenstrom mit jeweils verschiedenen Faltungscodes codiert werden; und
der erste und der zweite Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304, 312**) jeweils mit den verschiedenen Faltungscodes codierte Daten decodieren.

4. System nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102, 304**) den ersten Datenstrom mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codieren; und
die zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108, 312**) den zweiten Datenstrom mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codieren; wobei
der erste Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304**) den ersten Datenstrom mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 decodiert und
der zweite Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**312**) den zweiten Datenstrom mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 decodiert.

5. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der hierarchische QAM-Sender (**100**) folgendes umfaßt:
einen an eine Quelle des ersten Datenstroms (DATA 1) angekoppelten ersten Eingangsanschluß und einen an eine Quelle des zweiten Datenstroms (DATA 2) angekoppelten zweiten Eingangsanschluß; und
einen an den hierarchischen QAM-Empfänger (**300**) angekoppelten Ausgangsanschluß zum Erzeugen des hierarchischen QAM-Signals; wobei
die ersten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102, 304**) einen zwischen den ersten Eingangsanschluß und den Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Senders (**100**) gekoppelten ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**102**) zum Codieren des ersten Datenstroms (DATA 1) unter Verwendung eines Fehlerdetektions-/korrekturcodes mit der ersten Fehlerdetektions-/korrekturleistung umfassen; und

die zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108, 312**) einen zwischen den zweiten Eingangsanschluß und den Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Senders (**100**) gekoppelten zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**108**) zum Codieren des zweiten Datenstroms (DATA 2) unter Verwendung eines zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodes mit der zweiten Fehlerdetektions-/korrekturleistung, die größer ist als die Leistung des ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodes, umfassen.

6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste (**102**) und der zweite (**108**) Fehlerdetektions-/korrekturcodierer Faltungscodierer sind, die mit jeweils verschiedenen Faltungscodes codieren.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**102**) mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert; und
der zweite Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**108**) mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert.

8. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der hierarchische QAM-Empfänger (**300**) folgendes umfaßt:

einen an den hierarchischen QAM-Sender (**100**) angekoppelten Eingangsanschluß zum Empfangen des hierarchischen QAM-Signals; und

einen ersten Ausgangsanschluß zum Erzeugen des empfangenen ersten Datenstroms (DATA 1') und einen zweiten Ausgangsanschluß zum Erzeugen des empfangenen zweiten Datenstroms (DATA 2'); wobei
die ersten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102, 304**) ferner einen zwischen den Eingangsanschluß und den ersten Ausgangsanschluß (DATA 1') gekoppelten ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**304**) zum Decodieren des codierten ersten Datenstroms umfassen; und
die zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108, 312**) ferner einen zwischen den Eingangsanschluß und den zweiten Ausgangsanschluß (DATA 2') gekoppelten zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**312**) zum Decodieren des codierten zweiten Datenstroms umfassen.

9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der erste (**102**) und zweite (**108**) Fehlerdetektions-/korrekturcodierer Faltungscodierer sind, die mit jeweils verschiedenen Faltungscodes codieren; und
der erste (**304**) und der zweite (**312**) Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer Faltungscodierer sind, die durch den ersten bzw. zweiten Fehlerdetekti-

ons-/korrekturcodierer codierte Daten decodieren.

10. System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein auf Rate 7/8 punktierter Faltungscode mit einer Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 durch den ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**102**) codiert und den ersten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304**) decodiert wird
ein Faltungscode mit einer Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 durch den zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**108**) codiert und den zweiten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**312**) decodiert wird.

11. System nach Anspruch 8, ferner gekennzeichnet durch einen Satelliten (**200**) zum Empfangen eines Signals von einer Bodenstation und zum Ausstrahlen des Signals zu Empfangsstationen; wobei der hierarchische QAM-Sender (**100**) ferner eine an den Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Senders angekoppelte Satellitenbodenstationsendeantenne zum Senden des QAM-Signals zu dem Satelliten umfaßt;
der hierarchische QAM-Empfänger (**300**) ferner eine an den Eingangsanschluß des hierarchischen QAM-Empfängers angekoppelte Satellitenempfangsantenne zum Empfangen des QAM-Signals von dem Satelliten umfaßt.

12. Hierarchisches QAM-Übertragungssystem, umfassend:
eine Quelle eines ersten (DATA 1) und eines zweiten (DATA 2) Datenstroms;
einen auf den ersten (DATA 1) und den zweiten (DATA 2) Datenstrom reagierenden hierarchischen QAM-Sender (**100**) zum Senden eines hierarchischen QAM-Signals, das ein Niveau-1-Signal, das den ersten Datenstrom (DATA 1) repräsentiert und eine uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit aufweist, und ein Niveau-2-Signal, das den zweiten Datenstrom (DATA 2) repräsentiert und eine uncodierte zweite Bitfehlerratenleistungsfähigkeit, die niedriger als die uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit ist, aufweist, umfaßt;
den ersten Datenstrom verarbeitende erste Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102**) zum Codieren des ersten Datenstroms mit einem Code mit einer ersten Detektions-/korrekturleistung; und
den zweiten Datenstrom verarbeitende zweite Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108**) zum Codieren des zweiten Datenstroms mit einem Code mit einer zweiten Fehlerdetektions-/korrekturleistung, dadurch gekennzeichnet, daß die codierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der codierten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des zweiten Datenstroms näher kommt als die uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit der uncodierten zweiten Bitfehlerra-

tenleistungsfähigkeit.

13. Übertragungssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der hierarchische QAM-Sender folgendes umfaßt:
einen an eine Quelle des ersten Datenstroms (DATA 1) angekoppelten ersten Eingangsanschluß und einen an eine Quelle des zweiten Datenstroms (DATA 2) angekoppelten zweiten Eingangsanschluß; und einen Ausgangsanschluß zum Erzeugen des hierarchischen QAM-Signals; wobei die ersten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**102**) einen zwischen den ersten Eingangsanschluß und den Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Senders gekoppelten ersten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**102**) zum Codieren des ersten Datenstroms unter Verwendung eines Fehlerdetektions-/korrekturcodes mit der ersten Fehlerdetektions-/korrekturleistung umfassen; und die zweiten Fehlerdetektions-/korrekturschaltkreise (**108**) einen zwischen den zweiten Eingangsanschluß und den Ausgangsanschluß des hierarchischen QAM-Senders gekoppelten zweiten Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**108**) zum Codieren des zweiten Datenstroms unter Verwendung eines Fehlerdetektions-/korrekturcodes mit der zweiten Fehlerdetektions-/korrekturleistung, die größer als die Leistung der ersten Fehlerdetektions-/korrekturleistung ist, umfassen.

14. Übertragungssystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der erste (**102**) und der zweite (**108**) Fehlerdetektions-/korrekturcodierer mit jeweils verschiedenen Faltungscodes codierende Faltungscodierer sind.

15. Übertragungssystem nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**102**) mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert; und der zweite Fehlerdetektions-/korrekturcodierer (**108**) mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert.

16. Hierarchisches QAM-Empfangssystem, umfassend:
eine Quelle eines hierarchischen QAM-Signals, das ein Niveau-1-Signal, das einen ersten Datenstrom repräsentiert und eine uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit aufweist und durch einen ersten Code mit einer ersten Fehlerdetektions-/korrekturleistung codiert wird, und ein Niveau-2-Signal, das einen zweiten Datenstrom repräsentiert und eine uncodierte zweite Bitfehlerratenleistungsfähigkeit, die kleiner als die erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit ist, aufweist und durch einen zweiten Code mit einer zweiten Fehlerdetektions-/korrekturleistung codiert wird, umfaßt; und einen an den hierarchischen QAM-Sender angekop-

pelten hierarchischen QAM-Empfänger (**300**) zum Empfangen des hierarchischen QAM-Signals und zum Erzeugen eines erhaltenen ersten (DATA 1') und eines erhaltenen zweiten (DATA 2') Datenstroms; dadurch gekennzeichnet, daß

die codierte Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des ersten Datenstroms der codierten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit des zweiten Datenstroms näher kommt als die uncodierte erste Bitfehlerratenleistungsfähigkeit der uncodierten zweiten Bitfehlerratenleistungsfähigkeit.

17. Empfangssystem nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der hierarchische QAM-Empfänger folgendes umfaßt:

einen an die hierarchische QAM-Signalquelle angekoppelten Eingangsanschluß zum Empfangen des hierarchischen QAM-Signals;

einen ersten Ausgangsanschluß (DATA 1') zum Erzeugen des empfangenen ersten Datenstroms und einen zweiten Ausgangsanschluß (DATA 2') zum Erzeugen des empfangenen zweiten Datenstroms;

einen zwischen den Eingangsanschluß und den ersten Ausgangsanschluß (DATA 1') gekoppelten ersten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304**) zum Decodieren des codierten ersten Datenstroms; und einen zwischen den Eingangsanschluß und den zweiten Ausgangsanschluß (DATA 2') gekoppelten zweiten Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**312**) zum Decodieren des codierten zweiten Datenstroms.

18. Empfangssystem nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß

der erste und der zweite Datenstrom mit jeweils verschiedenen Faltungscodes codiert werden; und

der erste (**304**) und der zweite (**312**) Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer jeweils mit den verschiedenen Faltungscodes codierte Daten decodieren.

19. Empfangssystem nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß

der erste Datenstrom mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert wird; und

der zweite Datenstrom mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 codiert wird; wobei

der erste Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**304**) den ersten Datenstrom mit einem auf Rate 7/8 punktierten Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 decodiert; und

der zweite Fehlerdetektions-/korrekturdecodierer (**312**) den zweiten Datenstrom mit einem Faltungscode der Rate $\frac{1}{2}$ und Einschränkungslänge 7 decodiert.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

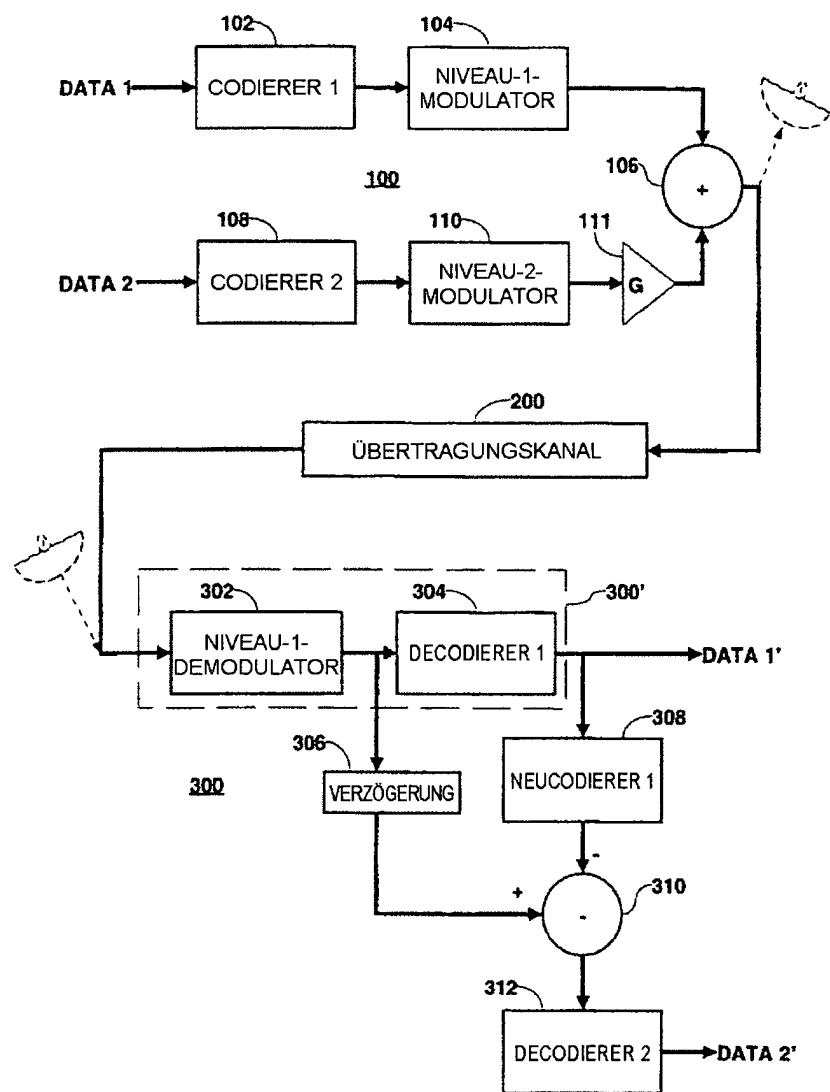


Fig. 1

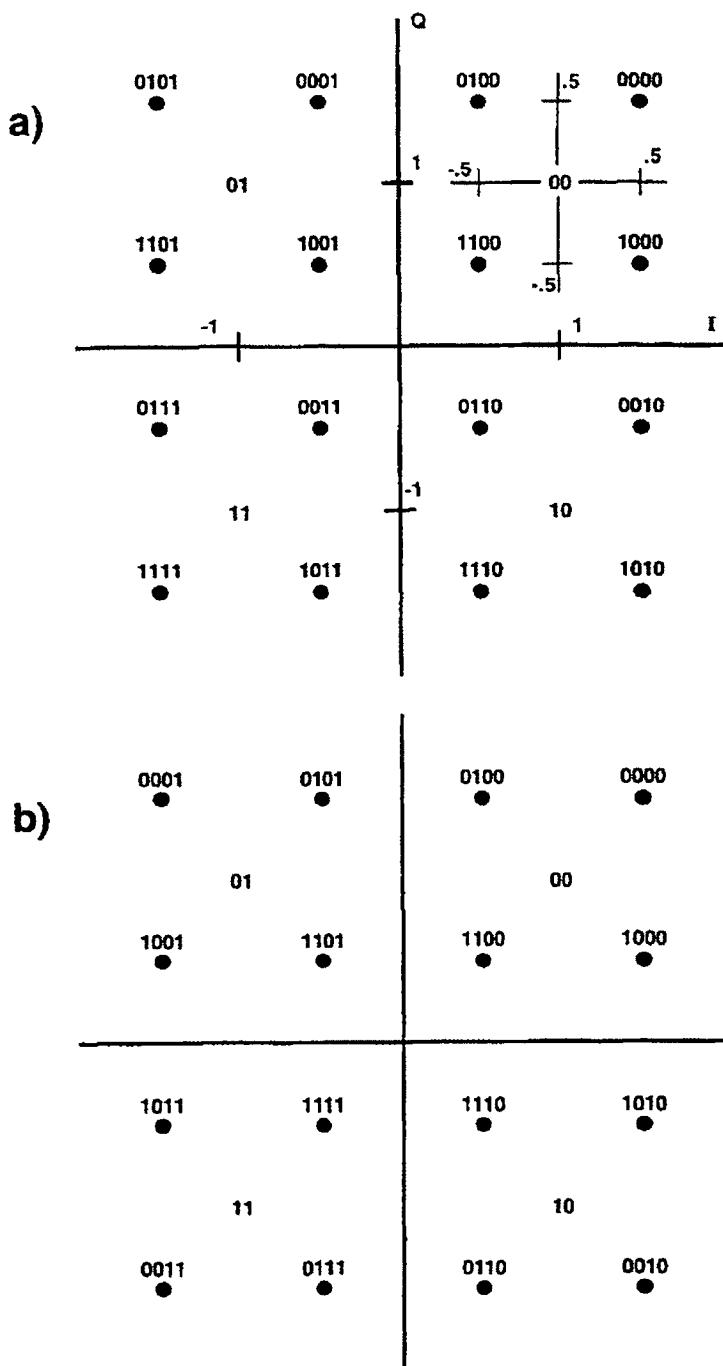
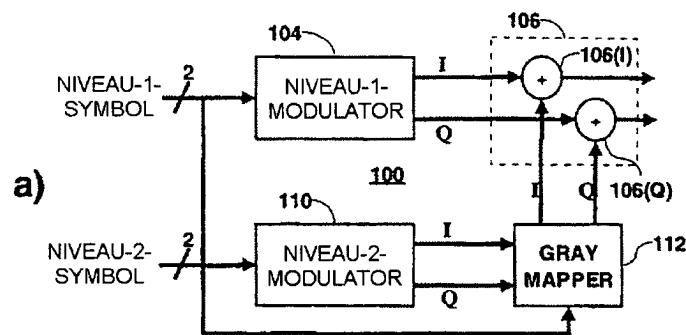


Fig. 2



b)

NIVEAU-1-SYMBOL	NIVEAU-2-Iout	NIVEAU-2-Qout
0	Iin	Qin
1	-Iin	Qin
2	Iin	-Qin
3	-Iin	-Qin

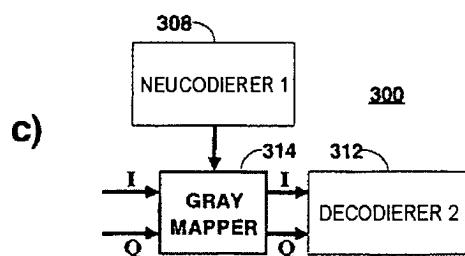


Fig. 3

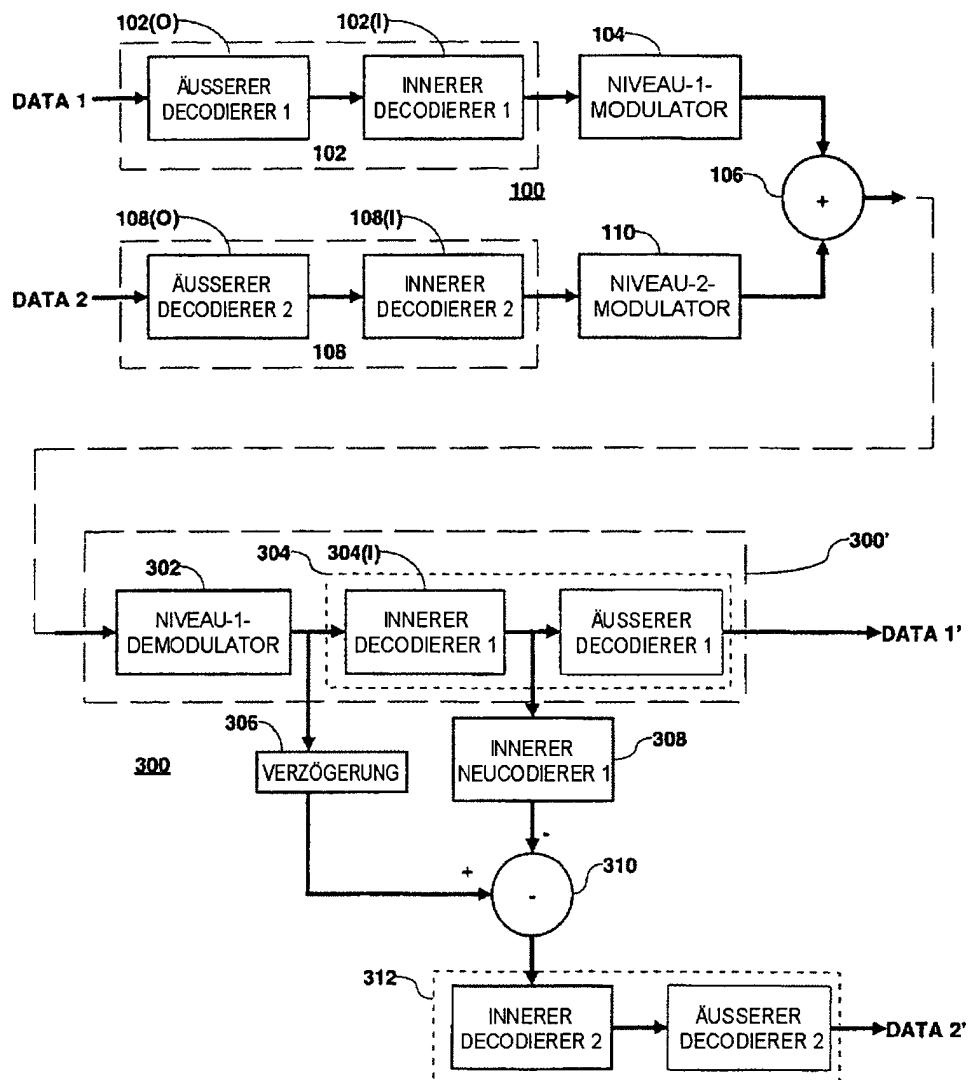


Fig. 4

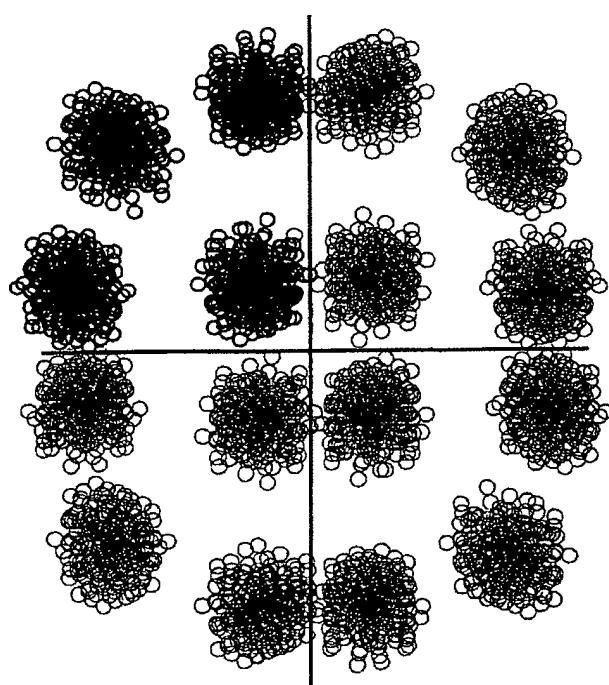


Fig. 5

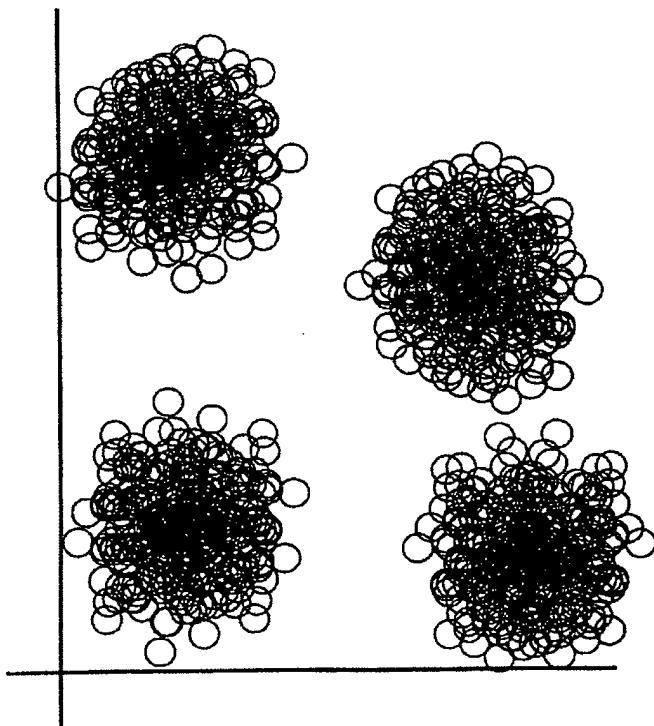


Fig. 6

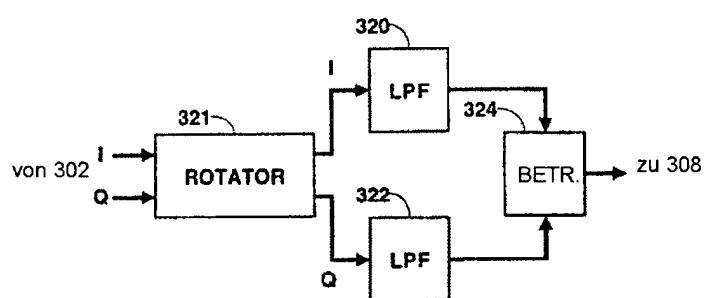


Fig. 7

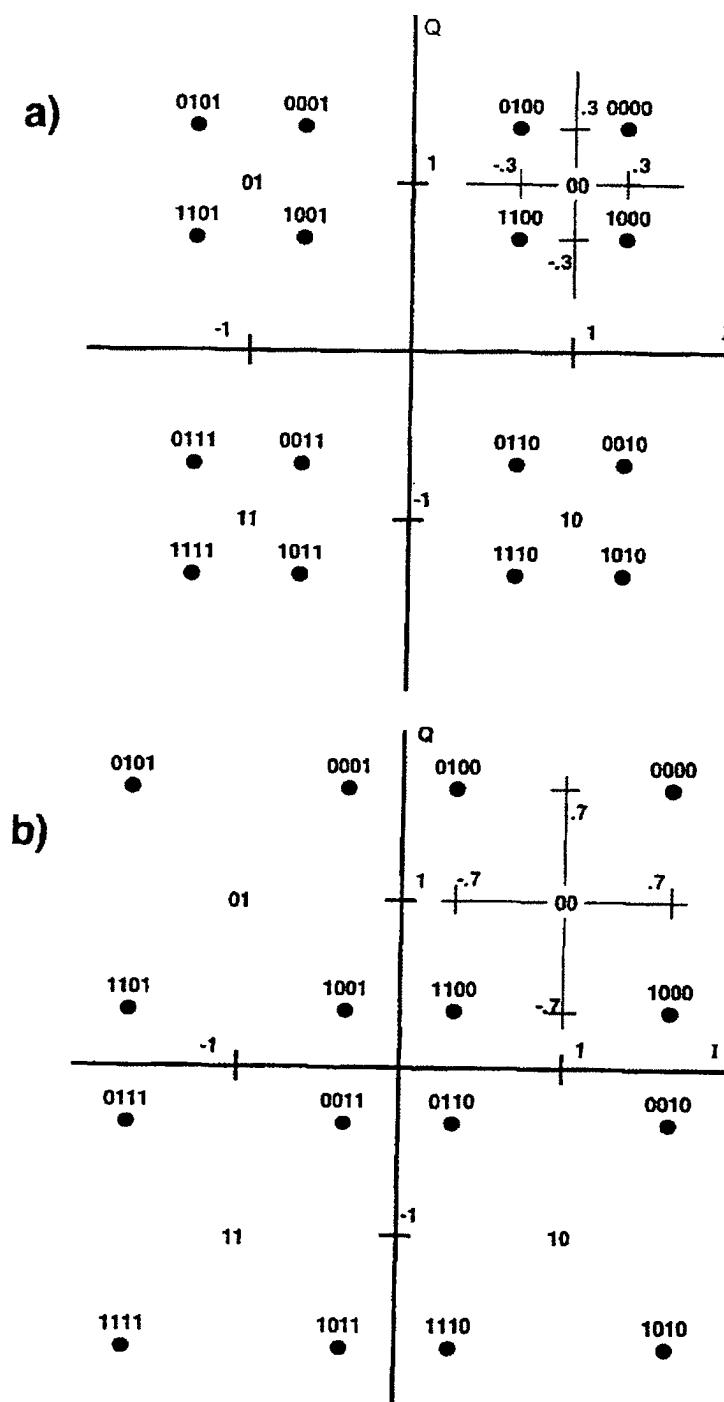


Fig. 8