

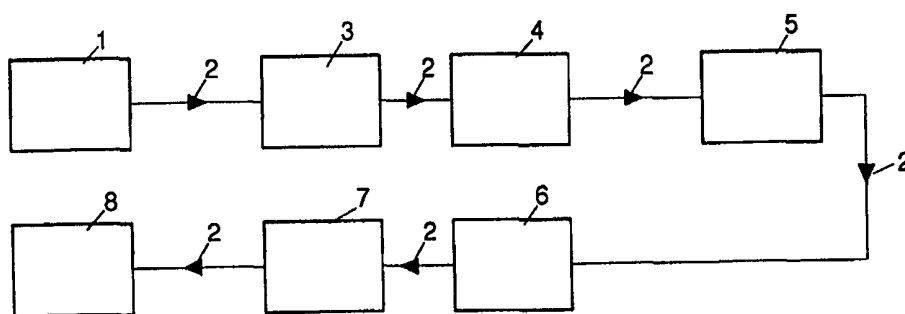
PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : H04L 27/00</p>	A2	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/25103</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 20. Mai 1999 (20.05.99)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP98/04789</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 31. Juli 1998 (31.07.98)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 197 48 880.3 6. November 1997 (06.11.97) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): DEUTSCHE TELEKOM AG [DE/DE]; Friedrich-Ebert-Allee 140, D-53113 Bonn (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HUBER, Klaus [DE/DE]; Rheinstrasse 18, D-64283 Darmstadt (DE).</p>	<p>(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, NO, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p>	

(54) Title: METHOD AND CIRCUIT ARRANGEMENT FOR IMPROVED DATA TRANSMISSION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR VERBESSERTEN DATENÜBERTRAGUNG



(57) Abstract

The invention relates to a method and a circuit arrangement for efficient use of multistage modulation methods using orthogonal base functions for the representation of a signal to be transmitted. A 16-QAM signal constellation can be used, for instance, in a simple and optimal way, for transmitting at low data rates. The circuit arrangement corresponding to said method comprises a source (1) which supplies a data stream (2) and is connected to a code converter (3) for converting the data stream. The output of the code converter (3) is connected to a modulator (4) in which the corresponding signal points are selected with the right probability. The data stream (2) is then transmitted over a channel (5), and a demodulator (6) situated downstream from a code converter (7) carries out the inverse operation.

(57) Zusammenfassung

Es werden ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren beschrieben, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals benutzen. Zum Beispiel, eine 16-QAM Signalkonstellation kann in einer einfachen und optimalen Weise dazu benutzt werden, um geringere Datenraten zu übertragen. Die zu diesem Verfahren entsprechende Schaltungsanordnung besteht aus einer Quelle (1), die einen Datenstrom (2) liefert und die mit einem Umcodierer (3) zur Codierung des Datenstroms verbunden ist. Der Ausgang des Umcodierers (3) ist mit einem Modulator (4) verbunden, in dem die entsprechenden Signalpunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit ausgewählt werden. Nach Übertragung des Datenstroms (2) über einen Kanal (5) folgt ein Demodulator (6), dem ein Umcodierer (7) nachgeschaltet ist, der die inverse Operation durchführt.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

- 1 -

B E S C H R E I B U N G

VERFAHREN UND SCHALTUNGSANORDNUNG ZUR
VERBESSERTEN DATENÜBERTRAGUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 9.

In der Nachrichtentechnik sind Übertragungsverfahren bekannt und auch in der Praxis im Einsatz, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals benutzen. Derartige Übertragungsverfahren sind zum Beispiel in dem Buch R.E. Blahut, Digital Transmission of Information, Addison-Wesley, Reading, 1990, Kapitel 2 und 3, beschrieben.

Ein Nachrichtensignal $s(t)$ im Basisband wird hierbei als Summe von orthogonalen Basisfunktionen dargestellt. Um die Nachricht $m = (m_0, m_1, m_2 \dots m_{k-1})$, wobei die m_j aus einem passend gewählten Alphabet ausgewählt sind, in das Signal $s(t)$ einzubinden, bildet man das Signal wie folgt:

$$s(t) = m_0 f_0(t) + m_1 f_1(t) + \dots + m_{k-1} f_{k-1}(t).$$

Ein Nachrichtensignal kann demzufolge als Punkt im K-dimensionalen Raum angesehen werden und zwar charakterisiert durch den Wertetupel $(m_0, m_1, \dots, m_{k-1})$. Die Gesamtheit aller zulässigen Signale bezeichnet man als Signalkonstellation. In der Praxis besonders beliebt sind zweidimensionale Signalkonstellationen, wie zum Beispiel die in Fig. 1 der vorliegenden Anmeldung abgebildete sogenannte 16-QAM Signalkonstellation. Diese 16-QAM Signalkonstellation ist zum Beispiel in dem obengenannten Buch, Seite 63 beschrieben. Bei allen hier betrachteten

BESTÄTIGUNGSKOPIE

- 2 -

Signalkonstellationen sei der Mindestabstand zweier Signalpunkte auf 1 normiert. Die bekannten Übertragungsverfahren zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren ermöglichen jedoch noch nicht die optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen. Zum einen können nämlich Signalkonstellationen, die sehr effizient sind, allerdings den Nachteil haben, daß die Anzahl der Signalpunkte keine Zweierpotenz ist und zum anderen können häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM noch nicht in einfacher und optimaler Weise dazu genutzt werden, geringe Datenraten zu übertragen.

Grundsätzliche theoretische Untersuchungen zur verbesserten Datenübertragung und zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung eines zu übertragenden Signals benutzen und die zum Beispiel das bekannte Huffman-Verfahren als Quellencodierverfahren anwenden sind in F.R. Kschischang, S. Pasupathy, "Optimal Nonuniform Signaling for Gaussian Channels", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 39, No. 3, May 1993, pp. 281-300, veröffentlicht. Praktische Implementationen dieser Untersuchungen in Form von Schaltungsanordnungen bzw. entsprechender Verfahren zum Betreiben solcher Schaltungsanordnungen sind jedoch nicht angegeben.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung mit effizienter Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren zu schaffen, die eine optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen ermöglichen und wodurch häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM, in einfacher und optimaler Weise zur Übertragung geringerer Datenraten genutzt werden können.

- 3 -

Die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe des Verfahrens ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 charakterisiert.

Weitere Lösungen bzw. Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Patentansprüchen 2 bis 8 und 12 bis 15 charakterisiert.

Die erfindungsgemäße Lösung für die Schaltungsanordnung ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 9 und eine weitere Ausgestaltung ist im Kennzeichen der Patentansprüche 10 bis 12 charakterisiert.

Weitere Lösungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung angegeben.

Das hier beschriebene Verfahren und die beschriebene Schaltungsanordnung ermöglichen die optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen. Dies kann für technische Anwendungen in zweierlei Hinsicht von Vorteil sein. Zum einen können Signalkonstellationen, die sehr effizient sind, allerdings den Nachteil haben, daß die Anzahl der Signalpunkte keine Zweierpotenz ist, nun auf einfache Art und Weise an praktisch verwendete Datenformate, zum Beispiel eine Bitfolge, angepaßt werden. Zum anderen können häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM, in einfacher Weise optimal dazu genutzt werden, um geringere Datenraten zu übertragen. So kann die 16-QAM Signalkonstellation dazu benutzt werden, um im Mittel 3 Bit pro Signalpunkt zu übertragen, statt der üblichen 4 Bit pro Signalpunkt. Dies kann zum Beispiel technisch nützlich sein, um in bestehenden Sendern und Empfängern, die etwa 8-QAM mit den Punkten $\{ (+-1/2, +-1/2), (+(1+\sqrt{3})/2, 0), (0, +-(1+\sqrt{3})/2) \}$ als Signalkonstellation benutzen (also 3 Bit pro Signalpunkt), auf 16-QAM mit optimierten Wahrscheinlichkeiten zu wechseln, bei gleichzeitigem Leistungsgewinn von ca. 1 dB.

- 4 -

Das Verfahren hat noch eine weitere Eigenschaft, die sich vorteilhaft nutzen läßt. Dies ist die besonders einfach zu bewerkstelligende Umcodierung, wenn der Eingangsdatenstrom eine gleich verteilte Folge, insbesondere Bitfolge ist. Die Umcodierung kann dann mit einem verlustlosen Dekompressionsverfahren wie etwa dem Huffman-Verfahren erfolgen. Die inverse Umcodierungsoperation auf der Empfängerseite erfolgt demgemäß mit dem zugehörigen Kompressionsverfahren. Eine gleichverteilte Folge bzw. Bitfolge erhält man zum Beispiel durch Verschlüsselung. Dies bedeutet, daß man die gegebenenfalls lästige Gewährleistung bzw. Erzeugung einer solchen Folge durch Hinzufügen eines Mehrwertes, nämlich der Verschlüsselung, erreichen kann. Da in zukünftigen Übertragungssystemen die Verschlüsselung eine immer größere Rolle spielen wird, und heute bei vielen Systemen schon mitgeliefert wird, ist das neue Verfahren besonders praktisch. Bei der Umcodierung von dem ankommenden Quellbitstrom zu den Signalpunkten, die durch den Kanal übertragen werden, wird ein Zwischenregister als Puffer benutzt, das dazu dient, die durch die Übertragung durch den Kanal auftretende zeitlich schwankende Bitrate an die Bitrate der Quelldaten anzupassen. Bei einer Schaltungsimplementierung hat dieses Zwischenregister eine bestimmte feste Länge. Daraus resultiert in der Praxis das Problem eines sogenannten Pufferüberlaufs. Um dieses Problem zu lösen, wird hier vorgeschlagen, die Kanaldatenrate größer als die Quellendatenrate zu wählen, wobei es vorteilhaft ist, die Kanaldatenrate geringfügig größer als die Quelldatenrate zu wählen. Dadurch ist es möglich, mit verhältnismäßig geringem Aufwand die Zwischenregisterlänge bzw. Pufferlänge anzugeben, so daß es nur noch mit vernachlässigbar kleiner (bekannter) Wahrscheinlichkeit zu einem Überlauf kommt. Bei größerer Kanaldatenrate als die Quellendatenrate kann es vorkommen, daß der Kanal bereit ist, Informationen zu übertragen, die von der Quelle noch nicht bereitgestellt

- 5 -

werden. Dieser Effekt wird hier genutzt, in dem man zum Beispiel statt der Quelldaten Synchronisationsdaten überträgt. Eine weitere Lösung besteht darin, statt der Synchronisationsdaten auch sonstige Header- bzw. Nutzdaten zu übertragen. Je größer die Kanaldatenrate ist, desto kürzer kann das Zwischenregister gewählt werden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Ausführungsbeispielen, die anhand der Zeichnungen und Tabellen beschrieben werden.

In der Beschreibung, in den Patentansprüchen, in der Zusammenfassung und in den Figuren der Zeichnung werden die in der hinten anhängenden Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und Bezugszeichen verwendet.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erklärt. In der Zeichnung bedeuten:

Fig. 1 eine 16-QAM Signalkonstellation;

Fig. 2 eine hexagonale Signalkonstellation;

Fig. 3+6 ein Prinzipschaltbild einer Schaltungsanordnung, die zur verbesserten Datenübertragung mit Hilfe effizienter Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren dient;

Fig. 4 eine Tabelle 1, die die Wahrscheinlichkeiten p_1 , p_2 , p_3 , p_4 für die Signalpunkte von Fig. 2 angibt und

Fig. 5 eine Tabelle 2, die die Abbildung der Binärdaten zu den Signalpunkten und umgekehrt darstellt.

- 6 -

Wie bereits ausgeführt wurde, benutzen bekannte Übertragungsverfahren orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals. Ein Nachrichtensignal $s(t)$ wird hierbei als Summe von orthogonalen Basisfunktionen dargestellt. Ein Nachrichtensignal kann als Punkt im K-dimensionalen Raum angesehen werden. Die Gesamtheit aller zulässigen Signalkunkte wird als Signalkonstellation bezeichnet, wobei die in Fig. 1 abgebildete sogenannte 16-QAM Signalkonstellation, die eine der zweidimensionalen Signalkonstellationen darstellt, besonders beliebt ist.

Hat eine Signalkonstellation insgesamt M Signalkunkte, von denen je M_j die Signalenergie E_j haben und ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines solchen Signalkunktes gleich p_j , so erreicht man die nach Leistung bzw. Informationsrate bei dieser Leistung optimalen Werte durch Einstellung der Wahrscheinlichkeiten gemäß der unten angegebenen Formel. Der Wert L gibt an, wieviel verschiedene Energiestufen insgesamt auftreten.

$$p_j = p_1 \left(\frac{p_L}{p_1} \right)^{\frac{(E_j - E_1)}{(E_L - E_1)}} \quad j = 1, 2, \dots, L \text{ und } E_{j+1} > E_j$$

Als Beispiel wird hier die hexagonale Signalkonstellation in Fig. 2 angegeben. Aus Normierungsgründen ist der Mindestabstand der Signalkunkte zu eins gewählt. Hier sind $L = 4$ Energiestufen vorhanden. $E_1 = 0$, $E_2 = 1$, $E_3 = 3$ und $E_4 = 4$. Es gibt einen Signalkpunkt mit Signalenergie Null ($M_1 = 1$) und je 6 Signalkpunkte mit Signalenergieen 1, 3 und 4, das heißt also $M_2 = M_3 = M_4 = 6$.

Um zum Beispiel einen Datenstrom mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung auf die entsprechenden Signalkpunkte abzubilden, wird ein verlustloser Datenkompressionsalgorithmus, wie zum Beispiel das Huffman-Verfahren, benutzt. Dieser Datenkompressionsalgorithmus

- 7 -

sorgt dafür, daß die entsprechenden Signalpunkte mit der oben angegebenen Wahrscheinlichkeit auftreten. Das Huffman-Verfahren ist zum Beispiel beschrieben in D.A. Huffman, "A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes", Proc. IRE, Vol. 40, Sept. 1952, Seiten 1098-1101. Im nachfolgenden Beispiel wird eine binäre Bitfolge, bei der die Wahrscheinlichkeit für Einsen und Nullen gleich ist und die Bits statistisch unabhängig sind, umcodiert und zwar so, daß mit der in Fig. 2 dargestellten Signalkonstellation mit 19 Signalpunkten effizient im Mittel $H = 4$ Bits pro Signalpunkt übertragen werden können. Aus der angegebenen Tabelle 1 nach Fig. 4 erhält man dann die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Signalpunkte. Anwendung eines Datenkompressionsverfahrens führt auf eine Zuordnung, wie man sie beispielsweise in Tabelle 2 findet. Mit der in Tabelle 2 gemäß Fig. 5 dargestellten Zuordnung kommt man der optimalen mittleren Signalenergie $E_s = 1,7224$ sehr nahe. Man erhält eine mittlere Signalenergie von 1,8125. Zum Vergleich, die herkömmliche 16-QAM Signalkonstellation hat eine mittlere Signalenergie von 2,5. Das heißt mit anderen Worten, gegenüber der bekannten 16-QAM erhält man bei diesem einfachen Verfahren eine Verbesserung von $10 \lg (2.5/1.8125)$ dB , das heißt etwa 1,4 dB. Mit komplexeren Zuordnungen kann man sich dem optimalen Wert beliebig annähern. Zur Veranschaulichung, mit obiger Zuordnung würde die mit einer Münze erzeugte Bitfolge 01110100001111100111011110001 dann mit den Signalpunkten Z_{32} Z_1 Z_{25} Z_{23} Z_{25} Z_{21} Z_{24} Z_{25} übertragen. Dabei ist Z_1 der Signalpunkt mit Energie Null, Z_{2j} , wobei $j = 1..6$ ist, sind die Signalpunkte mit Energie 1, Z_{3j} sind die Signalpunkte mit Energie 3 und Z_{4j} sind die Punkte mit Energie 4. Die Decodierung nach der Übertragung folgt entsprechend.

- 8 -

Im folgenden wird anhand eines Prinzipschaltbildes nach Fig. 3 der Aufbau einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens näher erklärt.

Es wird angenommen, daß eine Datenquelle 1 einen Datenstrom 2 liefert. Ein Umcodierer 3 sorgt dann dafür, daß ein Modulator 4 die entsprechenden Signalpunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit auswählt. Nach Übertragung des Datenstromes 2 über einen Übertragungskanal 5 folgt nach einem nachgeschalteten Demodulator 6 mit Hilfe eines Umcodierers 7 die entsprechende inverse Operation, worauf schließlich der Datenstrom 2 zu einer Datensenke 8 gelangt. Der jeweilige Datenstrom 2 ist auf den Verbindungs- bzw. Übertragungsleitungen oder -kanälen zwischen den Komponenten 1, 3 bis 8 durch Pfeilspitzen auf den jeweiligen Leitungen bzw. Kanälen dargestellt.

Bei der Umcodierung von dem ankommenden Quellbitstrom zu den Signalpunkten, die durch den Kanal übertragen werden, wird ein nicht dargestelltes Zwischenregister als Puffer eingefügt, das dazu dient, die durch die Übertragung durch den Kanal auftretende zeitlich schwankende Bitrate an die Bitrate der Quelldaten anzupassen. Das Zwischenregister bzw. der Puffer hat in jeder Implementation in Form einer Schaltung eine bestimmte Länge, woraus sich in der Praxis ein Problem ergeben kann, das in der Möglichkeit eines Überlaufs besteht. Dieses Problem kann dadurch gelöst werden, daß man die Kanaldatenrate etwas größer als die Quellendatenrate wählt. Damit läßt sich mit verhältnismäßig geringem Aufwand die Pufferlänge bzw. Zwischenregisterlänge angeben, so daß es nur mit vernachlässigbarer kleiner (bekannter) Wahrscheinlichkeit zu einem Pufferüberlauf bzw. Zwischenregisterüberlauf kommt.

- 9 -

Wählt man die Kanaldatenrate geringfügig größer als die Quelldatenrate, so kann es in der praktischen Realisierung einer Schaltungsanordnung vorkommen, daß der Kanal bereit ist, Informationen zu übertragen, die von der Quelle noch nicht bereitgestellt werden.

Diesen Effekt kann man vorteilhaft nutzen, in dem man statt der Quelldaten Synchronisationsdaten überträgt. Außerdem können statt der Synchronisationsdaten auch sonstige Header- bzw. Nutzdaten übertragen werden. Je größer die Kanaldatenrate im Verhältnis zur Quelldatenrate ist, umso kürzer kann das Zwischenregister bzw. der Zwischenpuffer gewählt werden.

Eine weitere Variante mit diesem Bufferüberlauf bzw. Unterlauf umzugehen ist, in dem Umcodierer 3 zwei oder gegebenenfalls noch mehr Umcodiertabellen vorzusehen, wobei die eine Tabelle zu einer Kanaldatenrate, die größer als die Quelldatenrate ist, führt und die andere Tabelle zu einer Kanaldatenrate, die kleiner als die Quelldatenrate ist. In Abhängigkeit vom Zustand des Zwischenspeichers kann der Umcodierer 3 dann gesteuert werden. Das heißt, wenn der Zwischenspeicher Gefahr läuft überzulaufen, wird die Kanaldatenrate gewählt, die größer als die Quelldatenrate ist. Im umgekehrten Fall, wenn fast keine Daten mehr im Zwischenspeicher sind, wird die Kanaldatenrate gewählt, die kleiner als die Quelldatenrate ist.

In Fig. 6, die von Fig. 3 abgeleitet ist, ist der allgemeinste Fall, der obige Möglichkeit einschließt, dargestellt. Die Möglichkeit, den Umcodierer 3 abhängig vom Zwischenspeicher 9 zu steuern, ist in Fig. 6 durch die gestrichelte Linie vom Zwischenspeicher mit Steuereinheit bzw. Recheneinheit 9 zum Umcodierer 3 angezeigt. In Fig. 6 ist ebenfalls eine optionale zweite Datenquelle 1' eingezeichnet (für den Spezialfall, daß die Rate dieser

- 10 -

Datenquelle gleich Null ist, verschwindet diese Quelle). Die zweite Datenquelle 1' ermöglicht, wie oben beschrieben, die Übertragung von zusätzlichen Daten. Die gestrichelten Linien vom Umcodierer 3 zur zweiten Datenquelle 1' zeigen an, auf welche Weise man beispielsweise Prüfdaten zur Fehlerkorrektur in das Verfahren integrieren kann. Die Quelldatenrate und die Rate der erzeugten Prüfzeichen dürfen zusammen im Mittel die mittlere Kanaldatenrate nicht übersteigen. Analog zur zweiten Datenquelle 1' und dem Zwischenspeicher mit Steuer- bzw. Recheneinheit 9 sind zwischen Datensenke 8 und inversen Umcodierer 7 eine zweite Datensenke 8' und ein Zwischenspeicher mit Steuer- und Recheneinheit 9' eingefügt.

Zur weiteren Verbesserung des Verfahrens kann man spezielle Codierverfahren, die zum Beispiel für QAM oder hexagonale Signalkonstellationen entworfen wurden und in den Artikeln K. Huber, "Codes over Gaussian Integers", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 40, No. 1, January 1994, pp. 207-216 und K. Huber, "Codes over Eisenstein-Jacobi Integers", Finite Fields: Theory, Applications and Algorithms, (Las Vegas 1993), Contemporary Math. Vol. 168, American Math. Society, Providence, RI, pp. 165-179 sowie K. Huber, "Codes over Tori", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 43, No. 2, March 1997, pp. 740-744, zu finden sind, benutzen.

- 11 -

Liste der Bezugzeichen

- 1,1' Datenquelle
- 2 Datenstrom
- 3 Umcodierer
- 4 Modulator
- 5 Kanal
- 6 Demodulator
- 7 Inverser Umcodierer
- 8,8' Datensenke
- 9,9' Zwischenspeicher mit Steuer- bzw. Recheneinheit

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur verbesserten Datenübertragung und zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung eines zu übertragenden Signals benutzen, dadurch gekennzeichnet,

daß Signalpunkte mit einer bestimmten Signalenergie einer Signalkonstellation, die entsprechend eingestellter bzw. gewählter Wahrscheinlichkeiten zur Optimierung der Signalenergie bzw. Datenrate ausgewählt werden.

2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß Quellencodierverfahren, wie zum Beispiel das bekannte Huffman-Verfahren, zur Anpassung von Datenfolgen zwecks Benutzung von orthogonalen Verfahren angewendet werden.

3. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß zum Schutz gegen Übertragungsfehler ein dem Modulationsverfahren und Kanal angepaßter und fehlerkorrigierender Code verwendet wird, dessen Prüfzeichen mittels einer zweiten Datenquelle (1') eingefügt werden.

4. Verfahren nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

daß der fehlerkorrigierende Code ein Blockcode ist.

- 13 -

5. Verfahren nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

daß der fehlerkorrigierende Code ein Faltungscode ist.

6. Verfahren nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

daß der Blockcode ein Code über Gaußschen ganzen Zahlen modulo einer Gaußschen Zahl ist.

7. Verfahren nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

daß der Blockcode ein Code über Eisenstein-Jacobi Zahlen modulo einer Eisenstein-Jacobi Zahl ist.

8. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet,

daß der Eingangsdatenstrom verschlüsselt ist.

9. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens zur verbesserten Datenübertragung mittels orthogonaler Funktionen, dadurch gekennzeichnet,

daß einer Datenquelle (1) für einen Datenstrom (2) ein Umcodierer (3) nachgeschaltet ist, dessen Ausgang mit einem Modulator (4) zur Auswahl der entsprechenden Signalpunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit verbunden ist,

daß der Ausgang des Modulators (4) mit dem Eingang eines Kanals (5) verbunden ist, dessen Ausgang mit dem Eingang eines Demodulators (6) verbunden ist, dem ein inverser Codierer (7) zur Durchführung der inversen

- 14 -

Operation zu der des Codierers (3) nachgeschaltet ist und

daß der Ausgang dieses Codierers (7) mit einer Senke (8) für den Datenstrom (2) verbunden ist.

10. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens zur verbesserten Datenübertragung mittels orthogonaler Funktionen nach einem der Patentansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet,

daß ein Zwischenspeicher mit einer Steuer-/Recheneinheit (9) vorhanden ist, die den Umcodierer (3') zwischen mindestens zwei Umcodierungstabellen wechseln läßt, derart, daß es zu keinem Speicherüberlauf kommt, kombiniert mit den entsprechenden inversen Einrichtungen (8' und 9') auf der Empfänger- bzw. Datensenkenseite.

11. Schaltungsanordnung nach einem der Patentansprüche 9 oder 10 zur Durchführung des Verfahrens zur verbesserten Datenübertragung mittels orthogonaler Funktionen, dadurch gekennzeichnet,

daß der Ausgang des Modulators (4) gepuffert mit dem Eingang des Kanals (5), insbesondere über ein Zwischenregister bzw. einen Puffer verbunden ist.

12. Schaltungsanordnung nach den Patentansprüchen 9, 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet,

daß eine zweite Datenquelle (1') den Zwischenspeicher mit zusätzlichen Daten beliefert, die entweder Nutz-, Synchronisations- oder Prüfdaten sind.

- 15 -

13. Verfahren nach Patentanspruch 1 zum Betreiben einer Schaltungsanordnung nach einem der Patentansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet,

daß die Kanaldatenrate größer als die Quelldatenrate gewählt wird.

14. Verfahren nach den Patentansprüchen 1 bzw. 13, dadurch gekennzeichnet,

daß beim Nichtanliegen von Quellbits an der Schaltung Synchronisationsdaten übertragen werden.

15. Verfahren nach Patentanspruch 1 bzw. 13, dadurch gekennzeichnet,

daß beim Nichtanliegen von Quellbits an der Schaltung sonstige Verwaltungs- oder Nutzdaten übertragen werden.

1 / 3

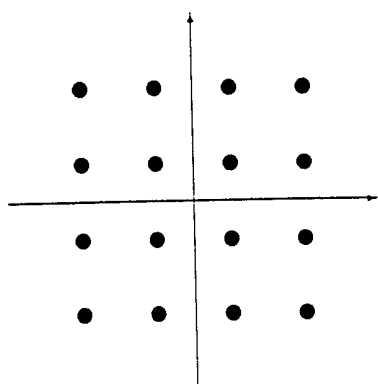


FIG. 1

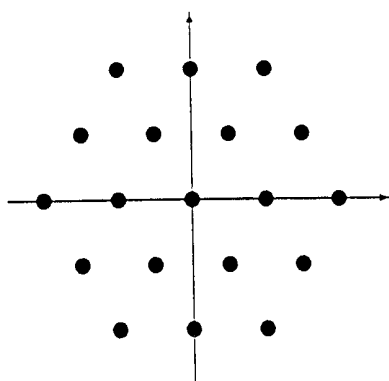


FIG. 2

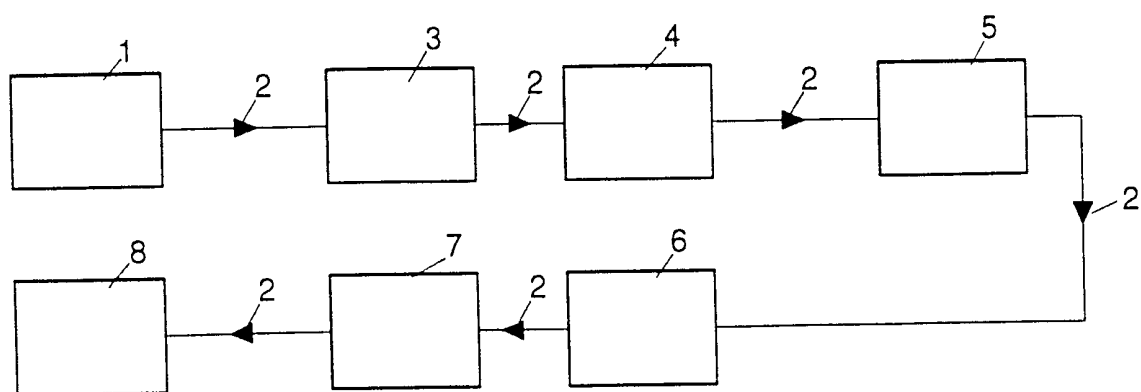


FIG. 3

2 / 3

E_s	p_1	p_2	p_3	p_4	H
2.526	1/19	1/19	1/19	1/19	4.2479 bit
1.7224	0.1313	0.08534	0.03603	0.02341	4 bit
0.8118	0.3372	$9.931 \cdot 10^{-2}$	$8.614 \cdot 10^{-3}$	$2.537 \cdot 10^{-3}$	3 bit
0.3962	0.6133	$6.370 \cdot 10^{-2}$	$6.870 \cdot 10^{-4}$	$7.135 \cdot 10^{-5}$	2 bit

FIG. 4

Punkt	binäre Daten
z_1	100
z_{21}	1101
z_{22}	1100
z_{23}	1111
z_{24}	1110
z_{25}	001
z_{26}	000
z_{31}	01111
z_{32}	01110
z_{33}	10101
z_{34}	10100
z_{35}	10111
z_{36}	10110
z_{41}	01001
z_{42}	01000
z_{43}	01011
z_{44}	01010
z_{45}	01101
z_{46}	01100

FIG. 5

3 / 3

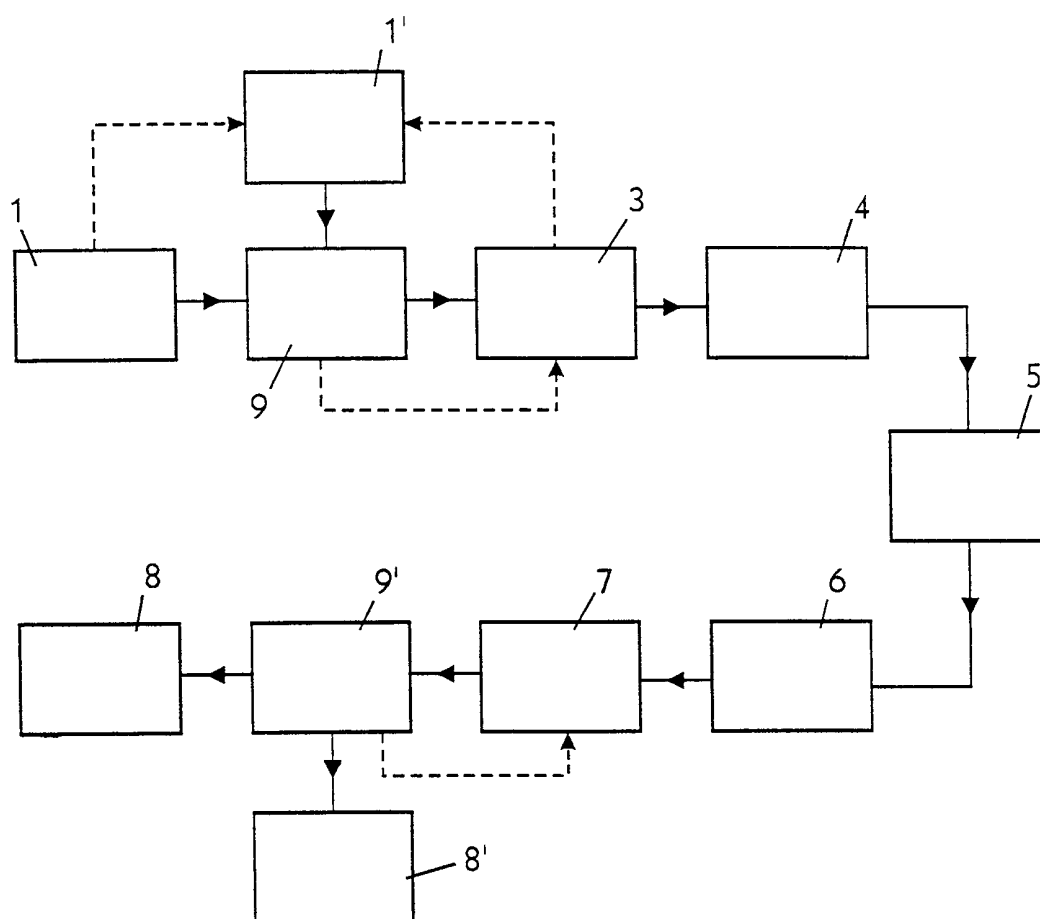


FIG. 6