

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
29. Juli 2004 (29.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/064347 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04L 27/14**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/004279

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. Dezember 2003 (23.12.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 00 267.7 8. Januar 2003 (08.01.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-
Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

[DE/DE]; Marienstr. 32, 47807 Krefeld (DE). **NIEDER-
HOLZ, Jürgen** [DE/DE]; Hochstr. 70, 47647 Kerken
(DE).

(74) **Anwalt: LAMBSDORFF, Matthias;** Patentanwälte
Lambsdorff & Lange, Dingolfinger Strasse 6, 81673
München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD,
GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN,
MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(72) Erfinder; und

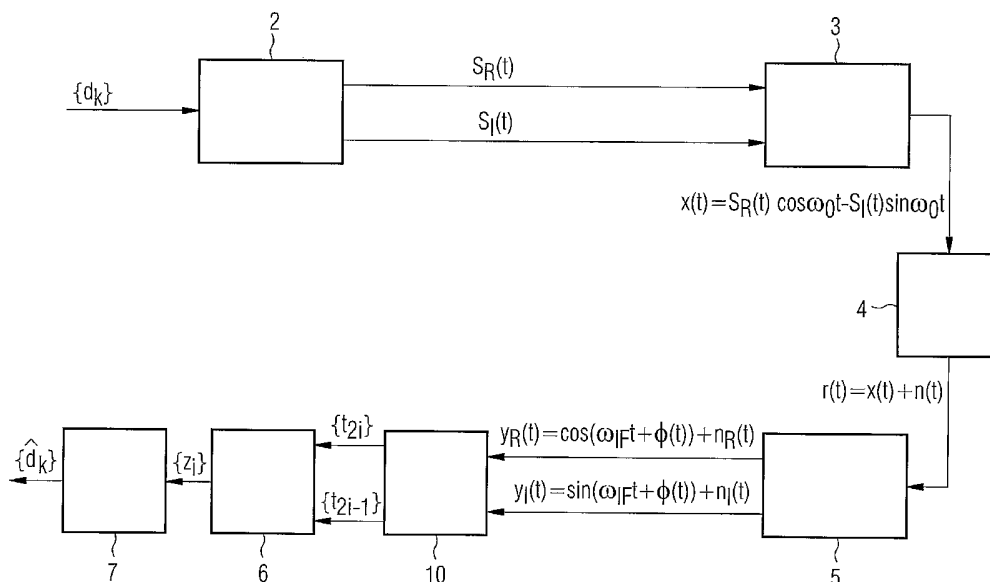
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): NEUBAUER, Andre

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO Patent (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** DEMODULATION OF A FREQUENCY-MODULATED RECEPTION SIGNAL BY REPRODUCING THE ZERO
CROSSINGS ON A SEQUENCE OF PARAMETER VALUES

(54) **Bezeichnung:** DEMODULATION EINES FREQUENZMODULIERTEN EMPFANGSSIGNALS DURCH ABBILDEN DER
NULLDURCHGÄNGE AUF EINE FOLGE VON PARAMETERWERTEN



(57) **Abstract:** The zero crossings of a reception signal or an intermediate frequency signal produced from a reception signal are determined by a zero-crossing detector (1,10). Since the number of zero crossings per symbol interval in frequency-modulated signals is not constant by nature, the sequence of zero crossings is represented by means of a mathematical, especially non-linear representation on a sequence $\{z_i\}$ of temporally equidistant parameter values z_i . The representation can be based upon the formation of average values for zero-crossing differences or a determination of the number of zero crossings. The chronologically equidistant sequence of parameter values z_i can be added to a conventional detection algorithm such as a Viterbi detection algorithm.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/064347 A2



eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(57) Zusammenfassung: Es werden von einem Detektor (1; 10) für Nulldurchgänge die Nulldurchgänge des Empfangssignals oder eines aus dem Empfangssignal erzeugten Zwischenfrequenzsignals ermittelt. Da die Anzahl der Nulldurchgänge pro Symbolintervall bei frequenzmodulierten Signalen naturgemäß nicht konstant ist, wird die Nulldurchgangsfolge durch eine mathematische, insbesondere nicht-lineare Abbildung auf eine Sequenz $\{z_i\}$ zeitlich äquidistanter Parameterwerte z_i abgebildet. Für die Abbildung kann eine Mittelwertbildung über Nulldurchgangsabstände oder eine Bestimmung der Anzahl der Nulldurchgänge herangezogen werden. Die zeitlich äquidistante Folge von Parameterwerten z_i kann einem konventionellen Detektionsalgorithmus, wie einem Viterbi-Detektionsalgorithmus zugeführt werden.

Beschreibung

Demodulation eines frequenzmodulierten Empfangssignals durch
Abbilden der Nulldurchgänge auf eine Folge von Parameterwer-
5 ten

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine
Vorrichtung zur Demodulation eines über Funk übertragenen a-
nalogen Empfangssignals, welches senderseitig mit einer Da-
10 tensymbolfolge frequenzmoduliert wurde.

Das Verfahren und die Vorrichtung, auf welche sich die Erfin-
dung bezieht, sind vorzugsweise Bestandteile von schnurlosen
digitalen Kommunikationssystemen, welchen der Bluetooth-,
15 DECT-, WDCT-Standard oder ein ähnlicher Standard zugrunde
liegt.

In derartigen Kommunikationssystemen werden empfängerseitig
zur Demodulation des frequenzmodulierten Empfangssignals und
20 zur Signaldetektion klassische Signalverarbeitungsmethoden
verwendet. Ein oftmals verwendetes Verfahren basiert auf dem
sogenannten Limiter-Diskriminator-FM-Demodulator, bei welchem
nach einer harten Limitierung des in der Regel komplexen
Bandpass-Signals eine Demodulation des frequenzmodulierten
25 Signals, z.B. durch einen analogen Koinzidenzdemodulator, mit
einer entsprechenden Signaldetektion erfolgt.

Ferner sind Empfängerkonzepte bekannt, bei denen das Zwi-
schenfrequenzsignal mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers
30 in den Digitalbereich umgesetzt wird und die Signaldetektion
mit Hilfe von Methoden der digitalen Signalverarbeitung rea-
lisiert wird. Ein solches Verfahren ist beispielsweise in der
Druckschrift DE 101 03 479.3 beschrieben. Mit derartigen Ver-
fahren lässt sich zwar eine qualitativ hochwertige Signalde-
35 tektion erzielen, jedoch ist der Nachteil ein aufwändiger A-
nalog-Digital-Wandler.

In der Druckschrift DE 102 14 581.4, welche Stand der Technik nach § 3 Abs. 2 PatG darstellt, wird ein Demodulationsverfahren eines digital frequenzmodulierten analogen Empfangssignals in einem schnurlosen Kommunikationssystem beschrieben, bei welchem die zeitlichen Abstände zwischen den Nulldurchgängen des Empfangssignals oder eines aus dem Empfangssignal erzeugten Zwischenfrequenzsignals ermittelt und zur Detektion der digitalen Signaldaten genutzt werden. Die Datensymbole $\{d_k\}$ eines CPFSK-modulierten (Continuous Phase Frequency Shift Keying) Signals werden derart detektiert, indem die Datensymbolfolge in Teilabschnitte aufgeteilt wird, die eine Mehrzahl von Nulldurchgängen enthalten und deren Länge mehrere Symbolintervalle umfassen kann. Die Folge von Nulldurchgangsabständen kann in einer Schieberegisterkette in digitaler Form gespeichert und in einer Klassifizierungseinrichtung mit vorab gespeicherten Abstandsfolgen verglichen werden, wobei für die Distanzmessung zwischen der gemessenen und den gespeicherten Sequenzen eine City-Block-Metrik vorgeschlagen wird. Diejenige vorab abgespeicherte Mustersequenz, welche die kleinste Distanz von der gemessenen Sequenz aufweist, wird als das gesendete Muster interpretiert. Die diesem ausgewählten Muster entsprechende Datenfolge stellt die detektierte Datenfolge und somit die Lösung des Detektionsproblems dar.

25

Bei dem in der ebenfalls Stand der Technik nach § 3 Abs. 2 PatG bildenden Druckschrift DE 102 37 867.3 beschriebenen Demodulationsverfahren wird ausgehend von einer Folge von ermittelten Nulldurchgangsabständen des Empfangssignals die Datensymbolfolge derart rekonstruiert, indem unter den möglichen Datensymbolfolgen diejenige als die gesuchte Datensymbolfolge ausgewählt wird, bei welcher die euklidische Distanz zwischen der Folge der Nulldurchgangsabstände und einer empfängerseitig berechneten Folge minimal ist. Bei der Rekonstruktion wird ein geeignet um eine reaktive Komponente erweiterter Viterbi-Algorithmus verwendet (reactive Viterbi algorithm). Hier wird bei der Berechnung der Zweigmetrik die

35

variierende Anzahl von Nulldurchgängen berücksichtigt und somit die gesamte empfangene Sequenz (anstelle von nur Teilsequenzen) bewertet. Nachteilig ist dabei, dass bei der Berechnung der Zweigmetriken eine inhärente Annahme über die gesendeten Daten gemacht werden muss. Dieses führt zu einer additiven Fehlerkomponente in den Zweigmetrik.

Beide zuvor beschriebenen Demodulationsverfahren weisen zudem das inhärente Problem auf, dass die Anzahl der Nulldurchgänge in einem Symbolintervall in Abhängigkeit der Daten, einiger bekannter Systemparameter und unbekannter Störeinflüsse schwankt. Konventionelle digitale Empfängerkonzepte setzen jedoch stets eine feste Anzahl von Abtastwerten pro Symbolintervall voraus.

In der Druckschrift US 5,469,112 wird ein Demodulationsverfahren beschrieben, bei welchem das Empfangssignal in einen Inphase- und einen Quadraturzweig aufgespalten wird und das Empfangssignal mit dem Ausgangssignal eines lokalen Oszillators gemischt wird, welches einem der beiden Zweige nach einer Phasenverschiebung um 90° zugeführt wird. Beide Signale werden nach Durchgang durch einen Tiefpassfilter und einen Limiter einem Nulldurchgangsdetektor zugeführt. In einem Phasenwinkelschätzer, welcher einen bidirektionalen Zähler enthält, wird die Richtung der Phasenänderung des I- und Q-Signals beim Nulldurchgang ermittelt und aus dem Ergebnis die Datensymbolfolge detektiert. Die Implementierung des Phasenwinkelschätzers und des darin integrierten Zählers stellen jedoch eine relativ aufwändige Lösung dar.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Demodulation eines digital frequenzmodulierten Empfangssignals anzugeben, mit welchem eine hohe Leistungsfähigkeit bei gleichzeitig niedrigem Realisierungsaufwand erzielt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst, in welchem ein Demodulationsverfahren beschrieben ist. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben. Ebenso ist eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens angegeben.

Demgemäß bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Demodulation eines senderseitig mit einer Datensymbolfolge frequenzmodulierten analogen Empfangssignals. Es werden zunächst die Nulldurchgänge des Empfangssignals oder eines aus dem Empfangssignal erzeugten Zwischenfrequenzsignals detektiert. Ein wesentlicher Gedanke der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, die - wie eingangs dargelegt - zeitlich nicht äquidistante Folge von Nulldurchgängen auf eine Sequenz von zeitlich äquidistanten Parameterwerten abzubilden, deren Anzahl pro Symbolintervall konstant ist. Mit dieser Sequenz von zeitlich äquidistanten Parameterwerten kann dann anschließend die ausgesandte Datensymbolfolge durch einen konventionellen Detektionsalgorithmus rekonstruiert werden.

Das erfindungsgemäße Demodulationsverfahren weist somit die folgenden Verfahrensschritte auf:

- (a) Detektieren von Nulldurchgängen des Empfangssignals;
- (b) Generieren einer Sequenz von zeitlich äquidistanten Parameterwerten, deren Anzahl pro Symbolintervall konstant ist und die durch eine mathematische, insbesondere nicht-lineare Abbildung aus den Nulldurchgängen erzeugt werden, und
- (c) Rekonstruieren der Datensymbolfolge aus der Sequenz durch einen Detektionsalgorithmus.

Es werden somit die beobachteten Nulldurchgänge, die sich innerhalb eines Symbolintervalls $[kT_b, (k+1)T_b]$ befinden, abgebildet auf eine feste Anzahl von Abtast- oder Parameterwerten z_i , die dann eine Sequenz $\{z_i\}$ bilden und nachfolgend einem

konventionellen Detektionsalgorithmus, etwa einem Viterbi-Sequenz-Detektionsalgorithmus, zugeführt werden können. Eine solche mathematische, insbesondere nicht-lineare Abbildung ermöglicht so die Verwendung eines im Allgemeinen kosten- und aufwandsgünstigen Zwischenfrequenzempfängers mit limitiertem Ausgang in Kombination mit leistungsfähigen digitalen Empfängerkonzepten.

Die Wahl der mathematischen, nicht-linearen Abbildung beeinflusst maßgeblich die Qualität und Komplexität des gesamten Detektionsalgorithmus. Prinzipiell ermöglicht eine größere Anzahl von festen Abtast- oder Parameterwerten pro Symbolintervall eine genauere Beschreibung der Nulldurchgangsfolge $\{t_i\}$ durch die Sequenz $\{z_i\}$. Hiermit geht dann ein geringerer Informationsverlust einher und die Kanalkapazität verringert sich weniger. Durch die Wahl der Abbildung und damit der Anzahl der Parameter pro Symbolintervall kann eine praktisch beliebige Anpassung an die geforderte Qualität des Empfängers bzw. an dessen Komplexität erfolgen. Ein weiterer Vorteil resultiert daraus, dass Abhängigkeiten zwischen den so erzeugten Elementen der Sequenz $\{z_i\}$ bei der Detektion berücksichtigt werden können. Da die Elemente der Nulldurchgangsfolge $\{t_i\}$ bzw. der Nulldurchgangsfolgen $\{t_{2i}\}$ und $\{t_{2i-1}\}$ (der I- und Q-Komponente), immer eine Form von Intersymbolinterferenz aufweisen (womit hierdurch angedeutet ist, dass aufeinander folgende Elemente miteinander korreliert sind), wird die Auswirkung dieser Abhängigkeit auf die Sequenz $\{z_i\}$ berücksichtigt und kann so vorteilhaft bei dem folgenden Detektionsschritt (etwa Viterbi-Sequenz-Detektion) verwendet werden. Die Bestimmung der Abhängigkeiten (insbesondere Korrelationen) der Sequenzelemente z_i voneinander kann dabei analytisch oder empirisch erfolgen. Die Berechnung der Abhängigkeiten kann in jedem Fall a priori durchgeführt werden und kann somit als Parametersatz etwa in einem Festwertspeicher hinterlegt werden. Gegebenenfalls, etwa falls keine perfekte Synchronisation aller Parameter stattgefunden hat, können ver-

schiedene Wertesätze für verschiedene detektierte aber nicht kompensierte Synchronisationsparameter hinterlegt werden.

Als eine sehr einfache nicht-lineare Abbildung der Nulldurchgänge auf die Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ kann der Mittelwert der Nulldurchgangsabstände über ein Symbolintervall (oder einen Abschnitt eines Symbolintervalls) verwendet werden. In dem Verfahrensschritt (b) kann somit zunächst eine Folge $\{t_\phi\}$ generiert werden, wobei ein Folgenglied t_ϕ durch die Differenz $\phi_{i+1} - \phi_i$ von den zu zwei aufeinanderfolgenden Nulldurchgängen gehörenden Zeitpunkten ϕ_i und ϕ_{i+1} bestimmt wird. Dann werden die Parameterwerte der Sequenz $\{z_i\}$ durch Mittelwertbildung über jeweils eine Anzahl von Folgengliedern generiert.

Bei einer bevorzugten Anwendung der Erfindung wird das Empfangssignal in einen Inphase-(I) und einen Quadratur-(Q-) Zweig aufgespalten und in jedem Zweig werden gemäß Verfahrensschritt (a) die Nulldurchgänge detektiert und entsprechende Folgen $\{t_{2i}\}$ und $\{t_{2i-1}\}$ generiert. Dann werden vorzugsweise die Nulldurchgangsfolgen $\{t_{2i}\}$ und $\{t_{2i-1}\}$ alternierend zu einer Folge $\{t'_i\}$ zusammengeführt und schließlich wird die Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ aus der zusammengeführten Folge $\{t'_i\}$ generiert.

Bildet man in diesem Fall den Mittelwert der Nulldurchgangsabstände über ein Symbolintervall, so ergibt sich

$$z_i = \frac{1}{I(k+1) - I(k)} \sum_{\phi = I(k)+1}^{I(k+1)} t'_\phi \quad (1)$$

30

mit den Nulldurchgangsabständen t'_ϕ im Intervall $[kT_b, (k+1)T_b]$ und dem Index i als Funktion des Index k und der Anzahl der Parameter pro Symbolintervall N (z.B. für $N = 1$ ist $i = k$).

35

Ein weiterer einfach zu berechnender Parameter ist die Anzahl der Nulldurchgänge pro Symbolintervall. Hierfür gilt

$$z_i = \#\{t'_\varphi \mid I(k) < \varphi \leq I(k+1)\} \quad (2)$$

ebenfalls mit i als Funktion von k und N .

10 Eine aufwändigere Möglichkeit ist die zusätzliche Berücksichtigung der Varianz in einem Symbolintervall. Weiter kann etwa auch die Steigung pro Intervall verwendet werden. Unabhängig davon, ob pro Symbolintervall ein oder mehrere Parameter extrahiert werden, müssen die Korrelationen zwischen den Parametern a priori bestimmt werden, damit diese dann in der nachfolgenden Detektionsstufe (etwa Viterbi-Sequenz-Detektor) verwendet werden können.

Die Wahl der Parameter und somit die nicht-lineare Abbildung
20 hängt ab von der erlaubten Komplexität und der geforderten Qualität.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

25

Fig. 1 die Wirkungsweise eines Detektors für Nulldurchgänge;

Fig. 2 ein Modell eines Übertragungssystems enthaltend eine Empfangsvorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
30

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel für eine gesendete Datensymbolfolge, eine daraus resultierende Nulldurchgangsfolge, und deren Abbildung auf eine Parameter-Sequenz.

35

In der Fig. 1 ist dargestellt, wie ein analoges Empfangssignal, das sich beispielsweise im Zwischenfrequenzbereich be-

findet, mit Hilfe eines Nulldurchgangsdetektors 1 in ein rechteckförmiges Signal umgesetzt wird, dessen Nulldurchgänge auszuwerten sind. Die Nulldurchgänge selbst, etwa deren Anzahl pro Symbolintervall (oder Abschnitt des Symbolintervalls), oder der zeitliche Abstand D_i zwischen den Nulldurchgängen des rechteckförmigen Signals, gemittelt über ein Symbolintervall, kann zur Signaldetektion gemäß der Erfindung genutzt werden.

10 In der Fig. 2 ist ein Modell eines frequenzmodulierenden Übertragungssystems dargestellt, dessen Empfangsvorrichtung die vorliegende Erfindung beinhaltet. Senderseitig wird eine zu übertragende Datensymbolfolge $\{d_k\}$ einem Modulator 2 zugeführt. In dem Modulator 2 wird eine Quadraturmodulation
15 durchgeführt, durch die ein I-Signal $s_R(t)$ und ein Q-Signal $s_I(t)$ erzeugt wird. Beide Signale werden einem Hochfrequenzteil 3 zugeführt, in welchem auf beide Basisbandsignale eine hochfrequente Trägerschwingung aufmoduliert wird und die Signale zu einem einzigen Signal $x(t)$ zusammengeführt und abgestrahlt werden. In dem Hochfrequenzteil 3 kann beispielsweise eine CPFSK-Modulation der Basisbandsignale erzeugt werden. Das Signal $x(t)$ wird sodann über einen Übertragungskanal 4 ausgesandt, in welchem dem übertragenen Signal $x(t)$ eine Rauschkomponente $n(t)$ hinzugefügt wird.

25 Empfangsseitig wird das empfangene Signal $r(t)$ einem Empfangs-Hochfrequenzteil 5 zugeführt, in welchem gleichzeitig eine Quadraturdemodulation durchgeführt wird. Durch die Quadraturdemodulation wird das Signal in einen I-Zweig und einen Q-Zweig aufgespalten und in jedem der Zweige mit einer Zwischenfrequenz gemischt, welche dem Q-Zweig mit einer 90°-Phasenverschiebung gegenüber dem I-Zweig zugeführt wird. Die solchermaßen erzeugten Signale $x_R(t)$ und $x_I(t)$ werden einem Limiter/Diskriminator 10 zugeführt. Der Limiter/Diskriminator
30 10 ist eine Ausführungsform des Nulldurchgangsdetektors 1 und er liefert somit an seine zwei Ausgänge entsprechende Nulldurchgangsfolgen $\{t_{2i}\}$ und $\{t_{2i-1}\}$, d.h. die entsprechenden

Zeitpunkte der Nulldurchgänge beider Signale. Diese Nulldurchgangsfolgen werden einer mathematischen Verarbeitungseinheit 6 zugeführt, in welcher eine mathematische nicht-lineare Abbildung der zusammengeführten Nulldurchgangsfolgen auf eine Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ durchgeführt wird. Dabei kann vorgesehen sein, dass in der Verarbeitungseinheit 6 zunächst aus der zusammengeführten Nulldurchgangsfolge Nulldurchgangsabstände, d.h. Differenzen zwischen aufeinander folgenden Nulldurchgangszeitpunkten gebildet werden und die solchermaßen gebildete Differenzenfolge auf die Parameter-Sequenz abgebildet wird. Schließlich werden die Parameterwerte der Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ einem Viterbi-Sequenz-Detektor 7 zugeführt, in welchem eine konventionelle Viterbi-Sequenz-Detektion zur Ermittlung der Datensymbolfolge durchgeführt wird.

In der Fig. 3 ist ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Abbildung von einer Datensymbolfolge auf eine Nulldurchgangsfolge und auf eine Parameter-Sequenz dargestellt. In dem Ausführungsbeispiel wird aus einer gesendeten Datensymbolfolge $\{d_k\}$ empfangsseitig eine aus den Nulldurchgangsfolgen der I- und Q-Signale zusammengeführte Nulldurchgangssequenz $\{t'_\phi\}$ erzeugt. Im vorliegenden Fall werden Differenzen zwischen den Nulldurchgangszeitpunkten gebildet und es wird sowohl eine Mittelwertbildung der Differenzen als auch eine Anzahlbestimmung der Nulldurchgänge durchgeführt und beide Parameter auf die Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ abgebildet. Somit wird aus der Nulldurchgangssequenz $\{t'_\phi\}$ durch Mittelwertbildung und Anzahlbestimmung die Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ mit $N = 2$ Parameterwerten pro Symbolintervall abgeleitet. In diesem Fall gilt die Gleichung (1) $i = 2k$ und in Gleichung (2) $i = 2k+1$.

Es werden in der Weise beide Parameter auf die Parameter-Sequenz $\{z_i\}$ abgebildet, indem beide Gleichungen alternierend und zwar jeweils einmal pro Symbolintervall verwendet werden. Somit ist das erste z_i pro Symbolintervall durch die Gleichung

10

chung (1) definiert und das zweite z_i in demselben Symbolintervall durch die Gleichung (2).

Patentansprüche

1. Verfahren zur Demodulation eines senderseitig mit einer Datensymbolfolge $\{d_k\}$ frequenzmodulierten analogen Empfangssignals, mit den Verfahrensschritten:
- 5 (a) Detektieren von Nulldurchgängen des Empfangssignals;
- (b) Generieren einer Sequenz $\{z_i\}$ von zeitlich äquidistanten Parameterwerten z_i , deren Anzahl pro Symbolintervall konstant ist und die durch eine mathematische, insbesondere
- 10 nicht-lineare Abbildung aus den Nulldurchgängen erzeugt werden, und
- (c) Rekonstruieren der Datensymbolfolge aus der Sequenz $\{z_i\}$ durch einen Detektionsalgorithmus.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- der Detektionsalgorithmus eine Viterbi-Detektion beinhaltet.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- der Verfahrensschritt (b) die folgenden Teilschritte beinhaltet:
- (b.1) Generieren einer Folge $\{t_\phi\}$, wobei ein Folgenglied t_ϕ
- 25 durch die Differenz $\phi_{i+1} - \phi_i$ von den zu zwei aufeinander folgenden Nulldurchgängen gehörenden Zeitpunkten ϕ_i und ϕ_{i+1} bestimmt wird;
- (b.2) Generieren der Parameterwerte der Sequenz $\{z_i\}$ durch Mittelwertbildung über jeweils eine Anzahl von Folge-
- 30 gliedern.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
- im Verfahrensschritt (b) die mathematische Abbildung durch
- 35 die Anzahl der Nulldurchgänge pro Symbolintervall oder Abschnitt eines Symbolintervalls bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- das Empfangssignal in einen Inphase-(I-) und einen Quadratur-(Q-)Zweig aufgespalten wird,
 - 5 - in jedem Zweig gemäß dem Verfahrensschritt (a) die Nulldurchgänge detektiert und entsprechende Folgen $\{t_{2i}\}$, $\{t_{2i-1}\}$ generiert werden,
 - die Folgen $\{t_{2i}\}$ und $\{t_{2i-1}\}$ alternierend zu einer Folge $\{t'_\varphi\}$ zusammengeführt werden, und
 - 10 - die Sequenz $\{z_i\}$ aus der zusammengeführten Folge generiert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - das frequenzmodulierte Empfangssignal ein CPFSK-Signal ist.
7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit
- einem Detektor (1; 10) für Nulldurchgänge des Empfangssignals,
 - 20 - eine mathematische Verarbeitungseinheit (6) zum Generieren der Sequenz $\{z_i\}$ durch mathematische, insbesondere nicht-lineare Abbildung aus den Nulldurchgängen, und
 - einer Detektionseinheit (7) zur Detektion der Datensymbolfolge $\{\hat{d}_k\}$ aus der Sequenz $\{z_i\}$ der Parameterwerte z_i .
 - 25
8. Vorrichtung nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Detektionseinheit (7) ein Viterbi-Sequenz-Detektor (7)
 - 30 ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die mathematische Verarbeitungseinrichtung (6) dafür ausgebildet ist, zeitliche Differenzen von aufeinander folgenden
 - 35 Nulldurchgängen zu bestimmen und eine Mittelwertbildung über eine Anzahl von Differenzen durchzuführen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die mathematische Verarbeitungseinheit (6) für die Bestimmung der Anzahl der Nulldurchgänge ausgelegt ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
- mit ihr eine Quadraturdemodulation durchführbar ist, und
- die in dem Detektor (1; 10) für Nulldurchgänge detektierten Nulldurchgangsfolgen des I- und des Q-Signals von dem Detektor (1; 10) oder der mathematischen Verarbeitungseinheit (6) zu einer gemeinsamen Nulldurchgangsfolge zusammenführbar sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
- sie ein Empfangs-Hochfrequenzteil (5) enthält, in welchem das I-Signal und das Q-Signal mit einer Zwischenfrequenz mischbar sind.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
- der Detektor (1; 10) für Nulldurchgänge ein Limiter/Diskriminator (10) ist.

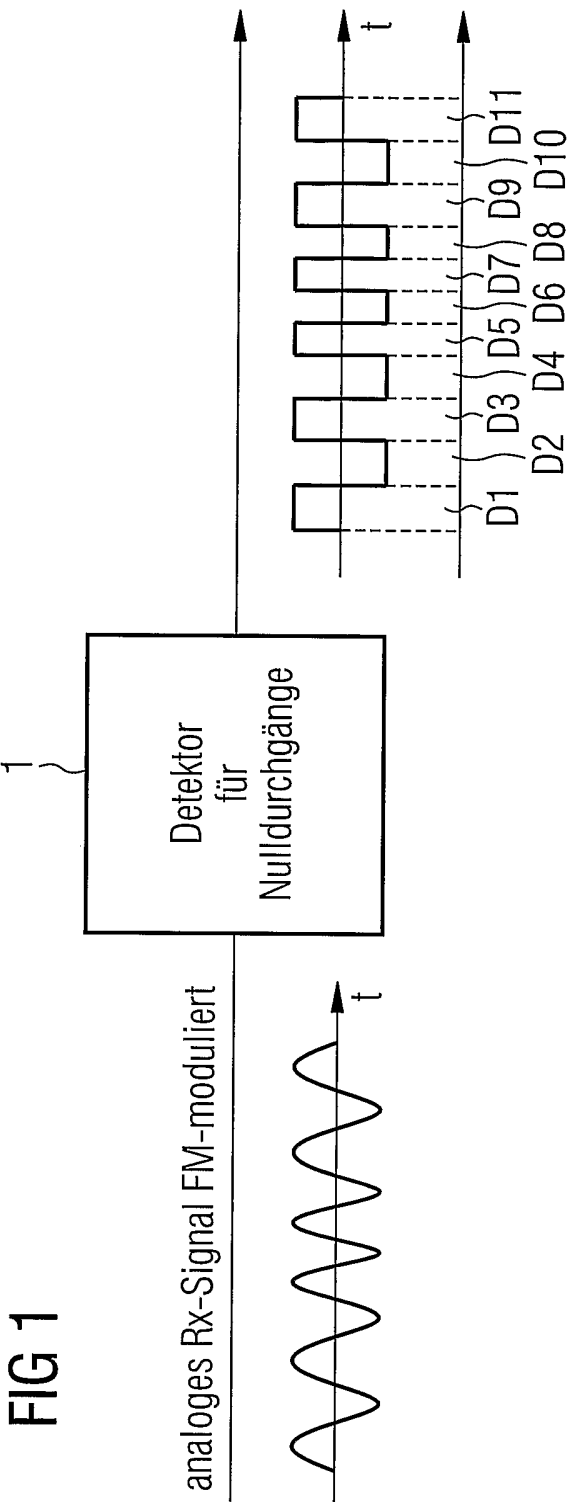


FIG 2

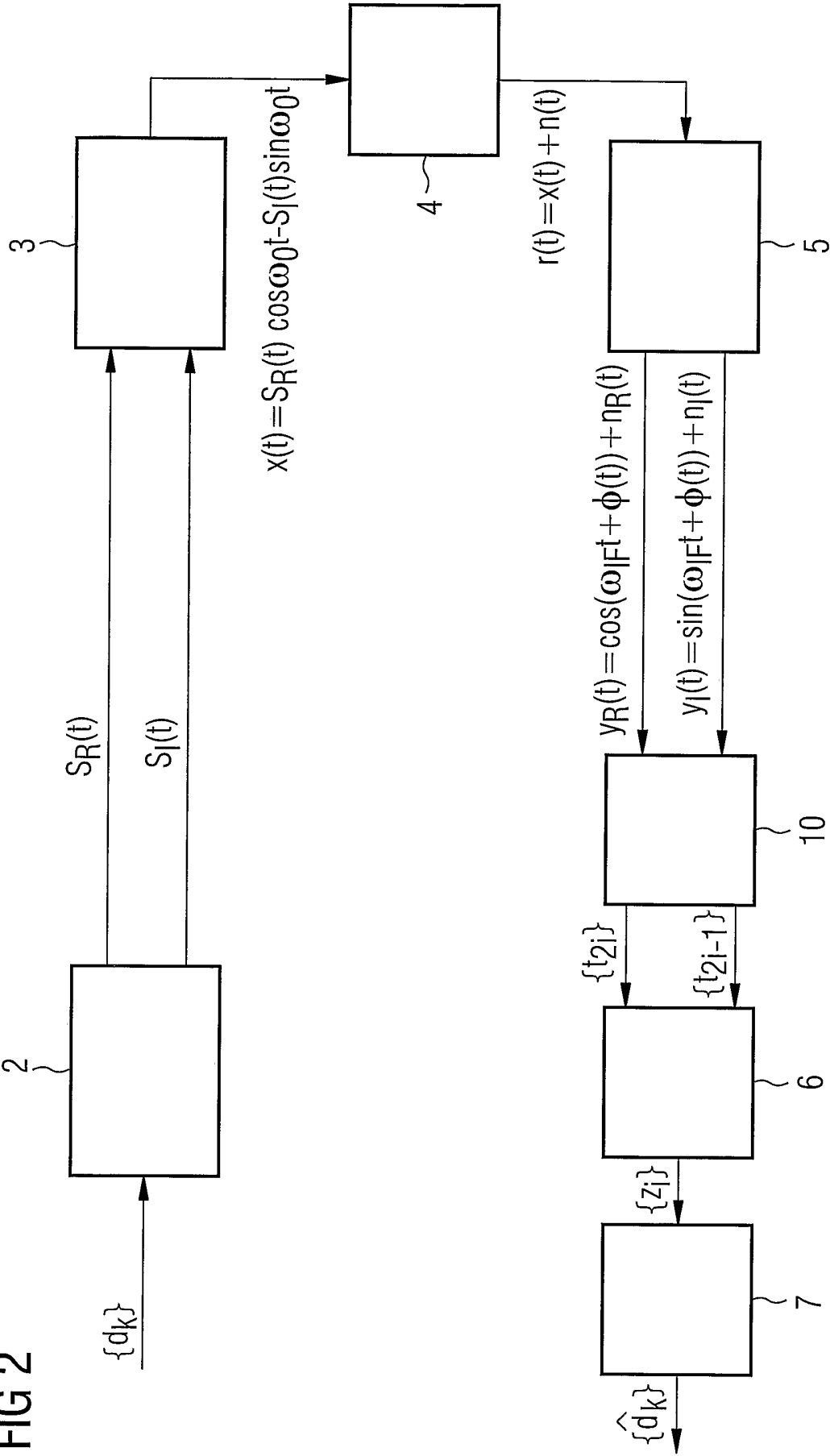


FIG 3

