



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 12 850 T2 2004.01.22**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 920 765 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 12 850.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE98/00354**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 908 383.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/039886**

(86) PCT-Anmeldetag: **27.02.1998**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **11.09.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **09.06.1999**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **02.04.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.01.2004**

(51) Int Cl.7: **H04L 27/26**  
**H04L 5/22**

(30) Unionspriorität:

**9700785 03.03.1997 SE**

**9703630 06.10.1997 SE**

(73) Patentinhaber:

**STMicroelectronics N.V., Amsterdam, NL**

(74) Vertreter:

**Glawe, Delfs, Moll, Patentanwälte, 80538 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**CH, DE, DK, FI, FR, GB, LI, NL, SE**

(72) Erfinder:

**OLSSON, Lennart, S-973 31 Lulea, SE;**

**BAHLENBERG, Gunnar, S-976 32 Lulea, SE;**

**BENGTSSON, Daniel, S-977 53 Lulea, SE;**

**HAKANSSON, Siwert, S-177 61 Järfälla, SE;**

**ISAKSSON, Anders, S-977 25 Lulea, SE;**

**ISAKSSON, Lars-Ake, S-972 36 Lulea, SE;**

**ISAKSSON, Mikael, S-973 42 Lulea, SE;**

**JOHANSSON, Magnus, S-972 41 Lulea, SE; LATHI,**

**Mauritz, S-973 33 Lulea, SE; LJUNGGREN,**

**Lis-Marie, S-977 53 Lulea, SE; LUNDBERG, Hans,**

**S-972 53 Lulea, SE; NORDSTRÖM, Tomas, 977 53**

**Lulea, SE; OLOFSSON, Sven-Rune, S-972 45**

**Lulea, SE; STEFANSSON, Tomas, S-961 93 Boden,**

**SE; ÖHMAN, Hans, S-977 53 Lulea, SE; ÖKVIST,**

**Göran, S-974 41 Lulea, SE**

(54) Bezeichnung: **VERBESSERUNGEN BEI ODER IN BEZUG AUF SYNCHRONISIERUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein OFDM-Übertragungssystem, einen OFDM-Empfänger, OFDM-Modems, die ADSL-Modems und VDSL-Modems umfassen, und Verfahren zum Synchronisieren eines OFDM-Empfängers mit einem hereinkommenden Mehrfachträgersignal, insbesondere betrifft die vorliegende die Rahmensynchronisation für ein OFDM-System unter Verwendung von Frequenzbereichsdaten.

[0002] Bei dieser Veröffentlichung soll der Begriff OFDM (Orthogonal Frequency Devision Multiplex Typ) DMT (Discrete Multi-Tone) enthalten.

[0003] Die Nachfrage nach dem Einrichten von Multimedia und anderen Breitbanddiensten über Telekommunikationsnetzwerke hat die Notwendigkeit erzeugt, über Kupferpaare einen hohen Bitratenverkehr zu übertragen. Diese Anforderung hat zu der Entwicklung von einer Anzahl von unterschiedlichen Übertragungsschemata geführt, wie beispielsweise ADSL (Asynchrone, digitale Teilnehmerleitung) und VDSL (Digitale Teilnehmerleitungen mit sehr hoher Bitrate). Eines der geeignetsten Modulationssysteme für all diese Übertragungsschemata ist ein Leitungscodierverfahren, das als DMT (Diskreter Multiton) bekannt ist, das eine starke Ähnlichkeit zu dem orthogonalen Frequenzteilungs-Multiplex hat und eine Spread-Spektrum-Übertragungstechnik ist.

[0004] Bei einer Diskret-Multiton-Übertragung ist die zur Verfügung stehende Bandbreite in eine Anzahl von Unterkanälen unterteilt, von denen jeder eine kleine Bandbreite von vielleicht 4 kHz hat. Der Verkehr ist den verschiedenen Subkanälen in Abhängigkeit von der Rauschenergie und dem Übertragungsverlust in jedem Sub-Kanal zugewiesen. Jeder Kanal trägt Mehrpegelimpulse, die bis zu 11 Datenbits repräsentieren können. Kanäle mit geringer Qualität führen weniger Bits oder können vollständig geschlossen werden.

[0005] Weil die gegenseitige Störung in den paarweisen Kupferkabeln höher ist, wenn Daten in den beiden Richtungen übertragen werden, d. h. symmetrischer Duplex, sind eine Anzahl von Übertragungsschemata unter Verwendung von asymmetrischen Schemata vorgeschlagen worden, bei denen hohe Datengeschwindigkeiten nur in einer Richtung übertragen werden. Solche Schemata erfüllen viele Anforderungen für hohe Bandbreitendienste, wie beispielsweise Video-On-Demand.

[0006] Die VDSL-Technologie ähnelt der ADSL-Technologie in einem großen Ausmaß, obwohl ADSL für sehr viel größere dynamische Bereiche eingestellt sein muß und als Ergebnis beträchtlich komplexer ist. VDSL hat geringere Kosten und eine geringere Leistung und VDSL-Einheiten für Gebäude müssen eine physikalische Schicht-Mediazugriff-Steuerung für die Multiplex-Verarbeitung von Stromaufwärts-Daten implementieren.

[0007] Für VDSL sind vier Leitungscodes vorge-

schlagen worden:

- CAP: Trägerloses AM/PM, eine Version von unterdrücktem Träger-QAM für passive NT-Konfigurationen, CAP würde QPSK stromaufwärts und eine Art von TDMA für Multiplexen verwenden (obwohl CAP keine FDM-Lösung für stromaufwärts-Multiplexen ausschließen würde);

- DMT: Diskrete-Multiton, ein Multiträgersystem unter Verwendung von diskreten Fourier-Transformationen zum Erzeugen und Demodulieren individueller Träger für passive NT-Konfigurationen; DMT würde FDM für Stromaufwärts-Multiplexen verwenden (obwohl DMT eine TDMA-Multiplex-Strategie nicht ausschließt);

- DWMT: diskreter Wavelet-Multiton, ein Mehrträgersystem, das Wavelet-Transformationen verwendet, um individuelle Träger zu erzeugen und zu demodulieren, DWMT verwendet ebenfalls FDM für das Stromaufwärts-Multiplexen, erlaubt aber auch TDMA; und

- SLC: einfacher Leitungscodierverfahren, eine Version für 4-Pegel-Basisband-Signalgebung, die das Basisband filtert und es am Empfänger wiederherstellt, für passive NT-Konfigurationen; SLC würde am wahrscheinlichsten für das Stromaufwärts-Multiplexen TDMA verwenden, obwohl FDM möglich ist.

[0008] Frühe Versionen von VDSL verwenden Frequenzteilungs-Multiplexe, um die Stromabwärts- von den Stromaufwärts-Kanälen zu trennen und beide von PTS und ISDN zu trennen. Für Systeme späterer Generationen, die symmetrische Datenraten zeigen, kann eine Echo-Löschung erforderlich sein. Ein beträchtlicher Frequenzabstand wird zwischen dem niedrigsten Datenkanal und POTS aufrechterhalten, um sehr einfache und kosteneffektive POTS-Aufspalter zu ermöglichen. Die normale Praxis würde den Stromabwärts-Kanal oberhalb des Stromaufwärts-Kanals anordnen. Die DAVIC-Spezifizierung kehrt jedoch diese Reihenfolge um, um eine Gebäudevorteilung von VDSL-Signalen über Coaxialkabelsysteme zu ermöglichen.

[0009] In einem Mehrfachträgersystem wie beispielsweise einem DMT-System muß ein Empfänger in der Lage sein, einen Abtasttakt zu gewinnen, der sehr genau zu einem Übertragungsabtasttakt synchronisiert ist. Ein bekanntes Verfahren zum Erzielen der Synchronisation verwendet einen reservierten Träger, den Pilotträger, der mit einer feststehenden Phase übertragen wird. Der Empfängerabtasttakt wird dann mit dem Pilot-Träger phasensynchronisiert. Die Rahmenzeitschaltung muß ebenfalls wiedergewonnen werden. In existierenden Systemen wurde dies unter Verwendung einer Korrelationstechnik erzielt, die in dem Zeitbereich arbeitet.

[0010] Bei den OFDM-Systemen sind die Frequenzbereichsdaten die Fourier-Transformation der empfangenen Zeitbereichs-OFDM-Rahmen. Die Zeitbereichs-Rahmen müssen am Empfänger synchron mit dem Sender abgetastet werden, so dass jeder empfangene Rahmen Daten aus nur einem einzigen ge-

sendeten Rahmen enthält. Für diese Synchronisation ist es von grundlegender Bedeutung, dass sie aufrechterhalten wird, um die Rechtwinkeligkeit der Rahmen aufrechtzuerhalten.

[0011] Ein typisches Mehrfachträgersystem vom OFDM-Typ, das einen zyklischen Präfix verwendet, erlaubt die Aufrechterhaltung der Rechtwinkeligkeit, wenn eine kleine Abweichung von der exakten Rahmensynchronisation vorhanden ist. Weil das Signalisier-Intervall sowohl einen ganzen Rahmen als auch den zyklischen Präfix enthält, der eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, wird ein Rahmen, der innerhalb des Signalisier-Intervalls abgetastet worden ist, Daten von nur einem Rahmen enthalten. Da das Signalisierintervall größer als die Rahmenperiode ist, gibt dies einen gewissen Spielraum bei der Rahmenausrichtung.

[0012] Die vorliegende Erfindung schafft einen Mechanismus zur Erzielung der Rahmensynchronisation in dem Frequenzbereich durch die Verwendung dieser Tatsache. Der erste Schritt beim Synchronisieren eines Empfängers mit einem Sender bei der Signalerfassung ist es, das Intervall zu bestimmen, in welchem eine Rechtwinkeligkeit besteht. Wenn dies erst einmal erzielt worden ist, wird aus dem empfangenen Rahmen eine Argumentfunktion berechnet. Diese Argumentfunktion kann dann dazu verwendet werden, die Synchronisation zu verbessern.

[0013] Bekannte Techniken zum Erzielen einer Rahmensynchronisation arbeiten nicht gänzlich in dem Frequenzbereich, wie dies bei der vorliegenden Erfindung der Fall ist. Die Verwendung der vorliegenden Erfindung erlaubt eine Implementierung von OFDM-Empfängern mit einer beträchtlichen Einsparung an Komplexität verglichen mit den Empfängern gemäß dem Stand der Technik, weil die erforderlichen arithmetischen Operationen mit geringer Auflösung durchgeführt werden können.

[0014] Die vorliegende Erfindung ist insbesondere für die Verwendung von ADSL und VDSL-Modems geeignet, die dazu verwendet werden können, einen Breitbandzugriff über Kupfernetzwerke zu ermöglichen. Die Erfindung hat auch bezüglich Breitbandübertragung in mobilen und halbmobilen Systemen zum Übertragen über Rundfunkkanäle Relevanz.

[0015] Die EP-A-2-0730357 wird als der am nächsten liegende Stand der Technik erachtet. Das Dokument beschreibt ein Frequenz- und Rahmensynchronisationsverfahren und eine Vorrichtung für OFDM-Systeme. Die Daten werden in Rahmen übertragen, wobei jeder Rahmen einen zyklischen Teil eines Symbols hat, das in einem Schutzraum wiederholt wird.

[0016] Es wird ein Interkorrelationsverfahren zum Bestimmen des Rahmenanfangs verwendet und die Oszillatorfrequenz wird mit einer Schätzung des Frequenzfehlers aktualisiert. Es gibt keinen Hinweis auf die Minimierung einer objektiven Funktion, die von den Frequenzbereichs-Eingangsdaten abgeleitet ist, um die Synchronisation zu erzielen.

[0017] Die WO-95/03656 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Synchronisation in digitalen Übertragungssystemen vom OFDM-Typ. Für die Bestimmung des Rahmenanfangs wird ein Interkorrelationsverfahren verwendet.

[0018] Die US-A-5,444,697 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Rahmensynchronisation in mobiler OFDM-Datenkommunikation. Das Verfahren bietet einen dreistufigen Synchronisationsprozeß. Der erste Schritt detektiert das Einsetzen eines OFDM-Rahmens. Der zweite Schritt ist eine Grobsynchronisation unter Verwendung der Korrelation zwischen dem empfangenen Signal und einem Referenzsignal. Ein dritter Schritt wird durch Berechnen einer Zeitverschiebung und unter Verwendung eines Interkorrelationsverfahrens erzielt.

[0019] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Empfänger zur Verwendung in einem OFDM-Übertragungssystem geschaffen, bei dem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen einen zyklischen Präfix hat, der eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, wobei der Empfänger mit den übertragenen Rahmen durch Bearbeiten der Frequenzbereichs-Eingangsdaten synchronisiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass Suchmittel vorgesehen sind, um das korrekte Intervall für die Rahmenabtastung zu finden, wobei die Suchmittel so ausgebildet sind, dass sie einen Minimum-Wert einer objektiven Funktion, die von den Frequenzbereichs-Eingangsdaten abgeleitet worden ist, finden können, und eine diesem Minimum-Wert zugeordnete Rahmenstartzeit wählen können.

[0020] Suchmittel können für das Durchführen einer Suche nach einem Zeitbereichsintervall einer Rahmenlänge, die in ein Signalisierintervall fällt, welches den Rahmen und das zyklische Präfix enthält, vorgesehen sein.

[0021] Die Suchmittel können eine Zählereinrichtung aufweisen, um einen Rahmenstartimpuls zu erzeugen, wobei der Zustand der Zählereinrichtung in Schritten modifiziert wird, die den Rahmenstartimpuls um ein Maß gleich der zyklischen Präfixlänge verschieben.

[0022] Diese Zählereinrichtung kann durch einen Abtasttakt getaktet sein.

[0023] Die Zählereinrichtung kann so getaktet sein, dass der Zeitpunkt des Rahmenstartimpulses so lange verschoben wird, bis die objektive Funktion einen Minimumwert hat.

[0024] Diese objektive Funktion kann eine Schätzung einer Störung in einer Argumentfunktion sein.

[0025] Die objektive Funktion J für einen k-ten Rahmen kann berechnet werden aus:

$$J_k = \sum_n \left| \angle \left( \frac{X_{n,k}}{T_{n,k}} - \angle \left( \frac{X_{n-1,k}}{T_{n-1,k}} \right) \right) \right|$$

wobei X ein Frequenzbereichsvektor ist, und T sich auf laufende Rahmendaten bezieht und die Summation alle aktiven Trägerfrequenzen n umfaßt.

[0026] Die Sucheintrichtung kann die Suche solange fortführen, bis eine erste Abtastung eines Rahmens identifiziert worden ist unter Verwendung einer geschätzten Neigung einer Argumentfunktion eines Frequenzbereichsvektors.

[0027] Der Zustand der Zählereinrichtung kann so lange inkrementierend modifiziert werden, bis die Neigung nahe 0 ist.

[0028] Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein OFDM-Übertragungssystem geschaffen, bei dem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen ein zyklisches Präfix hat, das eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, dadurch gekennzeichnet, dass das System einen Empfänger wie nach einem der vorstehenden Absätze definiert, aufweist.

[0029] Gemäß einem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Synchronisieren eines Empfängers mit einem Sender in einem OFDM-Übertragungssystem geschaffen, bei dem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen ein zyklisches Präfix hat, das eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, so dass die empfangenen Rahmen mit den übertragenen Rahmen ausgerichtet sind, wobei der Empfänger auf den Frequenzbereichs-Eingangsdaten arbeitet, dadurch gekennzeichnet, dass der Empfänger eine Suche durchführt, um das korrekte Intervall für die Rahmenabtastung zu finden, indem er einen Minimumwert einer objektiven Funktion, die von den Frequenzbereichs-Eingangsdaten abgeleitet ist, findet, und einen Rahmenstartzeitpunkt zugeordnet zu diesem Minimumwert wählt.

[0030] Der Empfänger kann eine Suche durchführen nach einem Zeitbereichsintervall von einer Rahmenlänge, die in ein Signalisierintervall fällt, das den Rahmen und das zyklische Präfix enthält.

[0031] Dieser Suchschritt kann durch inkrementierendes Modifizieren eines Zählerzustandes durchgeführt werden, wobei der Zähler einen Rahmenstartimpuls erzeugt, der für jede Erhöhung durch eine Größe gleich der zyklischen Präfixlänge verschoben wird.

[0032] Der Zähler kann durch einen Abtasttakt getaktet sein.

[0033] Der Zähler kann so getaktet sein, dass der Zeitpunkt des Rahmenstartimpulses solange verschoben wird, bis die objektive Funktion einen Minimumwert hat.

[0034] Die objektive Funktion kann aus einer Störung in einer Argumentfunktion geschätzt werden.

[0035] Die objektive Funktion J für einen k-ten Rahmen kann berechnet werden aus:

$$J_k = \sum_n \left| \angle \left( \frac{X_{n,k}}{T_{n,k}} \right) - \angle \left( \frac{X_{n-1,k}}{T_{n-1,k}} \right) \right|$$

wobei X ein Frequenzbereichsvektor ist und T sich auf laufende Rahmendaten bezieht und die Summation alle aktiven Trägerfrequenzen n umfasst.

[0036] Die Suche kann fortgesetzt werden, um eine erste Abtastung eines Rahmens zu identifizieren, indem eine geschätzte Neigung einer Argumentfunktion eines Frequenzbereichsvektors X verwendet wird.

[0037] Der Zähler kann so lange inkrementierend modifiziert werden, bis die Neigung nahe 0 ist.

[0038] Gemäß einem vierten Aspekt der Erfindung ist ein ADSL-Modem geschaffen, dadurch gekennzeichnet, dass das Modem einen Empfänger wie vorstehend definiert hat, oder ein Synchronisationsverfahren wie vorstehend definiert, betreibt.

[0039] Gemäß einem fünften Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein VDSL-Modem geschaffen, dadurch gekennzeichnet, dass das Modem einen Empfänger wie vorstehend definiert hat, oder ein Synchronisationsverfahren wie vorstehend definiert betreibt.

[0040] Es werden nun Ausführungsformen der Erfindung als Beispiel unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren beschrieben, in welchen zeigt:

[0041] **Fig. 1** in funktionaler Form eine Entzerrer- und Abtaststeuereinheit, in welcher die vorliegende Erfindung implementiert sein kann.

[0042] **Fig. 2** zeigt das Zeitbereichs-Datenformat eines OFDM-Signals, das bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird.

[0043] Der Synchronisationsprozeß der vorliegenden Erfindung ist in einer funktionalen Form in der Funktion **1** dargestellt. Die hereinkommenden Frequenzbereichsdaten werden über einen Entzerrer in einen Detektor-Analog-Digital-Umsetzer und dann zu einem Symbol-Dekoder geleitet. Die Funktionsweise der übrigen, in der **Fig. 1** gezeigten Blöcke, nämlich der Entzerrungsparameter-Aktualisierungs-Algorithmus, der Abtasttaktsteuer-Algorithmus und der Rahmenzeitschaltalgorithmus werden in der folgenden Beschreibung erläutert. An diesem Punkt ist es jedoch wert, anzugeben, dass:

- der Entzerrungsparameter-Aktualisierungsalgorithmus-Eingänge von den rohen Frequenzbereichseingangsdaten, X, den Ausgang des Entzerrers U und den Ausgang des Detektors-Analog-Digital-Umsetzers Y, hereinnimmt;

- der Abtasttakt-Steuerungsalgorithmus einen Eingang von dem Entzerrungsparameter-Aktualisierungsalgorithmus empfängt, wie dies der Entzerrer tut; und

- der Rahmenzeitschaltalgorithmus einen Eingang von den rohen Frequenzbereichs-Eingangsdaten akzeptiert.

[0044] Die Frequenzbereichsdaten umfassen die empfangenen Zeitbereichs-OFDM-Rahmen nach der Fourier-Transformation. Die Zeitbereichsrahmen müssen synchron mit dem Sender abgetastet werden, so dass jeder empfangene Rahmen Daten von nur einem übertragenen Rahmen enthält. Dies ist wichtig, um die Rechtwinkligkeit der Rahmen zu erhalten.

[0045] **Fig. 2** zeigt das Zeitbereichsformat der Übertragung der OFDM-Rahmen, das bei der vorliegen-

den Erfindung verwendet wird.

[0046] Das Signalisierintervall enthält ein zyklisches Präfix und einen Rahmen. Das zyklische Präfix ist eine Kopie des letzten Teils des Rahmens. Das heißt, dass ein Rahmen, der irgendwo im Inneren des Signalisierintervalls abgetastet ist, nur Daten von einem übertragenen Rahmen enthält. Eine Abweichung von der exakten Rahmenzeitschaltung wird daher zu einer zyklischen Permutation des Rahmens führen. Die Rechtwinkeligkeit wird jedoch aufrechterhalten.

[0047] Die Rahmenzeitschaltabweichung kann als eine lineare Neigung einer Argumentfunktion detektiert werden – siehe weitere Details weiter unten, die proportional zur Abweichung ist. Dies wird jedoch nur solange gültig sein, als die Rechtwinkeligkeit aufrechterhalten ist. Das zyklisch permutierte Intervall (das Signalisierintervall) muß als erstes am Anfang gefunden werden.

[0048] Die Frequenzbereichssynchronisation basiert somit auf einer Argumentfunktion der empfangenen Rahmen (X), die modulationskompensiert sind. Die Argumentfunktion eines Frequenzbereichsrahmens ist der Vektor der Argumente der einzelnen komplexen Elemente (Träger).

[0049] Das Argument eines individuellen Trägers ist in diesem Fall die Summe aus dem Modulationsargument, dem Kanaleinfluß und der Abtastzeitschaltabweichung. Das Modulationsargument wird durch Subtrahieren des bekannten Argumentwertes eliminiert. Dies erfolgt unter Verwendung bekannter gesendeter Daten (einem laufenden Rahmen T). Der Kanaleinfluß wird in diesem Fall vernachlässigt.

[0050] Das Argument einer komplexen Zahl ist die inverse Tangente des imaginären Teils geteilt durch den realen Teil. In dieser Berechnung wird ein Problem hervorgebracht, das die inverse Tangentenfunktion mit einer Periode von  $2\pi$  Radianten periodisch ist. Bei dieser Anwendung ist es notwendig, die Argumente größer als  $n$  Radianten zu handhaben, was der Bereich der inversen Tangentenfunktion ist. Es ist üblicherweise möglich, eine andere Information bezüglich des Argumentes zu verwenden, um diese periodische Funktion abzuwickeln, so dass diese einen größeren Bereich abdeckt. Eine nützliche Annäherung ist, dass die Differenz in dem Argument zwischen benachbarten Trägern kleiner als  $\pi$  Radianten ist. Es ist dann möglich, jede Diskontinuität, die durch die Periodizität der inversen Tangentenfunktion verursacht wird, zu kompensieren, und somit die Argumentfunktion abzuwickeln.

[0051] Um die Argumentfunktion für die Abtastzeitschaltsteuerung zu verwenden, ist es notwendig, dass das Abtasten des empfangenen Rahmens immer innerhalb des zyklisch permutierten Intervalls (des Signalisierintervalls) beginnt. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird die Argumentfunktion ernsthaft gestört und wird für die Abtastzeitschaltsteuerung nicht gültig sein.

[0052] Die vorliegende Erfindung verwendet eine neue Technik zum Herausfinden des korrekten Inter-

valls für die Rahmenabtastung und verwendet eine Schätzung der Größe der Störung der Argumentfunktion als eine objektive Funktion.

[0053] Ein Rahmen, der im Inneren des korrekten Intervalls abgetastet ist, zeigt einen Minimum-Wert für diese Größe. Die Rahmenstartzeit wird durch eine Signalisierintervalllänge stufenförmig und die objektive Funktion wird für jede Stufe geschätzt. Die Stufengröße ist gleich der Größe des zyklischen Präfix. Dann wird die Rahmenstartzeit gewählt, die den Minimum-Wert der objektiven Funktion ergibt.

[0054] Jedes Maß, das die Größe der Änderung in der Argument-Funktion repräsentiert, kann bei dieser Technik als eine objektive Funktion verwendet werden. Ein Beispiel für ein derartiges Maß ist durch die untenstehende Gleichung (1) gegeben.

[0055] Die Summe der Größen der Argument-Differenzen von benachbarten Trägern wird als die objektive Funktion J zum Wählen des korrekten Rahmenintervalls verwendet. Die Teilungen durch die Komponenten des laufenden Rahmens, T, die in der Gleichung gezeigt sind, sind nicht tatsächlich durchgeführt worden, da nur die Argumente der Quotienten berechnet werden (Modulationskompensation). Eine Abwicklungsfunktion wird dazu verwendet, die Gelegenheiten zu berücksichtigen, wenn die Argument-Differenzen benachbarter Träger quer zur Diskontinuität der inversen Tangentenfunktion genommen sind.

$$J_k = \sum_n \left| \angle \left( \frac{X_{n,k}}{T_{n,k}} \right) - \angle \left( \frac{X_{n-1,k}}{T_{n-k,k}} \right) \right| \quad \dots \dots \dots (1)$$

[0056] In der Gleichung (1) hängt der Bereich von n davon ab, welche Träger aktiv sind. Für die Fälle, bei denen das Band der aktiven Trägerin mehrere Teile unterteilt ist, die durch Lehrbänder getrennt sind, wird die objektive Funktion J gemäß der Gleichung (1) berechnet, wobei die inaktiven Träger weggelassen sind.

[0057] Es ist wichtig, dass beide Operanden des Differenzausdruckes sich immer auf die aktiven Träger beziehen.

[0058] Ein Minimum-Wert von J bedeutet, dass der Rahmen im Inneren des zyklisch permutierten Intervalls (Signalisierintervalls) abgetastet worden ist.

[0059] Die Auslösung der Rahmensynchronisation wird in den unten angegebenen Schritten durchgeführt. Anfangs wird ein laufender Rahmen, der mit bekannten Daten moduliert ist, wiederholt übertragen. Dann werden die folgenden Synchronisationsschritte implementiert:

[0060] Es wird eine Suche durchgeführt nach einem Zeitbereichsintervall mit einer Rahmenlänge, das innerhalb eines zyklisch permutierten Intervalls (Signalisierintervall) liegt. Der Rahmenstartimpuls wird durch einen Zähler erzeugt, der durch den Abtasttakt getaktet ist und hat eine Periode gleich dem Signalisierintervall. Während des Suchvorganges wird der Zählerzustand in Schritten gleich der zyklischen Präfix-Länge so lange modifiziert, bis das korrekte Inter-

vall gefunden ist, wie dies durch die objektive Funktion angegeben ist. Der Frequenzbereichsvektor X wird als der Eingang für die objektive Funktionsabschätzung verwendet.

[0061] Die Suche wird für die erste Abtastung des Rahmens fortgesetzt, indem die geschätzte Neigung der nicht abgewickelten Rahmen-Argumentfunktion des Vektors X verwendet wird. Der Zustand des Rahmenstartpositionszählers wird nach Art einer binären Suche (sukzessive Annäherung) so lange modifiziert, bis die Neigung nahe 0 ist. Das Vorzeichen der Argumentneigung wird dazu verwendet, die Richtung jeder Änderung zu bestimmen. Die Neigung der Argument-Funktion wird unter Verwendung eines Standardverfahrens geschätzt.

[0062] Die einzige Neuigkeit in der Technik der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung der Eigenschaften der Argument-Funktion für die Detektion, ob der abgetastete Rahmen rechtwinkelig ist oder nicht. Dies zeigt an, ob der gesamte Rahmen korrekt im Inneren eines Signalisierungsintervalls abgetastet worden ist oder nicht.

[0063] Die vorliegende Erfindung erlaubt eine Implementierung mit geringer Komplexität, da die beteiligten arithmetischen Operationen unter Verwendung von einer niedrigen Auflösung durchgeführt werden können. Insbesondere kann die inverse Tangentoperation Start vereinfacht werden.

### Patentansprüche

1. Empfänger zur Verwendung in einem OFDM-Übertragungssystem, in welchem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen ein zyklisches Präfix hat, das eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, wobei der Empfänger Mittel zum Synchronisieren mit übertragenen Rahmen durch Arbeiten auf Frequenzbereichs-Eingangsdaten aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß Suchmittel vorgesehen sind, um das korrekte Intervall für die Rahmenabtastung zu finden, wobei die Suchmittel so ausgebildet sind, daß sie einen Minimum-Wert einer objektiven Funktion, die von den Frequenzbereichs-Eingangsdaten abgeleitet worden ist, finden können; und eine diesem Minimum-Wert zugeordnete Rahmenstartzeit wählen können.

2. Empfänger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Suchmittel so ausgebildet sind, daß sie eine Suche durchführen können nach einem Zeitbereichsintervall einer Rahmenlänge, die innerhalb ein Signalisierungsintervall fällt, welches den Rahmen und das zyklische Präfix enthält.

3. Empfänger nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Suchmittel eine Zählereinrichtung aufweisen, um einen Rahmenstartimpuls zu erzeugen, wobei der Zustand der Zählereinrichtung in Schritten modifiziert wird, die den Rahmenstartimpuls um ein Maß gleich der zyklischen Präfixlänge

verschieben.

4. Empfänger nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zählereinrichtung durch einen Abtasttakt getaktet ist.

5. Empfänger nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zählereinrichtung so getaktet ist, daß der Zeitpunkt des Rahmenstartimpulses solange verschoben wird, bis die objektive Funktion einen Minimumwert hat.

6. Empfänger nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die objektive Funktion eine Schätzung einer Störung in einer Argument-Funktion ist.

7. Empfänger nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die objektive Funktion, J, für einen k-ten Rahmen berechnet wird aus:

$$J_k = \sum_n \left| \angle \left( \frac{X_{n,k}}{T_{n,k}} - \angle \left( \frac{X_{n-1,k}}{T_{n-k,k}} \right) \right) \right|$$

wobei X ein Frequenzbereichsvektor ist und T sich auf laufende Rahmendaten bezieht und die Summation alle aktiven Trägerfrequenzen n umfaßt.

8. Empfänger nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Suchmittel so ausgebildet sind, daß sie die Suche fortsetzen, bis eine erste Abtastung eines Rahmens unter Verwendung einer geschätzten Neigung einer Argument-Funktion eines Frequenzbereichsvektors X identifiziert worden ist.

9. Empfänger nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Suchmittel so ausgebildet sind, daß sie den Zustand der Zählereinrichtung so lange erhöhend modifizieren, bis die Neigung nahe 0 ist.

10. OFDM-Übertragungssystem, bei dem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen ein zyklisches Präfix hat, das eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, dadurch gekennzeichnet, daß das System einen Empfänger wie in einem der Ansprüche 1 bis 9 beansprucht, aufweist.

11. Verfahren zum Synchronisieren eines Empfängers mit einem Sender in einem OFDM-Übertragungssystem, bei dem Daten in Rahmen übertragen werden, wobei jeder Rahmen ein zyklisches Präfix hat, das eine Wiederholung eines Teils des Rahmens ist, so daß empfangene Rahmen mit übertragenen Rahmen ausgerichtet werden, wobei der Empfänger auf Frequenzbereichs-Eingangsdaten arbeitet, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger danach sucht, das korrekte Intervall für die Rahmenabtastung zu finden, indem er einen Minimum-Wert einer objektiven Funktion, die aus den Frequenzbereichs-Eingangsdaten abgeleitet worden ist, findet

und einen diesem Rahmenstartzeitpunkt zugeordneten Minimum-Wert wählt.

Ansprüche 1 bis 9 beansprucht hat.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger nach einem Zeitbereichsintervall einer Rahmenlänge, die innerhalb ein Signalisierintervall fällt, sucht, das den Rahmen und das zyklische Präfix enthält.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Suchschritt durchgeführt wird, indem der Zustand eines Zählers erhöhend modifiziert wird, wobei der Zähler einen Rahmenstartimpuls erzeugt, der für jede Erhöhung um ein Maß gleich der zyklischen Präfixlänge verschoben wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler mit einem Abtasttakt getaktet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler so taktet, daß er den Zeitpunkt des Rahmenstartimpulses so lange schiebt, bis eine objektive Funktion einen Minimum-Wert hat.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die objektive Funktion aus einer Störung in einer Argument-Funktion ermittelt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die objektive Funktion J für einen k-ten berechnet wird aus:

$$J_k = \sum_n \left| \angle \left( \frac{X_{n,k}}{T_{n,k}} \right) - \angle \left( \frac{X_{n-1,k}}{T_{n-k,k}} \right) \right|$$

wobei X ein Frequenzbereichsvektor ist und T sich auf laufende Rahmendaten bezieht und die Summenbildung über alle aktiven Trägerfrequenzen n erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Suche fortgesetzt wird, um eine erste Abtastung eines Rahmens zu identifizieren, indem eine geschätzte Neigung einer Argument-Funktion eines Frequenzbereichsvektors X verwendet wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler erhöhend modifiziert wird, bis die Neigung nahe Null ist.

20. ADSL-Modem, dadurch gekennzeichnet, daß das Modem einen Empfänger wie in einem der Ansprüche 1 bis 9 beansprucht hat.

21. VDSL-Modem, dadurch gekennzeichnet, daß das Modem einen Empfänger wie in einem der

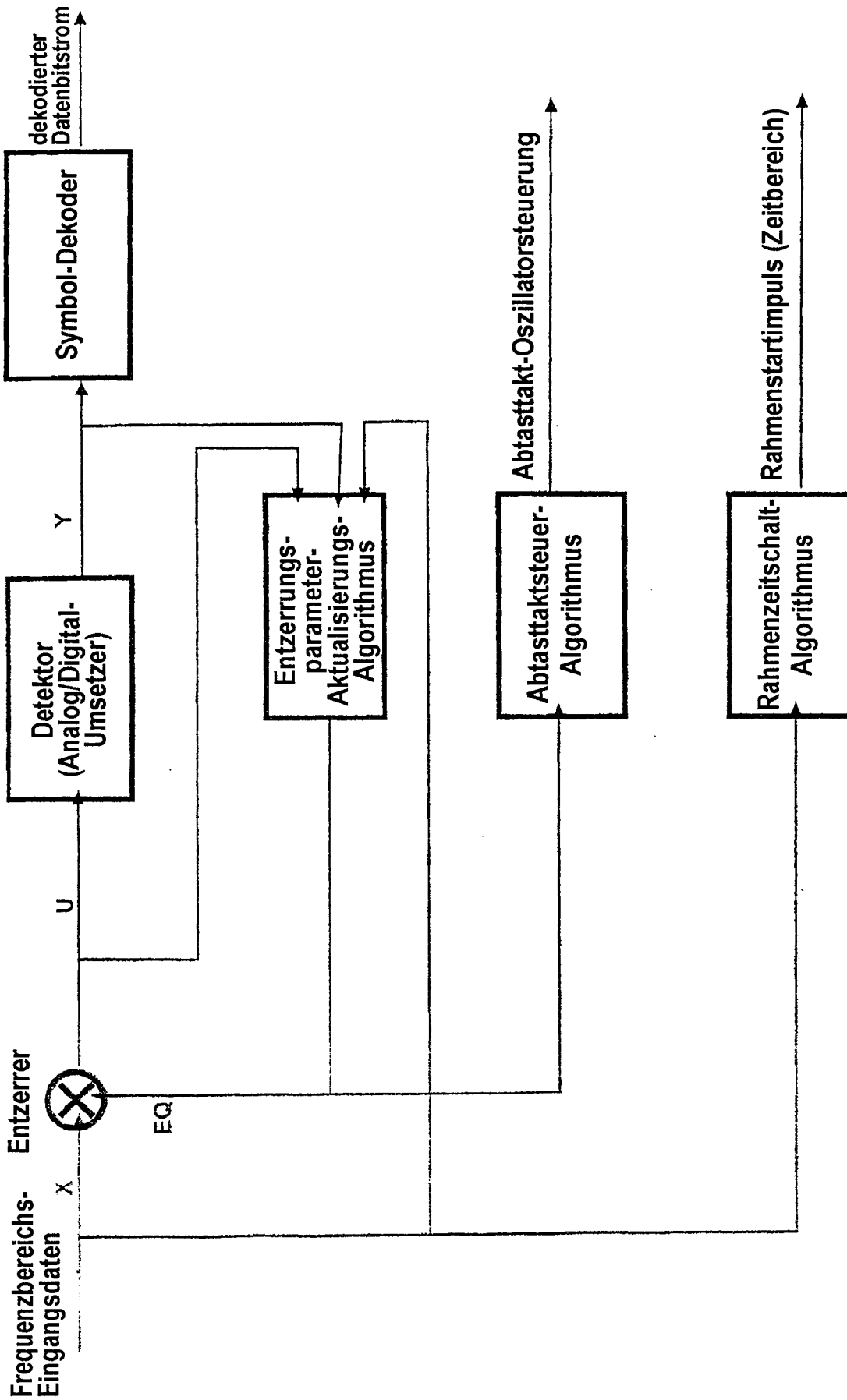
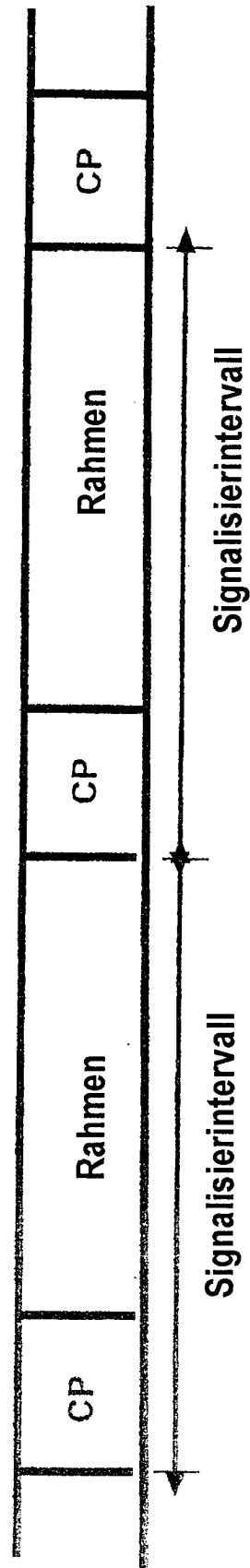


Fig. 1



CP = zyklisches Präfix

Fig. 2