



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 008 731.1**

(22) Anmeldetag: **17.01.2011**

(43) Offenlegungstag: **19.07.2012**

(51) Int Cl.: **H04J 11/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:
**Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 81671,
München, DE**

(74) Vertreter:
**Mitscherlich & Partner Patent- und
Rechtsanwälte, 80331, München, DE**

(72) Erfinder:
Weikert, Oomke, Dr., 81827, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| US | 7 660 371 | B2 |
| US | 2007 / 0 230 592 | A1 |
| US | 2007 / 0 280 098 | A1 |
| US | 2009 / 0 103 667 | A1 |
| US | 2009 / 0 190 510 | A1 |

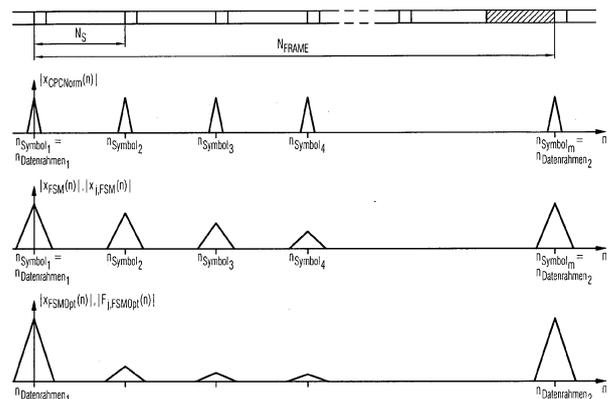
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung einer Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}$, $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$) jedes OFDM-Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom mit OFDM-Symbolen ermittelt erste Metrikwerte ($x_{\text{CPC}}(n)$, $x_{\text{CPCNorm}}(n)$) für jeden Abtastwert (n) des OFDM-Datenstroms mittels Addition einer Anzahl (N_{Corr}) von aufeinander folgenden Abtastwerten (n), die jeweils mit einem um die Anzahl (N_{FFT}) von Abtastwerten (n) für Nutzdaten in einem OFDM-Symbol versetzten Abtastwert (n) gewichtet werden. Daraufhin wird für jeden Abtastwert (n) des OFDM-Datenstroms ein zweiter Metrikwert ($x_{\text{FSM}}(n)$, $x_{\text{FSMOpt}}(n)$; $x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) mittels Addition von ersten Metrikwerten ($x_{\text{CPC}}(n + v(m))$, $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$), die für jeweils einen Abtastwert ($n + v(m)$) des OFDM-Datenstroms ermittelt werden und die jeweils um die Abstände ($v(m)$) zwischen den zu den einzelnen OFDM-Symbolen jeweils gehörigen ersten Abtastwerten zueinander versetzt sind, berechnet. Schließlich wird die Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}$, $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$) jedes OFDM-Datenrahmens als der zum Maximalwert der zweiten Metrikwerte ($x_{\text{FSM}}(n)$, $x_{\text{FSMOpt}}(n)$; $x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) gehörige Abtastzeitpunkt innerhalb eines OFDM-Datenrahmenintervalls ermittelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom.

[0002] Zur Synchronisierung zwischen Sender und Empfänger in einem Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing(OFDM)-Übertragungssystem wird vielfach die Startposition von Datenrahmen (frame) innerhalb des OFDM-Datenstroms herangezogen.

[0003] Aus der US 2009/0103667 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung der Startposition von OFDM-Symbolen und von OFDM-Datenrahmen bekannt. Die Detektion der Startposition eines OFDM-Datensymbols wird auf der Basis einer „zyklischen Guard-Intervalls-Korrelation„ (Cyclic-Prefix-Correlation (CPC)) durchgeführt, während darauf aufbauend die Detektion der Startposition eines OFDM-Datenrahmens mittels Leistungsmessung eines am Beginn eines OFDM-Datenrahmens befindlichen Null-Symbols erfolgt.

[0004] Beim Worldwide-Interoperability-for-Microwave-Access-Standard (WiMAX) IEEE 802.16 werden keine Null-Symbole am Beginn eines OFDM-Datenrahmens übertragen, so dass eine Detektion des Beginns von OFDM-Datenrahmen auf der Basis einer Leistungsmessung ausscheidet.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns von OFDM-Datenrahmen in einem OFDM-Datenstrom einer Datenübertragung nach dem WiMAX-Standard zu schaffen.

[0006] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Ermittlung des ersten Abtastwertes eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch eine Vorrichtung zur Ermittlung des ersten Abtastwertes eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom mit den Merkmalen des Patentanspruchs 12 gelöst. Vorteilhafte technische Erweiterungen sind in den abhängigen Patentansprüchen aufgeführt.

[0007] Erfindungsgemäß wird für jeden Abtastwert des OFDM-Datenstroms in einem ersten Schritt eine erste Metrik mittels „zyklischer Guard-Intervalls-Korrelation“ und in einem zweiten Schritt zweite Metrikwerte einer zweiten Metrik mittels Addition einer der Anzahl von innerhalb eines Datenrahmenintervalls übertragenen OFDM-Symbolen entsprechenden Anzahl von zeitlich versetzten ersten Metrikwerten ermittelt, deren Abstände jeweils den Abständen zwischen den ersten Abtastwerten der innerhalb des Datenrahmenintervalls übertragenen OFDM-Symbolen entspricht. In einem dritten Schritt wird schließlich der Maximalwert der zweiten Metrik innerhalb eines Datenrahmenintervalls als erster Abtastwert des OFDM-Datenrahmens detektiert.

[0008] Bei der Ermittlung der ersten Metrik mittels „zyklischer Guard-Intervalls-Korrelation“ wird ausgenutzt, dass die in einem Guard-Intervall übertragenen Daten identisch zu den Abtastwerten sind, die, um die Anzahl von für eine Nutzdatenübertragung in einem OFDM-Symbol vorgesehenen Abtastwerten beabstandet, am Ende eines OFDM-Symbols positioniert sind.

[0009] Hierzu werden in einer „zyklischen Guard-Intervalls Korrelation“ zyklisch eine bestimmte Anzahl von aufeinander folgenden Abtastwerten des OFDM-Datenstroms, die kleiner oder gleich der im Guard-Intervall enthaltenen Abtastwerte ist, mit einer identischen Anzahl von aufeinander folgenden Abtastwerten des OFDM-Datenstroms, die jeweils um die Anzahl von für Nutzdatenübertragung in einem OFDM-Symbol vorgesehenen Abtastwerten zeitlich versetzt sind, überlagert und hinsichtlich konstruktiver Überlagerung – bei Vorliegen von Abtastwerten des Guard-Intervalls – oder destruktiver Überlagerung – bei Vorliegen von Abtastwerten für Nutzdaten-Übertragung – überprüft.

[0010] Die zyklische Überlagerung erfolgt durch Gewichtung einer bestimmten Anzahl von jeweils aufeinander folgenden Abtastwerten des OFDM-Datenstroms mit einer identischen Anzahl von aufeinander folgenden Abtastwerten des OFDM-Datenstroms, die jeweils um die Anzahl von für eine Nutzdatenübertragung vorgesehenen Abtastwerten in einem OFDM-Symbol beabstandet sind, und anschließende Summation der gewichteten Abtastwerte.

[0011] Bei konstruktiver Überlagerung bildet sich ein Maximalwert – idealerweise ein dreiecksförmig sich zu-spitzender Maximalwert – der ersten Metrik bei einem Abtastwert aus, der am Beginn des Guärd-Intervalls innerhalb eines OFDM-Symbols positioniert ist.

[0012] Bei der Ermittlung der zweiten Metrik wird ausgenutzt, dass die einzelnen OFDM-Datenrahmen nach dem WiMAX-Standard sich direkt aneinander anschließen und jeweils ein identisches Datenrahmenintervall, bevorzugt von 5 Millisekunden, aufweisen, das aber kein Vielfaches einer OFDM-Symbollänge ist. Im OFDM-Datenstrom werden deshalb am Ende jedes OFDM-Datenrahmens anstelle von OFDM-Symbolen Null-Werte in den OFDM-Datenstrom eingefügt.

[0013] Für jeden einzelnen Abtastwert des OFDM-Datenstroms wird jeweils ein zweiter Metrikwert ermittelt, der sich aus der Summation von ersten Metrikwerten zu Abtastzeitpunkten ergibt, deren zeitliche Abstände den zeitlichen Abständen zwischen den ersten Abtastwerten der einzelnen OFDM-Symbole entsprechen. Die zu den einzelnen Abtastzeitpunkten somit jeweils ermittelten zweiten Metrikwerte ergeben eine zweite Metrik, die ebenfalls Maximalwerte im Abstand einer OFDM-Symbollänge aufweist, die aber im Unterschied zum Verlauf der ersten Metrik einen abfallenden Verlauf aufweisen.

[0014] Der abfallende Verlauf der Maximalwerte in der zweiten Metrik ergibt sich aus der Tatsache, dass einerseits durch die zeitliche Versetzung der einzelnen ersten Metrikwerte bei der Addition der einzelnen ersten Metrikwerte zur Bildung des zweiten Metrikwerts eine zunehmend geringer werdende Anzahl von Maximalwerten, die zu übertragenen OFDM-Symbolen im aktuell betrachteten OFDM-Datenrahmen des OFDM-Datenstroms gehören, zu berücksichtigen sind und andererseits die zu den ersten Abtastwerten der OFDM-Symbole in den nachfolgenden OFDM-Datenrahmen gehörigen Maximalwerte der einzelnen ersten Metrikwerte aufgrund der Belegung der Enden der einzelnen OFDM-Datenrahmen mit Null-Werten nicht mehr im Zeitraster von Vielfachen einer OFDM-Symbollänge liegen und somit keinen oder einen geringeren Beitrag im aktuell betrachteten OFDM-Datenrahmen bei der Addition der einzelnen ersten Metrikwerte zur Bildung des zweiten Metrikwerts leisten.

[0015] Auf diese Weise ergibt die Position des größten Maximalwerts im Verlauf der zweiten Metrik die Anfangsposition des aktuell betrachteten OFDM-Datenrahmens im OFDM-Datenstrom.

[0016] Werden für die Bestimmung der Anfangsposition des aktuell betrachteten OFDM-Datenrahmens nicht nur zweite Metrikwerte, welche mittels Addition von zeitlich versetzten ersten Metrikwerten von im aktuell betrachteten OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbolen ermittelt werden, sondern auch zweite Metrikwerte berücksichtigt, welche mittels Addition von zeitlich versetzten ersten Metrikwerten von in nachfolgenden OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbolen ermittelt werden, so sind die zu den Startpositionen der einzelnen OFDM-Datenrahmen jeweils gehörigen größten Maximalwerte gegenüber den wertemäßig kleineren Maximalwerten deutlich unterschiedlich und können somit leichter identifiziert werden.

[0017] Ist dem Empfänger nicht bekannt, an welchen Positionen in den einzelnen OFDM-Datenrahmen OFDM-Symbole übertragen werden und an welchen Positionen in den einzelnen OFDM-Datenrahmen keine OFDM-Symbole übertragen werden, so müssen alle mögliche Hypothesen für die Belegung der einzelnen Positionen der einzelnen OFDM-Datenrahmen aufgestellt werden und die einzelnen Hypothesen im Hinblick auf die Selektion derjenigen Hypothese miteinander verglichen werden, die der tatsächlichen Belegung der einzelnen Positionen in den einzelnen OFDM-Datenrahmen entspricht.

[0018] Hierzu wird für jede Hypothese eine zugehörige zweite Metrik aus zweiten Metrikwerten berechnet, die jeweils aus der Summe von zeitlich versetzten ersten Metrikwerten gebildet werden, wobei der Zeitversatz des jeweiligen zeitlich versetzten ersten Metrikwerts dem Zeitversatz zwischen dem jeweiligen gemäß der jeweiligen Hypothese im OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbol und dem im demselben OFDM-Datenrahmen an erster Position übertragenen OFDM-Symbol ermittelt wird.

[0019] Für jede Hypothese wird die Summe aus den beiden Differenzen zwischen dem größten Maximalwert der ermittelten zweiten Metrik und jeweils den beiden um eine OFDM-Symbollänge rechts- und linksseitig versetzten Maximalwerten der ermittelten zweiten Metrik innerhalb der einzelnen OFDM-Datenrahmenintervalle ermittelt. Diejenige Hypothese, für die der größte Summenwert ermittelt wird, stellt die korrekte Hypothese dar, die die tatsächliche Belegung der einzelnen Positionen innerhalb des jeweiligen OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen darstellt. Die Position des größten Maximalwerts innerhalb der zweiten Metrik der korrekten Hypothese ergibt die Startposition.

[0020] des jeweiligen OFDM-Datenrahmens innerhalb des OFDM-Datenstroms.

[0021] Für die Korrektheit dieses auf Hypothesen basierenden Verfahrens sind folgende Voraussetzungen erforderlich:

- ein OFDM-Unter-Datenrahmen ist entweder vollständig mit OFDM-Symbolen belegt oder enthält überhaupt keine OFDM-Symbole,
- jeder erste OFDM-Unter-Datenrahmen am Beginn des für die Datenübertragung von einer Basisstation zu einem Mobilfunkgerät vorgesehenen Datenübertragungsbereichs oder des für die Datenübertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation vorgesehenen Datenübertragungsbereichs eines OFDM-Datenrahmens ist mit OFDM-Symbolen belegt,
- jeweils nur zusammenhängende OFDM-Unter-Datenrahmen innerhalb des für die Datenübertragung von einer Basisstation zu einem Mobilfunkgerät vorgesehenen Datenübertragungsbereichs oder innerhalb des für die Datenübertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation vorgesehenen Datenübertragungsbereichs eines OFDM-Datenrahmens sind mit OFDM-Symbolen belegt.

[0022] Bevor oder nach Untersuchung der einzelnen Hypothesen wird in einem Vorschritt ermittelt, ob innerhalb eines Datenrahmenintervalls überhaupt OFDM-Symbole übertragen werden. Hierzu wird geprüft, ob eine hierzu berechnete erste Metrik innerhalb des Datenrahmenintervalls mindestens eine der Anzahl von OFDM-Symbolen je Unter-Datenrahmen entsprechende Anzahl von Maximalwerten aufweist, die über einem vorgeählten Schwellwert liegen und jeweils um ein OFDM-Symbol-Intervall zueinander beabstandet sind. Falls keine OFDM-Symbole im untersuchten Datenrahmenintervall identifiziert werden, wird auf das nachfolgende Datenrahmenintervall übergegangen.

[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom werden im Folgenden anhand der Zeichnung im Detail erläutert. Die Figuren der Zeichnung zeigen:

[0024] [Fig. 1A](#) eine Darstellung einer Datenstruktur eines aus einzelnen OFDM-Symbolen bestehenden OFDM-Datenstroms,

[0025] [Fig. 1B](#) eine Darstellung einer Datenstruktur eines OFDM-Datenrahmens,

[0026] [Fig. 2A](#) ein Zeitdiagramm eines OFDM-Datenstroms,

[0027] [Fig. 2B](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen ersten Metrik,

[0028] [Fig. 2C](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen zweiten Metrik bei Berücksichtigung von OFDM-Symbolen eines einzigen OFDM-Datenrahmens,

[0029] [Fig. 2D](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen zweiten Metrik bei Berücksichtigung von OFDM-Symbolen von mehreren OFDM-Datenrahmen,

[0030] [Fig. 2E](#) eine Darstellung einer Datenstruktur von mit OFDM-Symbolen belegten und unbelegten Positionen in einem OFDM-Datenstrom,

[0031] [Fig. 2F](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen ersten Metrik bei realen Übertragungsbedingungen,

[0032] [Fig. 2G](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen zweiten Metrik für eine erste Hypothese,

[0033] [Fig. 2H](#) ein Zeitdiagramm einer zugehörigen zweiten Metrik für eine zweite Hypothese,

[0034] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom und

[0035] [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom.

[0036] Im Folgenden werden die für das Verständnis der Erfindung erforderlichen mathematischen Grundlagen hergeleitet:

Im ersten Schritt werden erste Metrikwerte $x_{CPC}(n)$ einer ersten Metrik mittels „zyklischer Guard-Intervalls-Korrelation“ nach einem bisher verwendeten Verfahren ermittelt. Hierzu wird für jeden Abtastzeitpunkt n gemäß Gleichung (1) eine Folge von empfangenen Abtastwerten $r_{iARX}(n+i)$ des OFDM-Datenstroms mit einer Folge von empfangenen Abtastwerten $r_{iARX}(n+i-N_{FFT})$, die jeweils um die Anzahl N_{FFT} von für Nutzdatenübertragung in einem OFDM-Symbol vorgesehenen Abtastwerten versetzt übertragen werden, gewichtet und anschließend

miteinander addiert. Die Anzahl N_{Corr} von Abtastwerten $r_{iARx}(n+i)$ des OFDM-Datenstroms, die mit der identischen Anzahl N_{Corr} von zeitlich versetzten Abtastwerten $r_{iARx}(n+i-N_{\text{FFT}})$ des OFDM-Datenstroms gewichtet werden, ist kleiner oder gleich der Anzahl N_{CP} von Abtastwerten in einem Guard-Intervall. Da es sich bei dem OFDM-Übertragungssystem um ein Mehrantennen-Übertragungssystem (Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)) handelt, gehen in die Berechnung der ersten Metrikwerte $x_{\text{CPC}}(n)$, wie aus Gleichung (1) hervorgeht, bei einer Anzahl N_{R} von Empfangsantennen insgesamt N_{R} Folgen von Abtastwerten $r_{iARx}(n+i)$ des OFDM-Datenstroms, die mit insgesamt N_{R} Folgen von zeitlich versetzten Abtastwerten $r_{iARx}(n+i)$ des OFDM-Datenstroms gewichtet werden, ein.

$$x_{\text{CPC}}(n) = \frac{1}{N_{\text{R}} \cdot N_{\text{Corr}}} \cdot \sum_{iARx=1}^{N_{\text{R}}} \sum_{i=N_{\text{FFT}}}^{N_{\text{FFT}}+N_{\text{Corr}}-1} r_{iARx}(n+i) \cdot r_{iARx}^*(n+i-N_{\text{FFT}}) \quad (1)$$

[0037] Bei einer Anzahl $N_{\text{EmpfangAbtastwerte}}$ von empfangenen Abtastwerten des OFDM-Datenstroms wird für jeden Abtastzeitpunkt $n = 1, \dots, N_{\text{EmpfangAbtastwerte}} - N_{\text{FFT}} - N_{\text{Corr}} + 1$ ein erster Metrikwert $x_{\text{CPC}}(n)$ berechnet.

[0038] Um das erfindungsgemäße Verfahren auf einer Rechereinheit mit begrenzter Rechengenauigkeit, beispielsweise einem Signalprozessor, zu implementieren, ist aufgrund sehr unterschiedlicher Signalpegel der empfangenen Abtastwerte $r_{iARx}(n+i)$ des OFDM-Datenstroms eine Normierung durchzuführen. Hierzu wird ein normierter erster Metrikwert $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ gemäß Gleichung (2) bestimmt, der aus einem nicht normierten ersten Metrikwert $x_{\text{CPC}}(n)$ durch Betragsbildung und anschließende Division durch die quadrierte Leistung $P(n)^2$ im betrachteten Intervall hervorgeht.

$$x_{\text{CPCNorm}}(n) = \frac{|x_{\text{CPC}}(n)|^2}{P(n)^2} = \frac{|x_{\text{CPC}}(n)|^2}{\left[\frac{1}{N_{\text{R}} \cdot N_{\text{Corr}}} \cdot \sum_{iARx=1}^{N_{\text{R}}} \sum_{i=N_{\text{FFT}}}^{N_{\text{FFT}}+N_{\text{Corr}}-1} |r_{iARx}(n+i)|^2 + |r_{iARx}(n+i-N_{\text{FFT}})|^2 \right]^2} \quad (2)$$

[0039] Bei einer Anzahl $N_{\text{EmpfangAbtastwerte}}$ von empfangenen Abtastwerten des OFDM-Datenstroms wird für jeden Abtastzeitpunkt $n = 1, \dots, N_{\text{EmpfangAbtastwerte}} - N_{\text{FFT}} - N_{\text{Corr}} + 1$ ein normierter erster Metrikwert $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ berechnet.

[0040] Für die Berechnung eines zweiten Metrikwerts $x_{\text{FSM}}(n)$ der zweiten Metrik zum Abtastzeitpunkt n wird für jedes in einem OFDM-Datenrahmen jeweils übertragene OFDM-Symbol jeweils ein zeitlich versetzter normierter erster Metrikwert $x_{\text{CPCNorm}}(n+v(m))$ ermittelt, wobei sich der Zeitversatz $v(m)$ des m -ten in der Folge von OFDM-Symbolen innerhalb des OFDM-Datenrahmens übertragene OFDM-Symbols aus dem Abstand des ersten Abtastwertes des m -ten übertragene OFDM-Symbols zum ersten Abtastwert des ersten übertragene OFDM-Symbols ergibt. Für den Zeitversatz $v(1)$ des ersten in einem OFDM-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbols kann prinzipiell jeder beliebige Wert verwendet werden, da in der Folge von empfangene OFDM-Symbolen der Beginn eines Datenrahmens erst identifiziert werden muss, während einzig eine Belegungsfolge von mehreren aufeinander folgenden OFDM-Symbolen in der Folge von empfangene Abtastwerten identifizierbar ist. Bevorzugt wird als Wert für den Zeitversatz $v(1)$ des ersten in einem OFDM-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbols Null verwendet. Bei einer Anzahl $N_{\text{BelegteSymbole}}$ von in einem OFDM-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbolen ergibt sich der zweite Metrikwert $x_{\text{FSM}}(n)$ der zweiten Metrik zum Abtastzeitpunkt n bei Kenntnis der relativen Positionen der ersten Abtastwerte der einzelnen im OFDM-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbole aus der Addition der insgesamt $N_{\text{BelegteSymbole}}$ zu jeweils einem übertragene OFDM-Symbol gehörigen und zeitversetzten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n+v(m))$ gemäß Gleichung (3).

$$x_{\text{FSM}}(n) = \sum_{m=1}^{N_{\text{BelegteSymbole}}} x_{\text{CPCNorm}}(n+v(m)) \quad (3)$$

[0041] Bei einer Anzahl $N_{\text{EmpfangAbtastwerte}}$ von empfangene Abtastwerten des OFDM-Datenstroms und einer Anzahl $N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}}$ von Abtastwerten pro OFDM-Datenrahmen wird für jeden Abtastzeitpunkt $n = 1, \dots, N_{\text{EmpfangAbtastwerte}} - N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}}$ ein zweiter Metrikwert $x_{\text{FSM}}(n)$ der zweiten Metrik berechnet.

[0042] Durch die zeitliche Versetzung der einzelnen normierten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n+v(m))$, die mit zunehmender Position m des im OFDM-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbols jeweils eine um den

Faktor Eins geringere Anzahl von Maximas im Abstand einer OFDM-Symbollänge N_S ab der Startposition des OFDM-Datenrahmens aufweisen, um jeweils eine OFDM-Symbollänge N_S und anschließende Addition ergibt sich im Verlauf der aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik eine Folge von Maxima mit abnehmenden Maximalwerten in jedem OFDM-Datenrahmen. Der größte Maximalwert dieser Folge von Maxima ist an der Startposition des jeweiligen OFDM-Datenrahmens positioniert.

[0043] Um die Maxima mit geringeren Maximalwerten gegenüber dem Maximum mit dem größten Maximalwert noch besser zu dämpfen, wird die aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ zusammengesetzte zweite Metrik noch optimiert. Hierzu werden zeitlich versetzte erste Metrikwerte, die zu OFDM-Symbolen in nachfolgenden OFDM-Datenrahmen gehören, bei der Berechnung einer aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{FSMOpt}(n)$ zusammengesetzten optimierten zweiten Metrik mit berücksichtigt. Da die OFDM-Symbole in nachfolgenden OFDM-Datenrahmen nicht im Zeitraster von Vielfachen einer OFDM-Symbollänge der OFDM-Symbole des ersten OFDM-Datenrahmens auftreten, tragen die zu den in nachfolgenden OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbole gehörigen ersten Metrikwerte $x_{CPCNorm}(n + v(m))$ bei einer Summation über alle zeitlich versetzten ersten Metrikwerte keinen konstruktiven Beitrag zu den zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ der zweiten Metrik bei. Vielmehr sind diejenigen zeitlich versetzten ersten Metrikwerte $x_{CPCNorm}(n + v(m))$, die zu jeweils einem der nachfolgenden OFDM-Datenrahmen gehören, zu einer zum jeweiligen OFDM-Datenrahmen gehörigen und aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n + i \cdot N_{Abtastwerte/Datenrahmen})$ zusammengesetzten zweiten Metrik zu addieren und anschließend die aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{FSMOpt}(n)$ zusammengesetzte optimierte zweite Metrik aus der Addition der für alle insgesamt $N_{Datenrahmen}$ in einem OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Datenrahmen jeweils ermittelten zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n + i \cdot N_{Abtastwerte/Datenrahmen})$ gemäß Gleichung (4) zu berechnen.

$$x_{FSMOpt}(n) = \sum_{i=0}^{N_{Datenrahmen}-1} x_{FSM}(n + i \cdot N_{Abtastwerte/Datenrahmen}) \quad (4)$$

[0044] Die Startposition $n_{Datenrahmen}$ des ersten zu identifizierenden OFDM-Datenrahmens ergibt sich gemäß Gleichung (5) als der Abtastzeitpunkt des Maximalwerts der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{FSMOpt}(n)$.

$$\hat{n}_{Datenrahmen} = \underset{n}{Max}\{x_{FSMOpt}(n)\} \quad (5)$$

[0045] Für den Fall, dass die Belegung des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen vorab nicht bekannt ist, müssen vorab alle Hypothesen für die Belegung des OFDM-Datenrahmens aufgestellt werden. Für jede einzelne Hypothese j ist gemäß Gleichung (6) eine zugehörige aus zweiten Metrikwerten $x_{j,FSM}(n)$ zusammengesetzte zweite Metrik bzw. gemäß Gleichung (7) eine aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{j,FSMOpt}(n)$ zusammengesetzte optimierte zweite Metrik mit den zur jeweiligen Hypothese j gehörigen Zeitversätzen $v_j(2), v_j(3), \dots, v_j(m), \dots, v_j(N_{BelegteSymbole})$ des 2-ten bis $N_{BelegteSymbole}$ -ten in einem OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbolen relativ zur Position des ersten in einem OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbols zu ermitteln.

$$x_{j,FSM}(n) = \sum_{m=1}^{N_{BelegteSymbole}} x_{CPCNorm}(n + v_j(m)) \quad (6)$$

$$x_{j,FSMOpt}(n) = \sum_{i=0}^{N_{Datenrahmen}-1} x_{j,FSM}(n + i \cdot N_{Abtastwerte/Datenrahmen}) \quad (7)$$

[0046] Da jede zu einer Hypothese j jeweils gehörige aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{j,FSMOpt}(n)$ zusammengesetzte zweite Metrik einen Maximalwert aufweist, kann für jede Hypothese j eine zugehörige Startposition $n_{j,Datenrahmen}$ für einen OFDM-Datenrahmen gemäß Gleichung (8) als der Abtastzeitpunkt des Maximalwerts der für die jeweilige Hypothese j ermittelten optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,FSMOpt}(n)$ bestimmt werden.

$$\hat{n}_{j,Datenrahmen} = \underset{n}{Max}\{x_{j,FSMOpt}(n)\} \quad (8)$$

[0047] Diejenige Hypothese j für die Belegung eines OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen entspricht der tatsächlichen Belegung des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen, deren optimierter zweiter Metrik-

wert $x_{j,FSMOpt}(n)$ einen größten Maximalwert $x_{j,FSMOpt}(n_{j,Datenrahmen})$ aufweist, der im Vergleich zu den benachbarten Maximalwerten sich am deutlichsten abhebt. Somit wird für die Ermittlung der korrekten Hypothese $j_{korrekt}$ für jede Hypothese j jeweils die Differenz zwischen dem jeweiligen größten Maximalwert $x_{j,FSMOpt}(n_{j,Datenrahmen})$ und dem jeweiligen um eine OFDM-Symbollänge von N_S Antastwerten linksseitig versetzten Maximalwert $x_{j,FSMOpt}(n_{j,Datenrahmen} - N_S)$ zur Differenz zwischen dem jeweiligen größten Maximalwert $x_{j,FSMOpt}(n_{j,Datenrahmen})$ und dem jeweiligen um eine OFDM-Symbollänge von N_S Abtastwerten rechtsseitig versetzten Maximalwert $x_{j,FSMOpt}(n_{j,Datenrahmen} + N_S)$ summiert und die korrekte Hypothese $j_{korrekt}$ gemäß Gleichung (9) als die zur größten Summe gehörige Hypothese j identifiziert.

$$j_{korrekt} = \underset{j}{\text{Max}} \left\{ \begin{array}{l} \left| x_{j,FSM}(\hat{n}_{j,Datenrahmen}) - x_{j,FSM}(\hat{n}_{j,Datenrahmen} - N_S) \right| + \\ \left| x_{j,FSM}(\hat{n}_{j,Datenrahmen}) - x_{j,FSM}(\hat{n}_{j,Datenrahmen} + N_S) \right| \end{array} \right\} \quad (9)$$

[0048] Die Startposition $n_{Datenrahmen}$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens ergibt sich gemäß Gleichung (10) als der Abtastzeitpunkt des Maximalwerts der zur korrekten Hypothese $j_{korrekt}$ gehörigen optimierten zweiten Metrikwerte

$$x_{j_{korrekt},FSMOpt}(n)$$

$$\hat{n}_{Datenrahmen} = \underset{n}{\text{Max}} \{ x_{j_{korrekt},FSMOpt}(n) \} \quad (10)$$

[0049] Im ungestörten Betrieb des OFDM-Übertragungssystems sowie bei Zeitinvarianz des OFDM-Übertragungskanals ist nur einmalig die Startposition $n_{Datenrahmen}$ eines einzigen OFDM-Datenrahmens gemäß Gleichung (10) zu ermitteln. Die Startpositionen $n_{Datenrahmen}(i)$ der nachfolgenden insgesamt $n_{Datenrahmen}$ in einem OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Datenrahmen i ergeben sich aufgrund der festen OFDM-Datenrahmen-Länge, bevorzugt von 5 Millisekunden, und der sich direkt ohne Lücke aneinander schließenden OFDM-Datenrahmen gemäß Gleichung (11). Natürlich sind von der Erfindung auch andere Datenrahmen-Längen außer 5 Millisekunden, die in zukünftigen Standards eingeführt werden, abgedeckt.

$$n_{Datenrahmen}(i) = n_{Datenrahmen} + (i - 1) \cdot N_{Abtastwerte/Datenrahmen} \quad (11)$$

[0050] Hat der Übertragungskanal keine oder nur geringe Verunreinigungen, so ist ein Hypothesen-Test nicht erforderlich. In diesem Fall ist es ausreichend, die Startpositionen der einzelnen OFDM-Symbole im Vektor v (m) zu sammeln und die Ermittlung der aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik, wie obig ausgeführt ist, durchzuführen.

[0051] Ist die OFDM-Übertragung dagegen öfters gestört, beispielsweise unterbrochen, oder liegt ein zeitvarianter OFDM-Übertragungskanal vor, so sind die für die Berechnung der Startpositionen $n_{Datenrahmen}(i)$ der nachfolgenden OFDM-Datenrahmen i erforderlichen Voraussetzungen einer fixen Datenrahmenlänge, bevorzugt von 5 Millisekunden, und eines lückenlosen Übertragens aufeinander folgender OFDM-Datenrahmen möglicherweise nicht gegeben. In diesem Fall kann für jeden nachfolgenden OFDM-Datenrahmen innerhalb des OFDM-Datenstroms eine individuelle Identifikation der zugehörigen Startposition $n_{Datenrahmen}(i)$ in Anlehnung an Gleichung (10) von Vorteil sein.

[0052] Ist dem Empfänger die Belegung des jeweiligen OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen nicht bekannt, so sind auch in diesem Fall alle möglichen Hypothesen j_i für die Belegung des jeweiligen OFDM-Datenrahmens i mit OFDM-Symbolen zu untersuchen und die korrekte Hypothese $J_{korrekt,i}$ für die Belegung des jeweiligen OFDM-Datenrahmens i mit OFDM-Symbolen in Anlehnung an Gleichung (9) zu identifizieren. Typischerweise ist die Belegung aller OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen identisch, so dass für die nachfolgenden OFDM-Datenrahmen die beim ersten OFDM-Datenrahmen mittels Hypothesenvergleich ermittelte Belegungsstruktur des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen übernommen werden kann und sich somit die Ermittlung der Startpositionen $n_{Datenrahmen}(i)$ für die nachfolgenden OFDM-Datenrahmen i deutlich vereinfacht. Aber auch der Fall einer unterschiedlichen Belegung des jeweiligen nachfolgenden OFDM-Datenrahmens i mit OFDM-Symbolen ist von der Erfindung mit abgedeckt. In diesem Fall ist für jeden nachfolgenden OFDM-Datenrahmen i ein Hypothesenvergleich durchzuführen.

[0053] Ist die Startposition $n_{\text{Datenrahmen}}$ für jeden OFDM-Datenrahmen ermittelt, so kann gemäß Gleichung (12A) die Startposition $n_{\text{Symbol}}(i, l)$ des l -ten OFDM-Symbol im i -ten OFDM-Datenrahmen für den Betriebsfall eines Frequenzduplex (Frequency-Division-Duplex (FDD)), in dem im jeweiligen Datenrahmen entweder ein für die Übertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation bestimmter Datenbereich (Uplink-Datenbereich) oder ein für die Übertragung von der Basisstation zum Mobilfunkgerät bestimmter Datenbereich (Downlink-Datenbereich) vorgesehen ist, ermittelt werden.

[0054] Für den Betriebsfall eines Zeitduplex (Time-Division-Duplex (TDD)), in dem im jeweiligen Datenrahmen am Datenrahmenbeginn ein für die Übertragung von der Basisstation zum Mobilfunkgerät bestimmter Datenbereich und gefolgt von einer Lücke ein für die Übertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation bestimmter Datenbereich vorgesehen ist, ergibt sich die Startposition $n_{\text{Symbol}}(i, l)$ des l -ten OFDM-Symbols im für die Übertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation bestimmten Datenbereich des i -ten OFDM-Datenrahmens ebenfalls gemäß Gleichung (12A) und die Startposition $n_{\text{Symbol}}(i, l)$ des l -ten OFDM-Symbol im für die Übertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation bestimmter Datenbereich des i -ten OFDM-Datenrahmens gemäß Gleichung (12B).

$$n_{\text{Symbol}}(i, l) = n_{\text{Datenrahmen}}(i) + (l - 1) \cdot N_S \quad (12A)$$

$$n_{\text{Symbol}}(i, l) = n_{\text{Datenrahmen}}(i) + N_{\text{Symbole/Datenbereich1}} N_S + N_{\text{Lücke}} + (l - 1) \cdot N_S \quad (12B)$$

[0055] Die Startpositionen $n_{\text{Symbol}}(i, l)$ bzw. $n_{\text{Symbol}}(i, l)$ der einzelnen OFDM-Symbole in einem OFDM-Datenrahmen gemäß Gleichung (12A) bzw. (12B) können für die Ermittlung eines groben Schätzwertes $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf herangezogen werden. Hierzu wird angenommen, dass der Abtastzeitwert $r(n)$ des empfangenen OFDM-Signals zum Abtastzeitpunkt n gemäß Gleichung (13) um den Restträgerfrequenz-Offset Δf gegenüber dem Abtastzeitwert $s(n)$ des zugehörigen gesendeten OFDM-Signals zum Abtastzeitpunkt n verfälscht ist.

$$r(n) = s(n) \cdot e^{j2\pi \Delta f n} \quad (13)$$

[0056] Ausgehend von Gleichung (1) ergibt sich der nicht normierte erste Metrikwert $x_{\text{CPC}}(n)$ der nicht normierten ersten Metrik zum Abtastzeitpunkt n für ein um den Restträgerfrequenz-Offset Δf gegenüber dem gesendeten OFDM-Signal verfälschtes empfangenes OFDM-Signal gemäß Gleichung (14).

$$x_{\text{CPC}}(n) = \frac{1}{N_{\text{Corr}}} \cdot \sum_{i=N_{\text{FFT}}}^{N_{\text{FFT}}+N_{\text{Corr}}-1} s(n+i) \cdot s^*(n+i-N_{\text{FFT}}) \cdot e^{j2\pi \Delta f \cdot N_{\text{FFT}}} \quad (14)$$

[0057] Da der Abtastwert $s(n_{\text{Symbol}} + i)$ des gesendeten OFDM-Signals innerhalb eines Guard-Intervalls dem um die Anzahl N_{FFT} von für Nutzdatenübertragung vorgesehenen Abtastwerten zeitlich versetzten Abtastwert $s(n_{\text{Symbol}} + i - N_{\text{FFT}})$ des gesendeten OFDM-Signals entspricht, ergibt sich die aus nicht normierten ersten Metrikwerten zusammengesetzte nicht normierte erste Metrik beim Startzeitpunkt n_{Symbol} eines OFDM-Symbols gemäß Gleichung (15).

$$x_{\text{CPC}}(n_{\text{Symbol}}) = \frac{1}{N_{\text{Corr}}} \cdot \sum_{i=N_{\text{FFT}}}^{N_{\text{FFT}}+N_{\text{Corr}}-1} |s(n_{\text{Symbol}} + i)|^2 \cdot e^{j2\pi \Delta f \cdot N_{\text{FFT}}} \quad (15)$$

[0058] Der grobe Schätzwert Δf für den Restträgerfrequenz-Offset Δf ergibt sich folglich ausgehend von Gleichung (15) gemäß Gleichung (16)

$$\Delta \hat{f} = \frac{1}{2\pi \cdot N_{\text{FFT}}} \cdot \arg \{ x_{\text{CPC}}(n_{\text{Symbol}}) \} \quad (16)$$

[0059] Der grobe Schätzwert $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf ist eine normierte Größe, die gemäß Gleichung (17) durch Normierung der zugehörigen nicht normierten Größe $\Delta \hat{f}$ [Hz] mit der Abtastfrequenz f_s berechnet wird.

$$\Delta \hat{f} = \frac{\Delta \hat{f} [\text{Hz}]}{f_s} \quad (17)$$

[0060] Der nicht normierte grobe Schätzwert $\Delta \hat{f}$ [Hz] für den Restträgerfrequenz-Offset Δf kann gemäß Gleichung (18) als Vielfaches $\Delta \hat{f}'$ der Bandbreite

$$\frac{f_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers beschrieben werden.

$$\Delta \hat{f} [\text{Hz}] = \Delta \hat{f}' \cdot \frac{f_s}{N_{FFT}} \quad (18)$$

[0061] Somit ergibt sich zwischen dem normierten groben Schätzwert $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf und dem Vielfachen $\Delta \hat{f}'$ des normierten groben Schätzwerts $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf von der Bandbreite

$$\frac{f_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers ausgehend von Gleichung (17) und (18) ein mathematischer Zusammenhang gemäß Gleichung (19).

$$\Delta \hat{f} = \frac{\Delta \hat{f}'}{N_{FFT}} \quad (19)$$

[0062] Der normierte grobe Schätzwert $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf als Vielfaches $\Delta \hat{f}'$ der

[0063] Bandbreite

$$\frac{f_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers ergibt sich folglich gemäß Gleichung (20).

$$\Delta \hat{f}' = \frac{1}{2\pi} \cdot \arg \{x_{CPC}(n_{Symbol})\} \quad (20)$$

[0064] Da Gleichung (20) äquivalent für die zur Startposition aller in einem OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Symbole jeweils gehörigen aus nicht normierten ersten Metrikwerten $x_{CPC}(n_{Symbol} + v(m))$ zusammengesetzten normierten ersten Metrik gilt, kann eine Verbesserung des normierten groben Schätzwerts $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf als Vielfaches $\Delta \hat{f}'$ der Bandbreite

$$\frac{f_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers gemäß Gleichung (21) erzielt werden, indem über die nicht normierten ersten Metrikwerte $x_{CPC}(n_{Symbol} + v(m))$ aller insgesamt $N_{Symbole/Datenstrom}$ im OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Sym-

bole gemittelt wird. Hierbei wird der Zeitversatz $v_i(m)$ des m -ten im i -ten OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbols in Relation zum ersten übertragenen OFDM-Symbol benutzt.

$$\Delta \hat{f}' = \frac{1}{2\pi} \cdot \arg \left\{ \frac{1}{N_{\text{Symbole/Datenstrom}}} \cdot \sum_{i=0}^{N_{\text{Datenrahmen}}} \sum_{m=1}^{N_{\text{Symbole/Datenrahmen}}} x_{\text{CPC}}(\hat{n}_{\text{Datenrahmen}} + v_i(m) + i \cdot N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}}) \right\} \quad (21)$$

[0065] Im Folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom anhand des Flussdiagramms in [Fig. 3](#) und die dazugehörige erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung des Beginns eines Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom anhand des Blockdiagramms in [Fig. 4](#) im Detail erläutert: Im ersten Verfahrensschritt S10 wird in einer Einheit 1 zur Ermittlung einer ersten Metrik ein normierter erster Metrikwert $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ für jeden Abtastzeitpunkt n des OFDM-Datenstroms mittels „zyklischer Guard-Intervalls-Korrelation“ gemäß Gleichung (2) aus den einzelnen OFDM-Symbolen des empfangenen OFDM-Signals ermittelt. Die einzelnen OFDM-Symbole können dabei von einer einzigen Empfangsantenne eines Ein-Antennen-Systems oder von mehreren Empfangsantennen eines Mehrantennen-Systems empfangen werden. Hierzu werden für jeden Abtastzeitpunkt n des OFDM-Datenstroms eine Anzahl N_{Corr} von aufeinander folgenden Abtastwerten des empfangenen OFDM-Signals, die jeweils mit einem um die Anzahl N_{FFT} von Abtastwerten für Nutzdaten in einem OFDM-Symbol versetzten Abtastwert des OFDM-Datenstroms gewichtet werden, miteinander addiert. Die Anzahl N_{Corr} von aufeinander folgenden Abtastwerten des empfangenen OFDM-Signals zur Gewichtung und anschließenden Addition ist kleiner oder gleich der Anzahl NDP von Abtastwerten im Guard-Intervall eines OFDM-Symbols.

[0066] Auf diese Weise ergibt sich gemäß [Fig. 23](#) ein zeitlicher Verlauf für den Betrag $|x_{\text{CPCNorm}}(n)|$ der aus normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ zusammengesetzten normierten ersten Metrik, der an den Startpositionen n_{Symboli} (mit $1 = 1, 2, \dots$) der einzelnen OFDM-Symbole jeweils einen Maximalwert – bei Vernachlässigung von Störungsanteilen im empfangenen OFDM-Signal idealerweise einen dreiecksförmig oder spitz zu laufenden Maximalwert – aufweist. Diese Maxima resultieren aus der Tatsache, dass für die Berechnung der aus normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ zusammengesetzten normierten ersten Metrik an den einzelnen Startpositionen n_{Symboli} der einzelnen OFDM-Symbole eine Folge von Abtastwerten innerhalb des Guard-Intervalls eines empfangenen OFDM-Symbols mit einer Folge von identischen Abtastwerten am Ende desselben empfangenen OFDM-Symbols gewichtet werden (siehe gekreuzt schraffierte Bereiche im OFDM-Datenstrom in [Fig. 1A](#)) und somit eine maximal mögliche konstruktive Überlagerung der beiden Abtastwert-Folgen vorliegt.

[0067] Im nächsten Verfahrensschritt S20 wird für den Fall, dass dem Empfänger die Belegung der einzelnen OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen nicht bekannt ist, in einem Vorschrift ermittelt, ob im aktuell zu betrachtenden Datenrahmenintervall überhaupt OFDM-Symbole übertragen werden oder ein OFDM-Datenrahmen ohne OFDM-Symbole – d. h. ein nicht-aktivierter OFDM-Datenrahmen – vorliegt. Hierzu wird die aus normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ zusammengesetzte normierte erste Metrik herangezogen und anhand eines geeignet gewählten Schwellwerts die Anzahl von Maximalwerten der normierten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ ermittelt, die größer als der Schwellwert ist. Ist die Anzahl der identifizierten Maximalwerte der aus normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ zusammengesetzten normierten ersten Metrik, die größer als der Schwellwert sind, größer als eine fest gesetzte Anzahl N_{Min} , so liegt ein mit OFDM-Symbolen belegter OFDM-Datenrahmen – d. h. ein aktivierter OFDM-Datenrahmen – vor und mit der Bestimmung der Startposition dieses OFDM-Datenrahmens kann fortgesetzt werden. Andernfalls ist der OFDM-Datenstrom im nächst folgenden Datenrahmenintervall auf vorhandene OFDM-Symbole zu untersuchen. Als typischer Wert für die Vergleichszahl N_{Min} kann nach dem WiMAX-Standard die minimale Anzahl von OFDM-Symbolen in einem einzigen OFDM-Unter-Datenrahmen, nämlich fünf, gewählt werden.

[0068] Die Überprüfung, ob im aktuell zu betrachtenden Datenrahmenintervall überhaupt OFDM-Symbole übertragen werden, kann auch vor Durchführung des Hypothesen-Tests erfolgen.

[0069] Liegt ein aktivierter OFDM-Datenrahmen vor, wird daraufhin in einer Einheit 2 zur Bildung von Hypothesen für den ersten zu identifizierenden OFDM-Datenrahmen im Fall einer identischen Belegungsstruktur aller OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen oder für alle zu identifizierenden OFDM-Datenrahmen im Fall einer unterschiedlichen Belegungsstruktur aller OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen jeweils jede mögliche Hypothese einer Belegung des jeweiligen OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen ermittelt.

[0070] Die Vielzahl möglicher Hypothesen reduziert sich, wenn folgende Voraussetzungen bei der Belegung eines OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen erfüllt sind:

- ein OFDM-Unter-Datenrahmen eines OFDM-Datenrahmens ist entweder vollständig mit OFDM-Symbolen belegt oder enthält überhaupt keine OFDM-Symbole,
- die Übertragung eines vollständig mit OFDM-Symbolen belegten OFDM-Unter-Datenrahmens in einem OFDM-Datenrahmen beginnt gemäß **Fig. 2** an der Startposition des für die Übertragung von der Basisstation zum Mobilfunkgerät vorgesehenen Datenbereichs (Downlink-Datenbereich, beginnend an der Startposition des jeweiligen OFDM-Datenrahmens) oder an der Startposition des für die Übertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation vorgesehenen Datenbereichs (Uplink-Datenbereich, beginnend an einer von der Startposition des jeweiligen OFDM-Datenrahmens durch den Downlink-Datenbereich und einer Lücke mit Null-Werten versetzten Position innerhalb des OFDM-Datenbereichs) und
- die einzelnen jeweils vollständig mit OFDM-Symbolen belegten OFDM-Unter-Datenrahmen werden im Downlink- und/oder Uplink-Datenbereich des jeweiligen OFDM-Datenrahmens zusammenhängend übertragen.

[0071] Somit ergeben sich für den Betriebsfall eines Frequenzduplex (Frequency-Division-Duplex (FDD)), bei dem alle acht Unter-Datenrahmen eines OFDM-Datenrahmens entweder dem Downlink-Datenbereich oder dem Uplink-Datenbereich zugeordnet sind, insgesamt acht Hypothesen für die Belegung eines OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen (1. Hypothese: nur erster OFDM-Unter-Datenrahmen des Downlink- oder Uplink-Datenbereichs belegt; 2. Hypothese: nur erster und zweiter OFDM-Unter-Datenrahmen des Downlink- oder Uplink-Datenbereichs belegt;... ; 8. Hypothese: alle acht Unter-Datenrahmen des Downlink- oder Uplink-Datenbereichs belegt).

[0072] Für den Betriebsfall eines Zeitduplex (Time-Division-Duplex (TDD)) werden in einer ersten Variante jeweils vier OFDM-Unter-Datenrahmen eines OFDM-Datenrahmens dem Downlink-Datenbereich und jeweils vier OFDM-Unter-Datenrahmen eines OFDM-Datenrahmens dem Uplink-Datenbereich zugeordnet. Für den Fall, dass nur der Downlink-Datenbereich oder nur der Uplink-Datenbereich belegt ist, ergeben sich jeweils vier Hypothesen. Für den Fall, dass der Downlink-Datenbereich und gleichzeitig der Uplink-Datenbereich belegt sind, ergeben sich insgesamt 16 Hypothesen. In einer zweiten Variante des Betriebsfalls eines Zeitduplex sind sechs OFDM-Unter-Datenrahmen dem Downlink-Datenbereich und zwei OFDM-Unter-Datenbereiche dem Uplink-Datenbereich zugeordnet. Für den Fall, dass nur der Downlink-Datenbereich belegt ist, ergeben sich insgesamt sechs Hypothesen. Für den Fall, dass nur der Uplink-Datenbereich belegt ist, ergeben sich insgesamt zwei Hypothesen. Für den Fall, dass der Downlink-Datenbereich und gleichzeitig der Uplink-Datenbereich belegt sind, ergeben sich insgesamt zwölf Hypothesen.

[0073] In demselben Verfahrensschritt S20 wird durch eine Einheit **3** zur Ermittlung einer zweiten Metrik bei Kenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger für jeden Abtastzeitpunkt n jeweils ein zweiter Metrikwert $x_{FSM}(n)$ einer zweiten Metrik gemäß Gleichung (3) und bei Unkenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger für jede ermittelte Hypothese j und für jeden Abtastzeitpunkt n jeweils ein zweiter Metrikwert $x_{j,FSM}(n)$ einer zweiten Metrik gemäß Gleichung (6) ermittelt. Hierzu wird für jede mit einem OFDM-Symbol belegte Position innerhalb eines OFDM-Datenrahmens ein Zeitversatz $v(m)$ zwischen dem m -ten innerhalb eines OFDM-Datenrahmens übertragenen OFDM-Symbol und dem ersten innerhalb eines OFDM-Datenrahmens übertragenen OFDM-Symbol ermittelt und ein um den jeweils ermittelten Zeitversatz $v(m)$ zeitversetzter normierter erster Metrikwert $X_{CPCNorm}(n + v(m))$ bestimmt. Im Fall der Kenntnis der Belegungsstruktur eines OFDM-Datenrahmens durch den Empfänger ergibt sich der zweite Metrikwert $x_{FSM}(n)$ der zweiten Metrik aus der Addition sämtlicher zeitversetzter normierter erster Metrikwerte $x_{CPCNorm}(n + v(m))$, die für jeweils ein in einem OFDM-Datenrahmen übertragenes OFDM-Symbol bestimmt wurden, und im Fall der Unkenntnis der Belegungsstruktur eines OFDM-Datenrahmens durch den Empfänger ergibt sich für jede Hypothese j der zugehörige zweite Metrikwert $x_{j,FSM}(n)$ der zweiten Metrik zum Abtastzeitpunkt n aus der Addition sämtlicher zeitversetzter normierter erster Metrikwerte $x_{CPCNorm}(n + v_j(m))$, die für jeweils ein in einem OFDM-Datenrahmen entsprechend der Hypothese j übertragenes OFDM-Symbol bestimmt wurden.

[0074] Der Verlauf des Betrags $|x_{FSM}(n)|$ bzw. $|x_{j,FSM}(n)|$ der aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ bzw. $x_{j,FSM}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik gemäß **Fig. 2C** weist ebenfalls Maximalwerte an den einzelnen Startpositionen $n_{Symboli}$ (mit $i = 1, 2, \dots$) der einzelnen OFDM-Symbole auf. Die einzelnen Maximalwerte der aus zweiten Metrikwerten $x_{FSM}(n)$ bzw. $x_{j,FSM}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik weisen aber einen abfallenden Werteverlauf beginnend mit dem größten Maximalwert bei der Startposition $n_{Symbol1}, n_{Symbolm}, \dots$ des ersten OFDM-Symbols innerhalb eines OFDM-Datenrahmens, die gleichzeitig die Startposition $n_{Datenrahmen1}, n_{Datenrahmen2}, \dots$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens ist, auf. Dieser abfallende Werteverlauf der einzelnen Maximalwerte der

aus zweiten Metrikwerten $x_{\text{FSM}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSM}}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik resultiert aus zwei Effekten:

[0075] • Die fixe OFDM-Datenrahmenlänge von bevorzugt 5 Millisekunden ist kein ganzzahliges Vielfaches einer OFDM-Symbollänge von N_S Abtastwerten und somit werden am Ende eines OFDM-Datenrahmens Null-Werte im OFDM-Datenrahmen übertragen (siehe einfach schraffierte Flächen in [Fig. 1A](#)). Aufgrund des durch die Null-Werte verursachten Zeitversatzes befinden sich die Anteile der zeitlich versetzten und normierten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$ bzw. $x_{\text{CPCNorm}}(n + v_j(m))$, die zu den in den nachfolgenden OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbole gehören, nicht mehr im zyklischen Zeitraster einer OFDM-Symbollänge von N_S Abtastwerten und tragen deshalb auch keinen oder nur einen geringen Beitrag zur additiven, d. h. konstruktiven Überlagerung sämtlicher zeitversetzter und normierter erster Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$ bzw. $x_{\text{CPCNorm}}(n + v_j(m))$ bei der Ermittlung der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSM}}(n)$ der zweiten Metrik zum Abtastzeitpunkt n bei.

[0076] • Aufgrund der Tatsache, dass die in einem OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbole zusammenhängend am Beginn des Downlink-Datenbereichs und/oder des Uplink-Datenbereichs positioniert sind, tragen die einzelnen zeitlich versetzten und normierten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$ bzw. $x_{\text{CPCNorm}}(n + v_j(m))$ mit zunehmenden Zeitversatz einen geringeren Beitrag bei der additiven d. h. konstruktiven Überlagerung zur Ermittlung der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSM}}(n)$ bei Startpositionen n_{Symboli} der einzelnen OFDM-Symbole bei, die eine zunehmende zeitliche Distanz zur Startposition $n_{\text{Datenrahmen1}}, n_{\text{Datenrahmen2}}, \dots$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens aufweisen.

[0077] Im nächsten Verfahrensschritt S30 wird ebenfalls in einer Einheit **3** zu Ermittlung einer zweiten Metrik bei Kenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger für jeden Abtastzeitpunkt n jeweils ein optimierter zweiter Metrikwert $x_{\text{FSMOpt}}(n)$ der optimierten zweiten Metrik gemäß Gleichung (4) und bei Unkenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger für jede ermittelte Hypothese j und für jeden Abtastzeitpunkt n jeweils ein optimierter zweiter Metrikwert $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ der optimierten zweiten Metrik gemäß Gleichung (7) ermittelt. Hierzu werden die für jeden der aufeinander folgenden OFDM-Datenrahmen jeweils ermittelten zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSM}}(n)$ der zweiten Metrik zum Abtastzeitpunkt n um den Zeitversatz $i \cdot N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}}$ zwischen dem jeweiligen OFDM-Datenrahmen i und dem ersten im OFDM-Datenstrom identifizierten OFDM-Datenrahmen zeitversetzt und die jeweils zeitversetzten zweiten Metrikwerte

$$x_{\text{FSM}}(n + i \cdot N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}}) \text{ bzw. } x_{j,\text{FSM}}(n + i \cdot N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}})$$

aufaddiert.

[0078] Der zeitliche Verlauf des Betrags $|x_{\text{FSMOpt}}(n)|$ bzw. $|x_{j,\text{FSMOpt}}(n)|$ der aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{\text{FSMOpt}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zusammengesetzten optimierten zweiten Metrik gemäß [Fig. 2D](#) weist idealerweise an der Startposition $n_{\text{Datenrahmen1}}, n_{\text{Datenrahmen2}}, \dots$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens einen Maximalwert auf, der sich gegenüber den an den einzelnen Startpositionen n_{Symboli} (mit $1 = 2, 3, \dots$) der übrigen OFDM-Symbole positionierten Maximalwerten der aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{\text{FSMOpt}}(n)$ bzw. $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zusammengesetzten optimierten zweiten Metrik wertemäßig deutlich absetzt.

[0079] Im darauffolgenden Verfahrensschritt S40 wird in einer Einheit **4** zur Ermittlung eines Maximalwerts bei Kenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger der größte Maximalwert der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSMOpt}}(n)$ gemäß Gleichung (5) im jeweiligen OFDM-Datenrahmen und damit die zugehörige Anfangsposition $n_{\text{Datenrahmen1}}, n_{\text{Datenrahmen2}}, \dots$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens im OFDM-Datenstrom bestimmt.

[0080] Bei Unkenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger wird in einer Einheit **4** zur Ermittlung eines Maximalwerts für jede ermittelte Hypothese j jeweils der größte Maximalwert der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ gemäß Gleichung (8) im jeweiligen OFDM-Datenrahmen bestimmt.

[0081] Im nächsten Verfahrensschritt S50 wird für den Fall der Unkenntnis der Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen durch den Empfänger durch eine Einheit **4** zur Detektion der korrekten Hypothese diejenige Belegungsstruktur jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen ermittelt, die der tatsächlichen Belegung jedes OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen entspricht. Hierzu wird für jede Hypothese j jeweils eine Differenz zwischen dem im jeweiligen OFDM-Datenrahmen im vorherigen Verfah-

rensschritt S40 ermittelten Maximalwert $\text{Max}\{x_{j,\text{FSMOpt}}(n)\}$ der aus optimierten zweiten Metrikwerten $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik und dem um eine OFDM-Symbollänge von N_S Abtastwerten linksseitig versetzten Maximalwert der optimierten zweiten Metrikwert $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zu einer Differenz zwischen dem im jeweiligen OFDM-Datenrahmen ermittelten Maximalwert $\text{Max}\{x_{j,\text{FSMOpt}}(n)\}$ der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)^n$ und dem um eine OFDM-Symbollänge von N_S Abtastwerten rechtsseitig versetzten Maximalwert der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ addiert und gemäß Gleichung (9) die korrekte Hypothese j_{korrekt} ermittelt, bei der die Summe aus beiden Differenzen den größten Wert aufweist.

[0082] Während im Fall einer korrekten Hypothese j_{korrekt} lediglich diejenigen zeitlich versetzten und normierten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n + v_j(m))$ bei der Ermittlung der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ berücksichtigt werden, die einerseits eine Symmetrie der einzelnen Maxima der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zum größten Maximum der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ und andererseits eine deutlich ausgeprägte Differenz zwischen dem größten Maximum der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ bewirkt, führen die übrigen Hypothesen einerseits zu einer Unsymmetrie der einzelnen Maximas der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ zum größten Maximum der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ und andererseits zu einer deutlich schwächer ausgeprägten Differenz zwischen dem größten Maximum der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$. Für eine tatsächliche Belegung von aufeinander folgenden OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen gemäß **Fig. 2E** sind der Betrag $|x_{\text{CPCNorm}}(n)|$ der zugehörigen aus normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ zusammengesetzten normierten ersten Metrik in **Fig. 2F**, der Betrag $|x_{1,\text{FSMOpt}}(n)|$ der aus zweiten Metrikwerten $x_{1,\text{FSMOpt}}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik einer ersten Belegungshypothese, bei der die ersten drei Positionen eines OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen belegt sind, in **Fig. 2G** und der Betrag $|x_{2,\text{FSMOpt}}(n)|$ der aus zweiten Metrikwerten $x_{2,\text{FSMOpt}}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik einer zweiten Belegungshypothese, bei der alle vier Positionen eines OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen belegt sind, in **Fig. 2H** dargestellt.

[0083] Zu erkennen ist die Symmetrie der einzelnen Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{1,\text{FSM}}(n)$ zum größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ und andererseits die deutlich ausgeprägte Differenz zwischen dem größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{1,\text{FSM}}(n)$ der korrekten ersten Belegungshypothese in **Fig. 2G**.

[0084] Andererseits ist in **Fig. 2H** die Unsymmetrie der einzelnen Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ zum größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ und andererseits die deutlich schwächer ausgeprägte Differenz zwischen dem größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ der nicht korrekten zweiten Belegungshypothese aufgrund des fehlerhaften Beitrags der zum vierten OFDM-Symbol des OFDM-Datenrahmens gehörigen zeitlich versetzten ersten Metrikwerte $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(4))$ zu den zum größten Maximum der aus zweiten Metrikwerten $x_{2,\text{FSM}}(n)$ zusammengesetzten zweiten Metrik linksseitig versetzten Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{2,\text{FSM}}(n)$ zu erkennen.

[0085] Enthält das zu analysierende OFDM-Empfangssignal überlagerte Störsignalanteile aufgrund eines geringen Signal-Rauschabstands des OFDM-Übertragungskanals oder aufgrund von Ungenauigkeiten im Signalpfad des Empfängers – beispielsweise nicht zueinander kompensierter Inphase- und Quadratur-Kanal im Quadraturmodulator des Empfängers so können fehlerhafte Maximalwerte in den normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ an einer Startposition eines OFDM-Symbols, wie in **Fig. 2F** im gepunkteten Störsignalverlauf durch Pfeil angedeutet ist, auftreten.

[0086] Diese fehlerhaften Maximalwerte an einer Startposition eines OFDM-Symbols in den normierten ersten Metrikwerten $x_{\text{CPCNorm}}(n)$ verfälschen die Unsymmetrie der einzelnen Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ zum größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ und die Differenz zwischen dem größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ im Fall von nicht korrekten Belegungshypothesen, während im Fall einer korrekten Belegungshypothese die Verfälschungen hinsichtlich der Symmetrie der einzelnen Maxima der zweiten Metrik $x_{\text{FSM}}(n)$ zum größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ und hinsichtlich der Differenz zwischen dem größten Maximum der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ und den beiden rechts- und linksseitig nächst versetzt positionierten Maxima der zweiten Metrikwerte $x_{\text{FSM}}(n)$ geringer ausfallen.

[0087] In demselben Verfahrensschritt S50 wird nach der Detektion der korrekten Belegungshypothese j_{korrekt} die Startposition $n_{\text{Datenrahmen}}$ des jeweiligen OFDM-Datenrahmens gemäß Gleichung (10) als Abtastzeitpunkt

des größten Maximalwerts der zur korrekten Belegungshypothese j_{korrekt} gehörigen optimierten zweiten Metrikwerte $x_{j_{\text{korrekt,FSMOpt}}(n)}$ ermittelt.

[0088] Im nächsten Verfahrensschritt S60 werden die Startpositionen $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$ aller auf den ersten identifizierten OFDM-Datenrahmen jeweils folgenden OFDM-Datenrahmen ermittelt. Bei einem ungestörten – d. h. ununterbrochenen – Betrieb der OFDM-Übertragung und bei einem zeitinvarianten OFDM-Übertragungskanal sind die Startpositionen $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$ der einzelnen OFDM-Datenrahmen im einem zyklischen Zeitraster angeordnet und werden gemäß Gleichung (11) ermittelt. Bei einem gestörten Betrieb der OFDM-Übertragung und bei einem zeitvarianten OFDM-Übertragungskanal könnten die Startpositionen $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$ der einzelnen OFDM-Datenrahmen nicht mehr in einem zyklischen Zeitraster angeordnet sein. Ist kein zyklisches Zeitraster mehr vorhanden, so können die Startpositionen $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$ der einzelnen OFDM-Datenrahmen deshalb kontinuierlich wie im Fall der Startposition $n_{\text{Datenrahmen}}$ des ersten im OFDM-Datenstrom detektierten OFDM-Datenrahmens gemäß der Verfahrensschritte S10 bis S50 jeweils ermittelt werden.

[0089] In demselben Verfahrensschritt S60 wird in einer Einheit **6** zur Ermittlung der Startposition von OFDM-Symbolen ausgehend von der Startposition $n_{\text{Datenrahmen}}$ bzw. $n_{\text{Datenrahmen}(i)}$ der einzelnen OFDM-Datenrahmen die Startpositionen $n_{\text{Symbol}(i, l)}$ der in den einzelnen OFDM-Datenrahmen i an l -ter Position jeweils übertragenen OFDM-Symbole ermittelt. Hierzu wird für den Betriebsfall eines Frequenzduplex (FDD) für alle in einem OFDM-Datenrahmen übertragenen OFDM-Symbole und für den Betriebsfall eines Zeitduplex (TDD) für alle im Downlink-Datenbereich übertragenen OFDM-Symbole die Startposition $n_{\text{Symbol}(i, l)}$ des l -ten OFDM-Symbol im i -ten OFDM-Datenrahmen gemäß Gleichung (12A) bestimmt. Für den Betriebsfall eines Zeitduplex (TDD) werden für alle im Uplink-Datenbereich übertragenen OFDM-Symbole die Startposition $n_{\text{Symbol}(i, l)}$ des l -ten OFDM-Symbol im i -ten OFDM-Datenrahmen gemäß Gleichung (12B) bestimmt.

[0090] In einem optionalen Verfahrensschritt S70 wird in einer optionalen Einheit **7** zur Schätzung des Trägerfrequenz-Offsets ein grober Schätzwert $\Delta \hat{f}$ für den Trägerfrequenz-Offset Δf ausgehend von der Phase der ersten Metrik $x_{\text{CPC}}(n_{\text{Symbol}})$ an einer Startposition n_{Symbol} eines im OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Symbols gemäß Gleichung (15) ermittelt. Ein normierter grober Schätzwert $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf als Vielfaches $\Delta \hat{f}$ der Bandbreite

$$\frac{\tilde{f}_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers wird gemäß Gleichung (20) berechnet. Eine Verbesserung des normierten groben Schätzwerts $\Delta \hat{f}$ für den Restträgerfrequenz-Offset Δf als Vielfaches $\Delta \hat{f}$ der Bandbreite

$$\frac{\tilde{f}_s}{N_{FFT}}$$

eines Frequenzträgers wird gemäß Gleichung (21) als Phase über mehrere gemittelte, zu jeweils einer Startposition n_{Symbol} von mehreren im OFDM-Datenstrom übertragenen OFDM-Symbolen gehörige erste Metrikwerte $x_{\text{CPC}}(n_{\text{Symbol}})$ erzielt.

[0091] Die Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführungsform mit sämtlichen Varianten beschränkt. Von der Erfindung sind auch andere Normierungsarten und andere, insbesondere zukünftige Belegungsstrukturen von OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen mit abgedeckt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2009/0103667 A1 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Ermittlung einer Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}, n_{\text{Datenrahmen}(i)}$) jedes OFDM-Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom mit OFDM-Symbolen durch Ermitteln einer ersten Metrik ($x_{\text{CPC}}(n)$, $x_{\text{CPCNorm}}(n)$) für jeden Abtastwert (n) des OFDM-Datenstroms mittels Addition einer Anzahl (N_{Corr}) von aufeinander folgenden Abtastwerten (n), die jeweils mit einem um die Anzahl (N_{FFT}) von Abtastwerten (n) für Nutzdaten in einem OFDM-Symbol versetzten Abtastwert (n) gewichtet werden, unter Verwendung einer Rechenvorrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass für jeden Abtastwert (n) des OFDM-Datenstroms ein zweiter Metrikwert ($x_{\text{FSM}}(n)$, $x_{\text{FSMOpt}}(n)$; $x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) mittels Addition von ersten Metrikwerten ($x_{\text{CPC}}(n + v(m))$, $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$), die für jeweils einen Abtastwert ($n + v(m)$) des OFDM-Datenstroms ermittelt werden und die jeweils um die Abstände ($v(m)$) zwischen den zu den einzelnen OFDM-Symbolen jeweils gehörigen ersten Abtastwerten zueinander versetzt sind, und die Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}, n_{\text{Datenrahmen}(i)}$) jedes OFDM-Datenrahmens als der zum Maximalwert der zweiten Metrik ($x_{\text{FSM}}(n)$, $x_{\text{FSMOpt}}(n)$; $x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) gehörige Abtastzeitpunkt innerhalb eines OFDM-Datenrahmenintervalls ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Metrikwerte ($x_{\text{FSM}}(n)$; $x_{j,\text{FSM}}(n)$) durch Addition von ersten Metrikwerten ($x_{\text{CPC}}(n + v(m))$, $x_{\text{CPCNorm}}(n + v(m))$) ermittelt werden, die jeweils zu einem OFDM-Symbol innerhalb eines einzigen OFDM-Datenrahmens gehören.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten optimierten Metrikwerte ($x_{\text{FSMOpt}}(n)$; $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) durch Addition von zu jeweils einem OFDM-Datenrahmen gehörigen zweiten Metrikwerten ($x_{\text{FSM}}(n + i \cdot N_{\text{Abtastwerte/Datenrahmen}})$) ermittelt werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für den Fall, dass es unbekannt ist, in welchen OFDM-Unter-Datenrahmen des OFDM-Datenrahmens OFDM-Symbole übertragen werden, für jede Hypothese (j) einer Belegung von OFDM-Unter-Datenrahmen des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen jeweils ein zweiter Metrikwert ($x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) mittels Addition von ersten Metrikwerten ($x_{\text{CPC}}(n + v_j(m))$, $x_{\text{CPCNorm}}(n + v_j(m))$) ermittelt wird, die für jedes gemäß der jeweiligen Hypothese (j) in einem OFDM-Unter-Datenrahmen übertragene OFDM-Symbol ermittelt werden und die jeweils um die Abstände ($v_j(m)$) zwischen den Startpositionen ($n_{\text{Symbol}1}$, $n_{\text{Symbol}2}$, ...) der gemäß der jeweiligen Hypothese (j) übertragenen OFDM-Symbolen zueinander versetzt sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass diejenige Hypothese (j_{korrekt}) für die Belegung von OFDM-Unter-Datenrahmen des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen der tatsächlichen Belegung von OFDM-Unter-Datenrahmen des OFDM-Datenrahmens mit OFDM-Symbolen entspricht, bei der die Summe der beiden Differenzen zwischen dem Maximalwert der zweiten Metrikwerte ($x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) und den vom Maximalwert der zweiten Metrikwerte ($x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) um eine OFDM-Symbollänge (N_S) links- und rechtsseitig versetzten Maximalwerten der zweiten Metrikwerte ($x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) innerhalb eines OFDM-Datenrahmenintervalls maximal ist, und bei der die Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}, n_{\text{Datenrahmen}(i)}$) des OFDM-Datenrahmens der zum Maximalwert der zweiten Metrikwerte ($x_{j,\text{FSM}}(n)$, $x_{j,\text{FSMOpt}}(n)$) gehörige Abtastzeitpunkt innerhalb des OFDM-Datenrahmenintervalls ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jeder OFDM-Unter-Datenrahmen eines OFDM-Datenrahmens entweder vollständig mit OFDM-Symbolen belegt ist oder vollständig von OFDM-Symbolen befreit ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein OFDM-Datenrahmen mit OFDM-Symbolen belegt ist, wenn die aus ersten Metrikwerten ($x_{\text{CPC}}(n)$, $x_{\text{CPCNorm}}(n)$) zusammengesetzte erste Metrik innerhalb eines Datenrahmenintervalls mindestens eine der Anzahl (N_{Min}) von OFDM-Symbolen je OFDM-Unter-Datenrahmen entsprechende Anzahl von Maximalwerten aufweist, die über einem vorgewählten Schwellwert liegen und jeweils um eine OFDM-Symbollänge (N_S) zueinander beabstandet sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein OFDM-Unter-Datenrahmen am Beginn eines für die Datenübertragung von einer Basisstation zu einem Mobilfunkgerät vorgesehenen Datenübertragungsbereichs oder eines für die Datenübertragung vom Mobilfunkgerät zur Basisstation vorgesehenen Datenübertragungsbereichs eines OFDM-Datenrahmens vollständig mit OFDM-Symbolen belegt ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils nur zusammenhängende OFDM-Unter-Datenrahmen innerhalb des für die Datenübertragung von einer Basisstation zu einem Mobilfunkgerät vorgesehenen Datenübertragungsbereichs und/oder innerhalb des für die Datenübertragung vom Mobilfunk-

gerät zur Basisstation vorgesehenen Datenübertragungsbereichs eines OFDM-Datenrahmens vollständig mit OFDM-Symbolen belegt sind.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein normierter erster Metrikwert ($x_{\text{CPCNorm}}(n)$) durch Normierung des ersten Metrikwerts ($x_{\text{CPC}}(n)$) durch die Leistung ($P(n)$) im zu untersuchenden Abschnitt des Datenstroms gebildet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl (N_{Corr}) von aufeinander folgenden Abtastwerten (n), über die zur Bestimmung des ersten Metrikwerts ($x_{\text{CPC}}(n)$, $x_{\text{CPCNorm}}(n)$) addiert wird, kleiner oder gleich der Anzahl (N_{DP}) von Abtastwerten (n) in einem Guard-Intervall ist.

12. Vorrichtung zur Ermittlung einer Startposition ($n_{\text{Datenrahmen}}, n_{\text{Datenrahmen}}(i)$) jedes OFDM-Datenrahmens in einem OFDM-Datenstrom mit OFDM-Symbolen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit

einer Einheit **(1)** zur Ermittlung einer ersten Metrik für jeden Abtastwert,

einer Einheit **(3)** zur Ermittlung einer zweiten Metrik für jeden Abtastwert aus ermittelten ersten Metriken und

einer Einheit **(4)** zur Detektion eines Maximalwerts der ermittelten zweiten Metrik.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Einheit **(3)** zur Ermittlung einer zweiten Metrik eine Einheit **(2)** zur Bildung von Hypothesen vorgeschaltet ist und der Einheit **(4)** zur Detektion eines Maximalwerts eine Einheit **(5)** zur Detektion der korrekten Hypothese und ein Einheit zur Ermittlung von Startpositionen von OFDM-Symbolen nachgeschaltet ist.

14. Computerprogramm mit Programmcode-Mitteln, um alle Schritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 durchführen zu können, wenn das Programm auf einem Computer oder einem digitalen Signalprozessor ausgeführt wird.

15. Computerprogramm-Produkt mit insbesondere auf einem maschinenlesbaren Träger gespeicherten Programmcode-Mitteln, um alle Schritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 durchführen zu können, wenn das Programm auf einem Computer oder einem digitalen Signalprozessor ausgeführt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

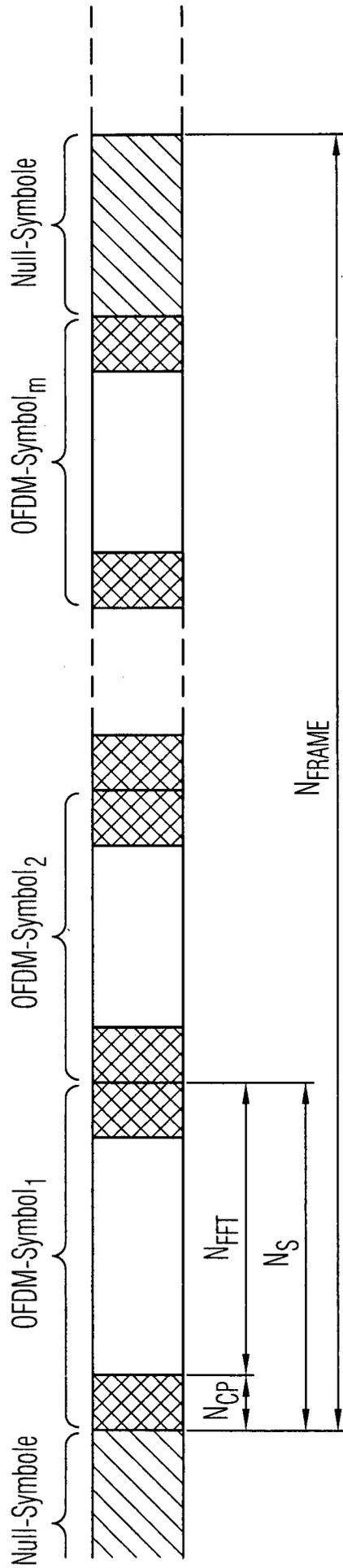


Fig. 1A

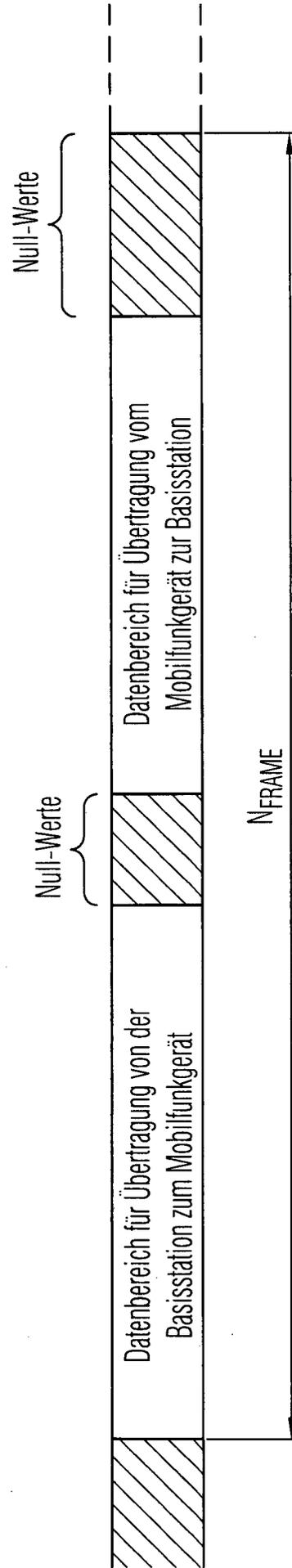


Fig. 1B

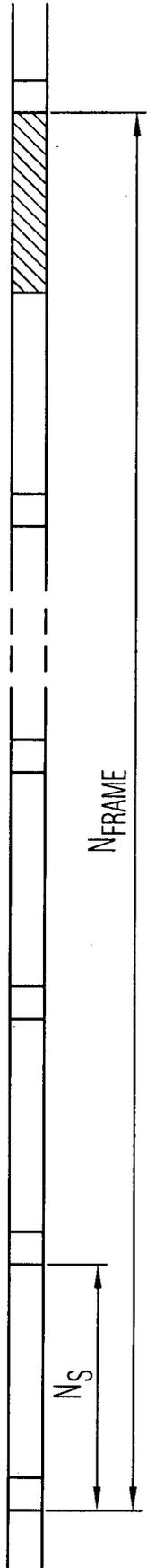


Fig. 2A

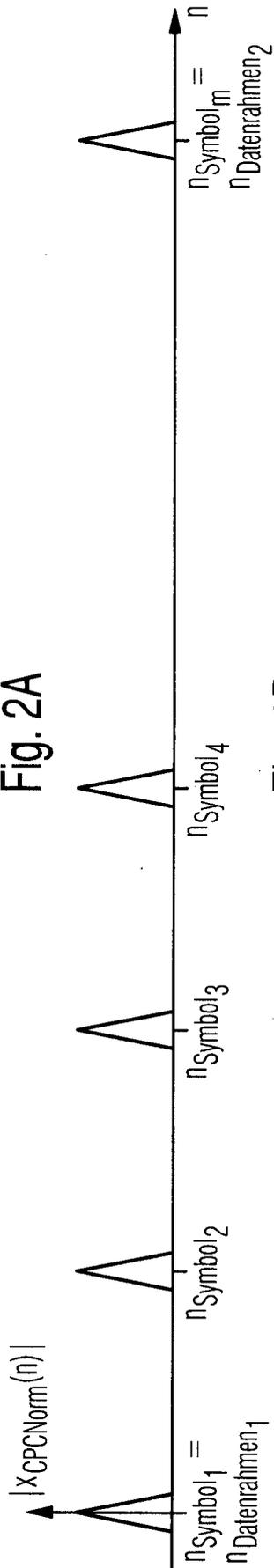


Fig. 2B

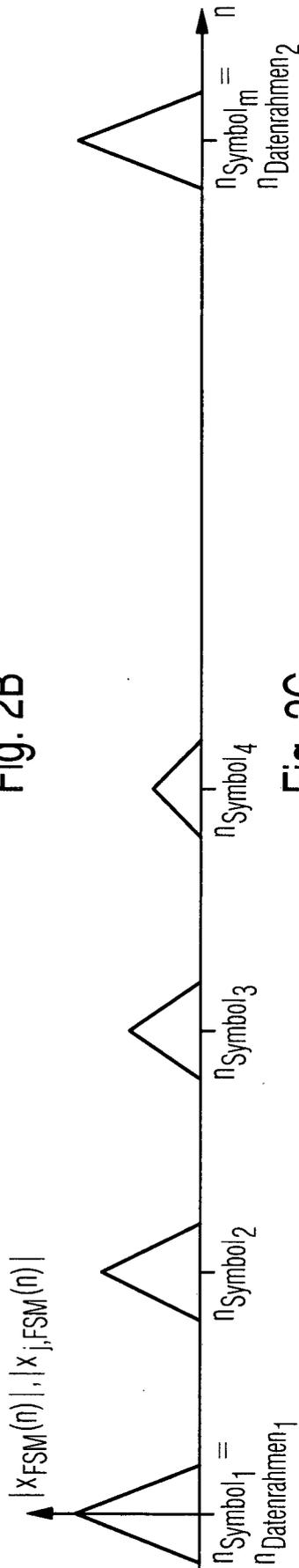


Fig. 2C

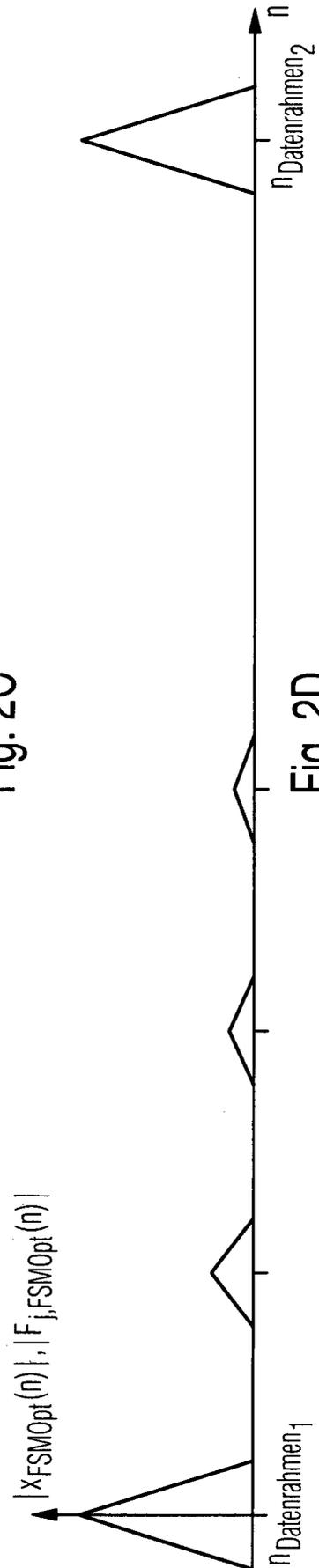


Fig. 2D

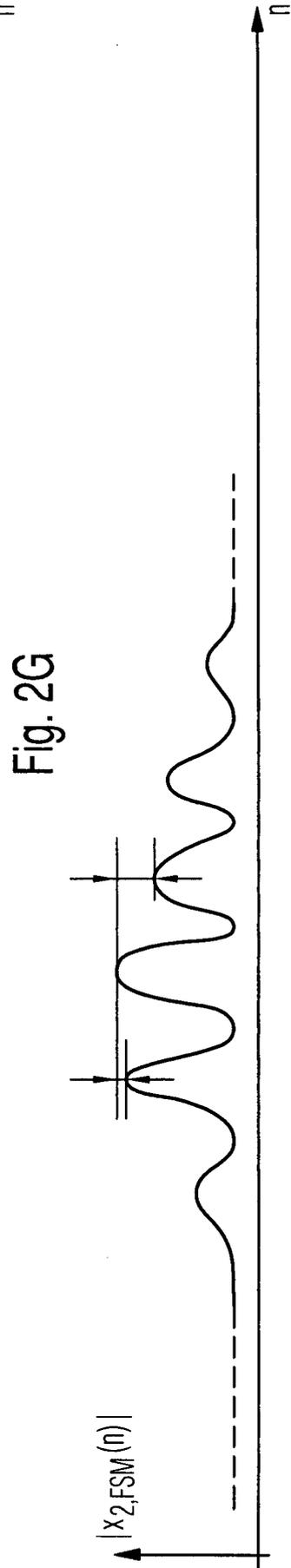
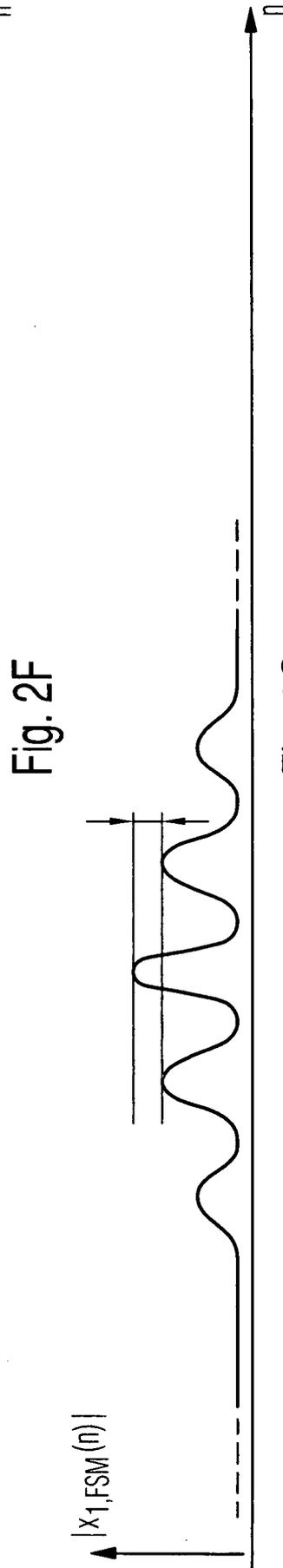
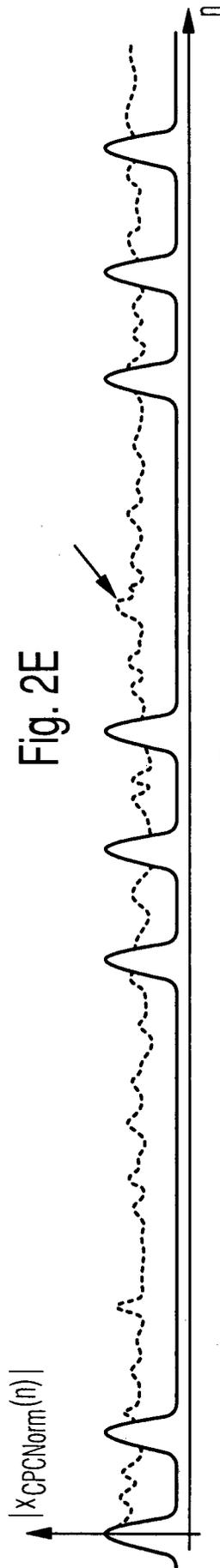
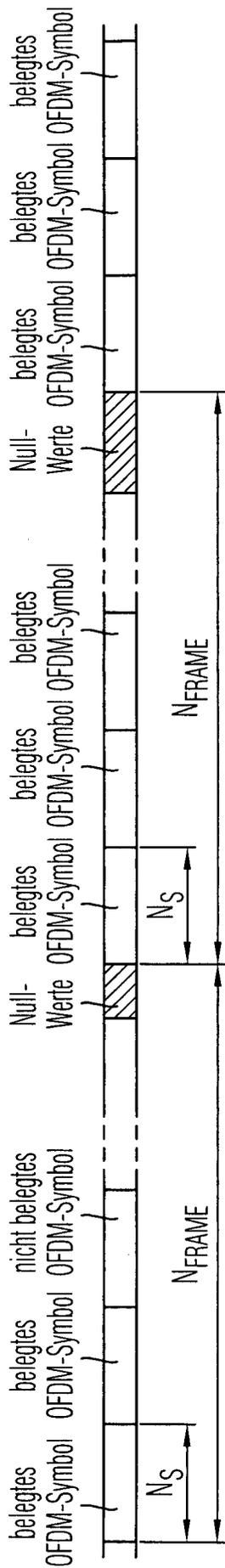


Fig. 2H

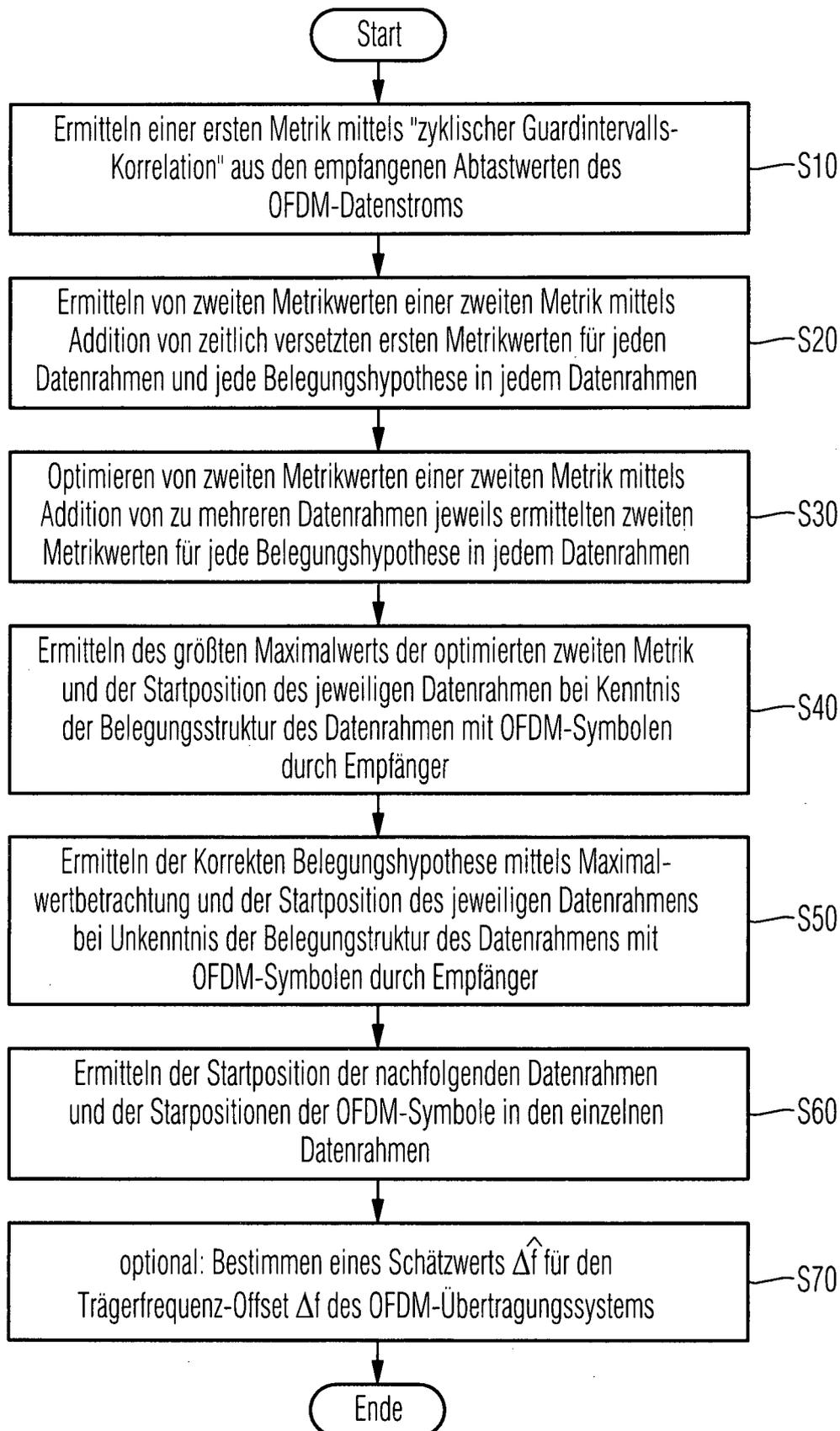


Fig. 3

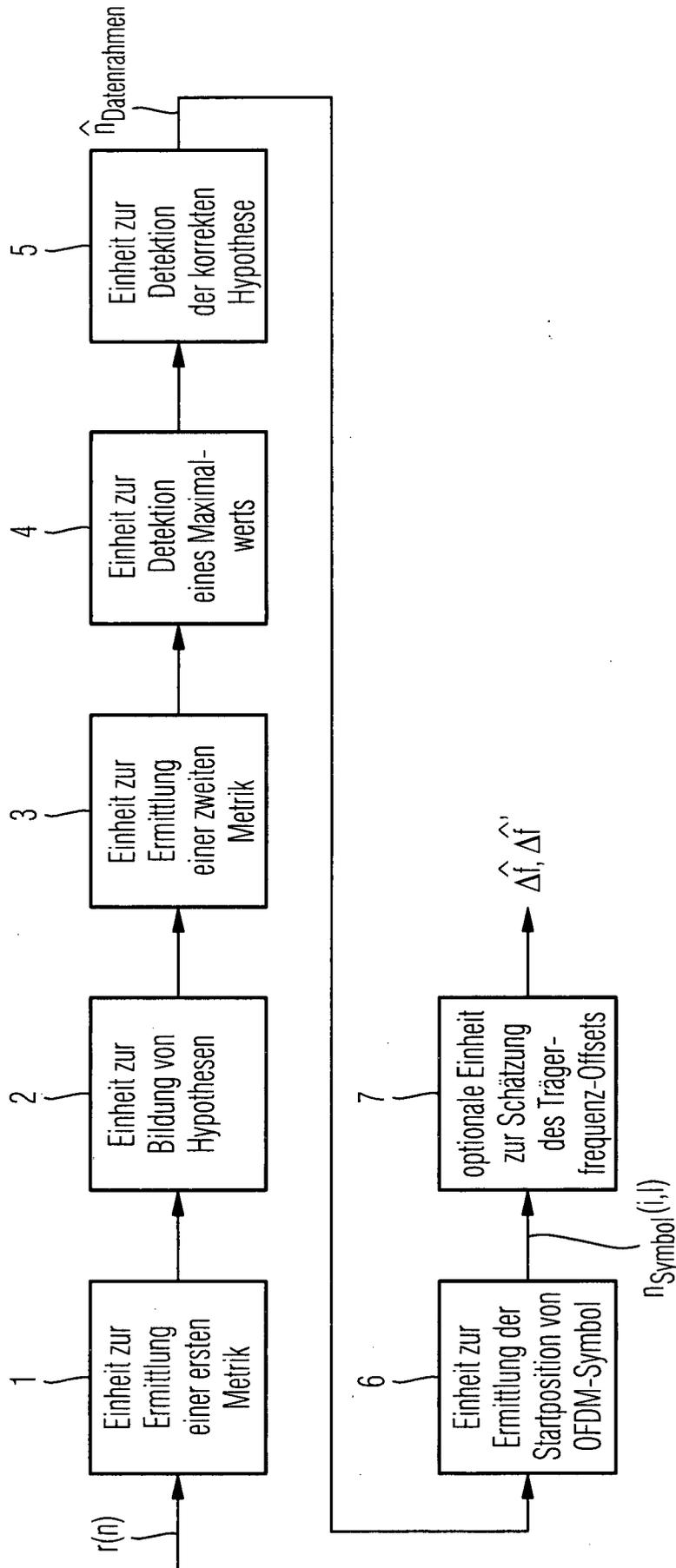


Fig. 4