

(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
26. September 2002 (26.09.2002)

PCT

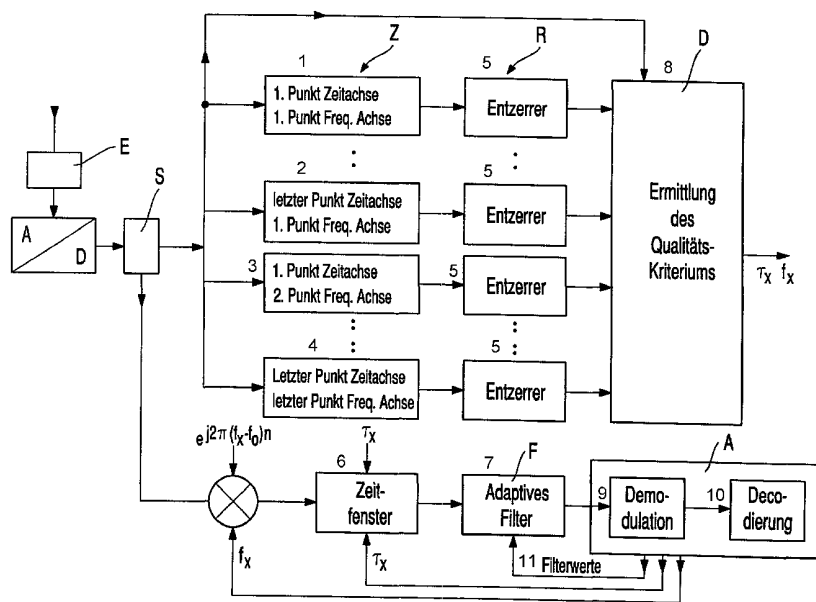
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/076056 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: H04L 27/26 (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/00906 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOTT, Rainer [DE/DE]; Wartaweiler Weg 3, 82346 Andechs (DE). WICKER, Günter [DE/DE]; Heinar-Kipphardt-Weg 9, 81927 München (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. Januar 2002 (29.01.2002)
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Anwalt: KÖRFER, Thomas; Mitscherlich & Partner, Sonnenstrasse 33, 80331 München (DE).
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 101 12 773.1 16. März 2001 (16.03.2001) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, 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, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG [DE/DE]; Mühldorfstrasse 15, 81671 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE FREQUENCY AND TIME SYNCHRONIZATION OF AN OFDM RECEIVER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR FREQUENZ- UND ZEIT-SYNCHRONISATION EINES OFDM-EMPFÄNGERS



- | | |
|------------------------------|--|
| 1 FIRST POINT TIME AXIS | 5 EQUALIZER |
| 2 LAST POINT TIME AXIS | 6 TIME WINDOW |
| 3 FIRST POINT FREQUENCY AXIS | 7 ADAPTIVE FILTER |
| 4 LAST POINT FREQUENCY AXIS | 8 DETERMINATION OF THE QUALITY CRITERION |
| | 9 DEMODULATION |
| | 10 DECODING |
| | 11 FILTER VALUES |

(57) Abstract: The invention relates to a frequency and time synchronization of a receiver (E) for receiving OFDM signals on a fixed carrier frequency. The inventive method is characterized in a first step the approximate nominal value of the frequency and of the time origin of the OFDM signal via a two-dimensional frequency-time search mode and the determination of the area point with the optimum quality criterion of the OFDM signal or via the evaluation of a synchronization sequence transmitted by the transmitter. In a subsequent second step the phase of at least one of the pilot signals transmitted together with the OFDM signal is determined in the receiver (E) and is averaged across several OFDM signal blocks; and a more exact nominal value of the frequency and of the time origin of the OFDM signal is determined therefrom. The receiver (E) is then synchronized to the frequency so determined and the OFDM signal is demodulated with the time origin value so determined.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/076056 A2



SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

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.

(57) Zusammenfassung: Zur Frequenz- und Zeit-Synchronisation eines Empfängers (E) für den Empfang von OFDM-Signalen auf einer festen Trägerfrequenz wird in einem ersten Verfahrensschritt über einen zweidimensionalen Frequenz-Zeit-Suchbetrieb und die Ermittlung des Bereichspunktes mit dem optimalen Qualitätskriterium des OFDM-Signals oder über die Auswertung einer vom Sender gesendeten Synchronisationssequenz der ungefähre nominelle Wert der Frequenz und des Zeitbeginns des OFDM-Signals bestimmt; in einem darauf folgenden zweiten Verfahrensschritt wird im Empfänger (E) die Phase von mindestens einem der zusammen mit dem OFDM-Signal übertragenen Pilottöne bestimmt und über mehrere OFDM-Signalblöcke gemittelt; daraus wird schliesslich ein genauerer nomineller Wert der Frequenz und des Zeitbeginns des OFDM-Signals bestimmt; der Empfänger (E) wird dann auf diese so bestimmte Frequenz synchronisiert und das OFDM-Signal beginnend mit dem so ermittelten Anfangszeitwert demoduliert.

Verfahren zur Frequenz- und Zeit-Synchronisation eines OFDM-Empfängers

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Frequenz- und Zeit-Synchronisation eines Empfängers für den Empfang von OFDM-Signalen, die auf einer festen Trägerfrequenz gesendet werden.
- 10 Zur Datenübertragung finden in der modernen Digitaltechnik sogenannte Orthogonal Frequency Division and Multiplexing (OFDM)-Systeme Anwendung. Bei diesem Prinzip wird der digitale Datenstrom vor der Aussendung durch sogenanntes Mapping in komplexwertige Symbole umgewandelt und in eine
- 15 Vielzahl von Teilsignalen aufgespalten, von denen jedes auf einem gesonderten Träger getrennt übertragen wird. Beim sogenannten DVB-T-(Digital Video Broadcasting)-System werden beispielsweise 1.705 bzw. 6.817 solche Einzelträger benutzt. Im Empfänger werden diese Teilinformationen wieder zu einer
- 20 Gesamtinformation des senderseitigen digitalen Datenstromes zusammengefaßt. Dieses OFDM-System ist bekannt und wird beispielsweise näher beschrieben in HERMANN ROHLING, THOMAS MAY, KARSTEN BRÜNINGHAUS und RAINER GRÜNHEID, Broad-Band OFDM Radio Transmission for Multimedia Applications,
- 25 Proceedings of the IEEE, Bd. 87, Nr. 10, Oktober 1999, S. 1778 ff.

Bei solchen System ist es wichtig, daß der Empfänger exakt bezüglich Frequenz und Zeit auf die übertragenen OFDM-

30 Signalblöcke synchronisiert ist. Durch Bewegung von Sender und/oder Empfänger bzw. durch Unterschiede in der Frequenz können Doppler- und Frequenzverschiebungen der einzelnen Träger entstehen. Außerdem ist darauf zu achten, daß der Empfänger auch bezüglich der Zeit exakt auf den Beginn des

35 Orthogonalitätsintervalls der OFDM-Signalblöcke synchronisiert ist. Durch Laufzeitunterschiede beispielsweise in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger treffen die OFDM-Signalblöcke nicht immer zur selben Sollzeit am Empfänger ein.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren aufzuzeigen, mit dem ein solcher OFDM-Empfänger schnell und möglichst genau sowohl bezüglich Frequenz als auch bezüglich Zeit auf das empfangene OFDM-Signal synchronisiert werden kann.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren laut Oberbegriff des Hauptanspruches durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die beiden erfindungsgemäßen aufeinanderfolgenden Verfahrensschritte erlauben eine schnelle Frequenz- und Zeit-Synchronisation eines OFDM-Empfängers, wobei der dazu erforderliche Rechenaufwand in Folge des Empfangs auf einer festen Trägerfrequenz begrenzt ist, da der Festfrequenz-Betrieb den Einsatz von speziellen Mittelungs- und Glättungsmethoden ermöglicht.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines Hochfrequenzempfängers zum Empfang von OFDM-Signalen, die auf einer festen Trägerfrequenz in einem Empfangsteil E empfangen werden. Die Frequenz- und Zeitsynchronisation erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel gemäß der ersten Alternative des ersten Verfahrensschrittes, nämlich durch einen zweidimensionalen Frequenz-Zeit-Suchbetrieb. Das empfangene OFDM-Signal wird nach dem analogen Hochfrequenzempfangsteil E in einem Analog/Digital-Wandler A/D digitalisiert und in einem Pufferspeicher S zwischengespeichert. Für die Synchronisation ist eine zweidimensionale Frequenz- und Zeit-Sucheinrichtung Z vorgesehen, mittels welcher während einer zweidimensionalen Suchphase für jeden Abtastwert des A/D-Wandlers in einem vorbestimmten Frequenzbereich f_1 bis f_2 , in welchem der nominelle Frequenzwert f_0 des Empfängers liegt, ein frequenzmäßiges Qualitätskriterium des empfangenen OFDM-

Blocks bestimmt wird. Die zweidimensionale Suche zeigt schematisch Fig. 2. Zwischen f_1 und f_2 bildet der Frequenz-Suchbereich die eine Dimension des zweidimensionalen Suchbereiches, die andere Dimension bildet ein Zeit-Suchbereich zwischen τ_1 und τ_2 mit dem nominellen Zeitbeginn τ_0 des OFDM-Blocks. In diesem zweidimensionalen Frequenz-Zeit-Suchbereich f_1 bis f_2 bzw. τ_1 bis τ_2 wird für jeden Punkt jeweils ein Qualitätskriterium des empfangenen OFDM-Blocks bestimmt. Die Schrittweite, mit welcher der Frequenzbereich f_1 bis f_2 abgesucht wird, ist abhängig von der Art des OFDM-Signals und dem zu erwartenden maximalen Unterschied zwischen nomineller Frequenzlage f_0 und tatsächlicher Frequenzlage f_x . Die Schrittweite in der Zeitachse ist bestimmt durch die Abtastrate des A/D-Wandlers, die Schrittweite kann ein Vielfaches eines Abtastwertes betragen. In Fig. 2 ist der gesamte Suchbereich schraffiert dargestellt.

Das empfangene und im Pufferspeicher S in mindestens zwei aufeinanderfolgenden OFDM-Blöcken zwischengespeicherte OFDM-Signal wird im Übertragungskanal mehr oder weniger stark verzerrt. Diese Verzerrungen können Auswirkungen auf die zweidimensionale Suche haben, d. h. durch eine solche Verzerrung kann das Optimum des Qualitätskriteriums verschoben werden. Es ist daher vorteilhaft, das Signal vor der zweidimensionalen Suchauswertung und der Ermittlung des Qualitätskriteriums zu entzerren. Dazu sind gemäß Fig. 1 jeweils Entzerrer R vorgesehen, die der Recheneinheit D zur Ermittlung des Qualitätskriteriums vorgeschaltet sind. Eine Möglichkeit der Entzerrung besteht darin, hierzu die mit dem OFDM-Signal übertragenen Pilottöne auszuwerten, die im Allgemeinen zur Phasensynchronisation für die kohärente Demodulation benutzt werden und im vorliegenden Fall zusätzlich für die Entzerrung eingesetzt werden können. Aufgrund der bekannten Phasenlagen dieser Pilottöne zueinander sowie der bekannten Amplituden können Kanalverzerrungen in bekannter Weise ermittelt werden. Die Entzerrer R enthalten damit Kenntnis über den Phasen- und Amplitudengang des Übertragungskanals zwischen Sender und

Empfänger auf der vorgegebenen festen Sendefrequenz und können damit das OFDM-Signal entsprechend entzerren. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß jeder OFDM-Träger mit einem komplexen Wert multipliziert wird, der dem Amplituden- und Phasengang des Übertragungskanals entspricht. Wenn die OFDM-Träger nur mittels Phasen- oder Frequenzmodulation moduliert sind, genügt unter Umständen eine Multiplikation mit einem Phasenwert, der als Ergebnis der Schätzung des Phasenganges des Übertragungskanals erhalten wird. Wird der Träger jedoch amplitudenmoduliert, so muß mit dem Inversen des geschätzten Amplitudenganges multipliziert werden (Division). Bei kombinierter Amplituden- und Phasenmodulation, wie dies beispielsweise für höherwertige QAM-Modulationen der Fall ist, muß der betroffene Träger durch den komplexen geschätzten Wert der Übertragungsfunktion des Übertragungskanals dividiert werden.

Das Qualitätskriterium des OFDM-Signals wird während des zweidimensionalen Suchlaufes für jeden Punkt durch Vergleich zwischen dem Eingangssignal (Ausgangssignal des Pufferspeichers S) und dem Ausgangssignal der Entzerrer R im Rechner D ermittelt, d. h. es wird die Distanz berechnet, mit welcher der momentane Frequenzwert vom nominellen Sollwert abweicht. Das Kriterium ist im Allgemeinen die euklidische Distanz, kann jedoch auch der Absolutbetrag der Distanz oder der Betrag der Phasendifferenz der einzelnen Träger sein. Aus den so für jeden Bereichspunkt des zweidimensionalen Suchbereiches ermittelten Qualitätskriterien für Frequenz und Zeit wird der Bereichspunkt mit dem optimalen Qualitätskriterium ermittelt und der Empfänger kann so in einem ersten Verfahrensschritt unter Berücksichtigung der Differenz zwischen nomineller Frequenz und dem Frequenzwert, welcher dem optimalen Qualitätskriterium entspricht, grob synchronisiert werden und es kann auch beginnend mit dem Zeitwert, welcher dem optimalen Qualitätskriterium entspricht, das OFDM-Signal demoduliert und ggf. auch decodiert werden. Da bei diesem ersten Verfahrensschritt jedoch die eigentlichen Werte für

Frequenz und Zeit nur annähernd erreicht werden, wird in einem darauf folgenden zweiten Verfahrensschritt, der weiterführende Auswertkriterien benutzt, die eigentliche genaue Frequenz- und Zeitsynchronisation durchgeführt.

5

Im zweiten folgenden Verfahrensschritt werden die Phasenlagen der Pilottöne ausgewertet, die zusammen mit den OFDM-Signalblöcken übertragen und empfangen werden. Im Demodulator des Empfängers werden für jeden OFDM-Signalblock die Phasen der gleichzeitig übertragenen Pilottöne berechnet. Anschließend werden die Phasen der einzelnen Pilottöne über mehrere aufeinanderfolgende OFDM-Blöcke in geeigneter Weise gemittelt, d. h. gefiltert und geglättet. In einer ersten Stufe werden die auf einem OFDM-Block ermittelten Phasen der Pilottöne unwrapped (unwrapping stellt eine Abbildung der Phasen, die mit Hilfe des Arkustangenz auf dem Intervall $-\pi$ bis $+\pi$ errechnet wurde, auf die kontinuierliche Phasenachse dar. Hierbei wird berücksichtigt, daß sich die Phase zwischen OFDM-Blöcken nicht sprunghaft ändert). Jede dieser so projizierten Phasen kann anschließend zur Erhöhung der Meßgenauigkeit mittels eines schmalbandigen Filters gefiltert werden. Als Filter eignen sich eine lineare Regression, sogenannte order statistic filter wie Median-Filter oder PLL-Strukturen.

25

Die ermittelten Phasenverläufe der einzelnen Pilottöne sind Funktionen des Frequenzoffsets, der durch den Oszillatorversatz zwischen Sender und Empfänger sowie durch Dopplerverschiebungen, hervorgerufen durch die Bewegung von Sender und/oder Empfänger, entstehen oder durch den Versatz des Abtasttaktes zwischen Sender und Empfänger sowie der relativen Lage des Pilottons innerhalb des OFDM-Blocks. Aus diesen Phasenverläufen kann daher der Frequenzoffset und auch der Taktversatz berechnet werden. Auf diese Weise kann im zweiten Verfahrensschritt also über die Mittelung der Phasen der Pilottöne über mehrere OFDM-Blöcke die nominelle Frequenz und der Anfangszeitpunkt der OFDM-Blöcke wesentlich genauer bestimmt werden. Mit diesen Werten wird dann der Empfänger endgültig synchronisiert und auch während der

35

gesamt Sendung nachgeregelt, d. h. während der Sendung wird nur noch dieser zweite Verfahrensschritt unter Ausnutzung der Phasenlage der Pilottöne für die Synchronisation benutzt.

5

Um bei der Mittelung der Phasenwerte vereinzelt auftretende starke Abweichungen möglichst unberücksichtigt zu lassen, werden die gefilterten Phasenwerte abhängig von einem Qualitätskriterium gewichtet, d. h. stark von den übrigen
10 Werten abweichende Werte werden bei der Mittelung geringer berücksichtigt. Dieses Qualitätskriterium wird multiplikativ mit den jeweiligen Optimalwerten verknüpft und es wird dazu verwendet, um den Wert entweder nur geringer zu bewerten oder überhaupt von der Mittelung auszuschließen. Dieses
15 Kriterium wird vorzugsweise von der Güte der Decodierung des OFDM-Empfängers abgeleitet. Bei solchen OFDM-Empfängern ist oftmals ein sogenannter Maximum-Likelihood-Decoder (ML) vorgesehen der die Eigenschaft besitzt, das er als Ergebnis der Decodierung auch ein Qualitätskriterium liefert. Dieses
20 Kriterium kann unmittelbar für die Wichtung der gefilterten Werte bei der Mittelung benutzt werden. Auch sogenannte APP-Decoder sind für diesen Zweck geeignet, da auch sie ein entsprechendes Qualitätskriterium der empfangenen OFDM-Signale, die sogenannte a posteriori-Wahrscheinlichkeit,
25 liefern. Auch das Ergebnis einer sogenannten CRC-Decodierung ist hierfür als Gütemaß geeignet.

Vor der eigentlichen Demodulation und Decodierung im OFDM-Empfänger A werden die Empfangssignale noch in einem
30 adaptiven digitalen Filter F gefiltert. Dieses adaptive Filter wird über den Demodulator des Empfängers A in seinen Filterwerten gesteuert und ihm werden auch die im Empfänger berechneten Frequenz- und Zeitwerte zugeführt.

35 Der ermittelte optimale Abtastzeitpunkt und die tatsächliche Frequenz ändern sich während der Übertragung nicht oder nur sehr langsam. Eine langsame Änderung ist z. B. möglich, wenn sich Sender und Empfänger voneinander weg bewegen oder sich nähern. Aufgrund der langsamen Änderungen können diese Werte

nachgeführt werden. Hierbei werden die ermittelten optimalen Frequenz- und Zeitwerte im OFDM-Empfänger A über ein adaptives Filter nachgeführt. Hierfür eignet sich besonders ein Kalman-Filter.

5

Bei Festfrequenzbetrieb des Empfängers kann das adaptive Eingangsfilters F auch mittels sogenannter Decision Feedback (DFE) aktualisiert werden, indem nach der Ermittlung der genauen Frequenz- und Zeitwerte das OFDM-Signal damit demoduliert und decodiert wird und mit Hilfe dieses decodierten OFDM-Signals anschließend eine weitere Kanalschätzung und Entzerrung durchgeführt wird. Über diese DFE wird dann das adaptive Eingangsfiler F nachgeführt.

10

Aufgrund von Unterschieden der Oszillatoren im Sender und Empfänger können die Taktphasen driften. Als Folge davon wird ohne zusätzliche Maßnahme im Empfänger von Zeit zu Zeit ein Abtastpunkt zu viel oder zu wenig erzeugt. Dies kann entweder dadurch kompensiert werden, daß der Abtasttakt im Empfänger entsprechend nachgeregelt wird, indem beispielsweise der Takt für den A/D-Wandler oder Hauptoszillator, von dem die einzelnen Takte abgeleitet sind, geregelt wird. Eine andere Möglichkeit ist, diese Ablage in Entzerrfilter durch Phasenverschiebung so lange nachzuregeln, bis die Grenze von einem Abtastpunkt überschritten ist. Bei dieser Grenze wird dann einfach das um einen Abtastzeitpunkt nach vorne oder nach hinten versetzte Signal benutzt.

20

25

Im ersten Verfahrensschritt zur groben Ermittlung der Frequenz und des Anfangs der OFDM-Signal kann anstelle des beschriebenen zweidimensionalen Suchvorgangs auch die Auswertung einer vom Sender zu Beginn der Sendung bzw. zyklisch oder auch azyklisch wiederholt ausgesendeten Synchronisationssequenz benutzt werden, wodurch der Synchronisationsvorgang noch weiter vereinfacht wird. Als Synchronisationssequenz eignet sich jedes beliebige bekannte Signal, beispielsweise ein sogenanntes Chirp-Signal, über das im Empfänger unmittelbar die ungefähre nominelle

35

Frequenz und der nominelle Anfangszeitpunkt des OFDM-Signals ermittelt werden kann. Mit diesen Werten wird dann wieder wie in Fig. 1 dargestellt das adaptive Eingangsfilter F entsprechend gesteuert. Die Länge der Impulsantwort der gesamten Übertragungsfunktion (Kanal + Empfangsfilter) soll die Länge des OFDM-Schutzintervalles nicht überschreiten. Die Erzeugung des Filters erfolgt vorzugsweise so, daß ein optimales Wiener'sches Filter erzeugt wird. Auch in diesem Fall kann das adaptive Eingangsfilter durch DFE an sich

5
10

ändernde Ausbreitungsbedingungen angepaßt werden. Der anschließende 2. Verfahrensschritt erfolgt wieder wie oben beschrieben.

Ansprüche

1. Verfahren zur Frequenz- und Zeit-Synchronisation eines
5 Empfängers für den Empfang von OFDM-Signalen auf einer
festen Trägerfrequenz,
dadurch gekennzeichnet,
daß in einem ersten Verfahrensschritt
über einen zweidimensionalen Frequenz-Zeit-Suchbetrieb und
10 die Ermittlung des Bereichspunktes mit dem optimalen
Qualitätskriterium des OFDM-Signals
oder
über die Auswertung einer vom Sender gesendeten
Synchronisationssequenz
15 der ungefähre nominelle Wert der Frequenz und des
Zeitbeginns des OFDM-Blocks bestimmt wird,
und in einem darauf folgenden zweiten Verfahrensschritt im
Empfänger die Phase von mindestens einem der zusammen mit
dem OFDM-Signal übertragenen Pilottöne bestimmt und über
20 mehrere OFDM-Signalblöcke gemittelt wird und daraus
schließlich ein genauerer nomineller Wert der Frequenz und
des Zeitbeginns des OFDM-Blocks bestimmt wird,
und der Empfänger dann auf diese so bestimmte Frequenz
synchronisiert und das OFDM-Signal beginnend mit dem so
25 ermittelten Anfangszeitwert demoduliert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß während der auf die anfängliche Frequenz- und
30 Zeitsynchronisation folgende Sendezeit kontinuierlich
periodisch oder aperiodisch nur noch der zweite
Verfahrensschritt zur Synchronisation wiederholt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
35 **dadurch gekennzeichnet,**
daß am Eingang des OFDM-Empfängers ein adaptives digitales
Filter angeordnet ist, das über die im Empfänger berechneten
Filterkonstanten gesteuert ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß das adaptive Filter zusätzlich an sich ändernde
Ausbreitungsbedingungen des Übertragungskanals angepaßt
5 wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß im ersten Verfahrensschritt für jeden Punkt eines
10 zweidimensionalen Frequenz-Zeit-Suchbereiches, der in der
einen Dimension bestimmt ist, durch einen die nominelle
Frequenz des OFDM-Signals einschließenden Frequenz-
Suchbereich und in der anderen Dimension durch einen den
nominellen Anfang des OFDM-Signals einschließenden Zeit-
15 Suchbereich, ein Qualitätskriterium des OFDM-Signals
bestimmt wird,
daraus dann der Bereichspunkt mit dem optimalen
Qualitätskriterium des OFDM-Signals ermittelt wird,
und schließlich der Empfänger unter Berücksichtigung der
20 Differenz zwischen nomineller Frequenz und dem dem optimalen
Qualitätskriterium entsprechenden Frequenzwert auf die
nominelle Frequenz synchronisiert wird und beginnend mit dem
dem optimalen Qualitätskriterium entsprechenden Zeitwert das
OFDM-Signal demoduliert wird.

25
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß vor der Ermittlung des optimalen Qualitätskriteriums mit
Hilfe der im OFDM-Signal übertragenen Pilottöne die
30 Übertragungsfunktion des Übertragungskanals für jeden Träger
des OFDM-Signals geschätzt und in Abhängigkeit davon das
OFDM-Signal entzerrt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6,
35 **dadurch gekennzeichnet,**
daß als Qualitätskriterium die Abweichung (Distanz) zwischen
dem Eingang und dem Ausgang des Entzerrers benutzt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 5 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

daß das Qualitätskriterium nur für die zusammen mit den OFDM-Signalen übertragenen Pilottöne bestimmt wird.

5 9. Verfahren nach Anspruch 5 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

daß zu Beginn einer Sendung oder periodisch bzw. aperiodisch während der Sendung vom Sender eine Synchronisationssequenz in Form eines speziellen Bitmusters ausgesendet wird und

10 damit das optimale Qualitätskriterium ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6 bis 9,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Entzerrung durch Multiplikation der einzelnen OFDM-Träger mit einem komplexen Wert erfolgt, welcher dem Amplituden- und Phasengang des Übertragungskanals entspricht.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

20 **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Mittelung der im zweiten Verfahrensschritt berechneten Phasenwerte der Pilottöne durch Filtern und Glätten über mehrere OFDM-Signalblöcke erfolgt.

25 12. Verfahren nach Anspruch 11,

dadurch gekennzeichnet,

daß zur Filterung eine lineare Regression benutzt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11,

30 **dadurch gekennzeichnet,**

daß zur Filterung ein order statistic filter, insbesondere ein Median-Filter benutzt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 11,

35 **dadurch gekennzeichnet,**

daß zur Filterung eine Phasenregelschleife benutzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 11 bis 14,

dadurch gekennzeichnet,

daß die berechneten Phasenwerte in Abhängigkeit von einem Qualitätskriterium der OFDM-Signale gewichtet werden und bei der Mittelung entsprechend gewichtet berücksichtigt werden.

- 5 16. Verfahren nach Anspruch 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Wichtungskriterium die Güte des Decodierergebnisses im Empfänger benutzt wird.
- 10 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß im Demodulator des Empfängers ein zusätzliches adaptives Filter, insbesondere ein Kalman-Filter, vorgesehen ist, durch welches langsame Änderungen ausgeregelt werden.
- 15 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß nach der Ermittlung der genaueren Werte für Frequenz und Anfang der OFDM-Signale diese demoduliert und decodiert
20 werden und mit Hilfe dieses decodierten OFDM-Signals anschließend eine weitere Kanalschätzung und Entzerrung des OFDM-Signals durchgeführt wird.
- 25 19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Abtasttakt im Empfänger durch Regeln des Hauptoszillators, des Abtasttaktes des A/D-Wandlers oder durch Phasenverschiebung im Empfangsfilter mit dem senderseitigen Abtasttakt synchronisiert wird.

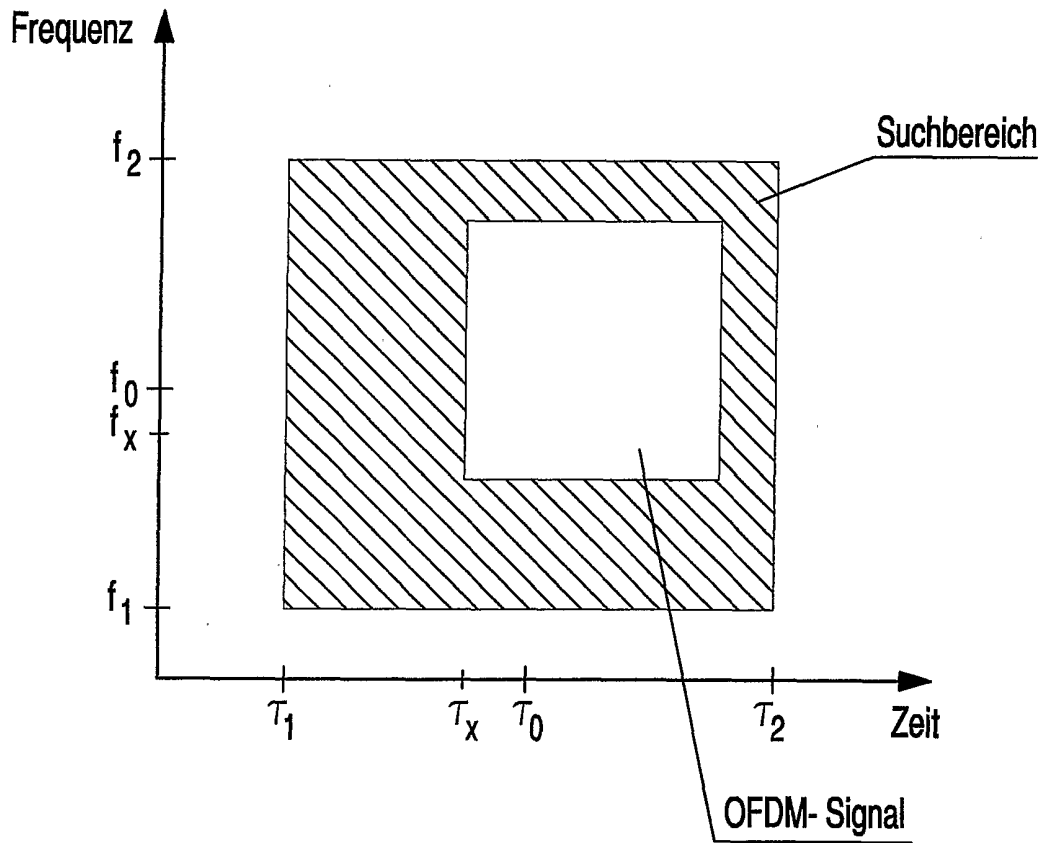


Fig. 2