



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 361 715 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**12.11.2003 Patentblatt 2003/46**

(51) Int Cl.7: **H04L 25/02, H04B 7/005**

(21) Anmeldenummer: **02009360.5**

(22) Anmeldetag: **03.05.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

• **Fleury, Bernard, Prof. Dr.**  
**DK-9000 Aalborg (DK)**

(74) Vertreter: **Patentanwälte  
Leinweber & Zimmermann  
Rosental 7,  
II Aufgang  
80331 München (DE)**

(71) Anmelder: **Elektrobit AG  
8608 Bubikon (CH)**

Bemerkungen:  
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 86 (2)  
EPÜ.

(72) Erfinder:  
• **Stucki, Andreas**  
**CH-8624 Grüt-Gossau (CH)**  
• **Jourdan, Patrik**  
**CH-8645 Jona (CH)**

(54) **Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, insbesondere Mobilfunksignals, bei dem ein mindestens in einem Abstrahlungsbereich abgestrahltes Signal in mindestens einem Empfangsbereich empfangen wird und Werte von Parametern eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal in einer Folge von Iterationsschritten optimiert werden, wobei das Ergebnis

der iterativen Optimierung nach jedem Iterationsschritt bewertet und in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Bewertung festgelegt wird, ob die iterative Optimierung abgebrochen oder für den nächsten Iterationsschritt mindestens ein neuer Parameter des Signalmodells berücksichtigt und/oder mindestens ein Parameter des Signalmodells beim nächsten Iterationsschritt ignoriert wird oder der nächste Iterationsschritt ohne Änderung der berücksichtigten Parameter durchgeführt wird.

**EP 1 361 715 A1**

**Beschreibung**

5 **[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, insbesondere Mobilfunksignals, bei dem ein in mindestens einem Abstrahlbereich abgestrahltes Signal in mindestens einem Empfangsbereich empfangen wird und Werte von Parametern eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal in einer Folge von Iterationsschritten optimiert werden, eine zur Ausführung eines derartigen Verfahrens geeignete Vorrichtung und ein digitales Speichermedium, mit dessen Hilfe das Verfahren ausgeführt werden kann.

10 **[0002]** Verfahren der vorstehend beschriebenen Art wurden zur Auswertung von Ergebnissen einer PET (Positron-Elektron-Tomographie)-Untersuchung entwickelt. Später wurden diese Verfahren zur Entwicklung von Verfahren zur drahtlosen Kommunikation, einschließlich Mobilfunksystemen und Multi-User-Detection-Empfängern genutzt.

15 **[0003]** Bei den zuletzt beschriebenen Anwendungen wird üblicherweise davon ausgegangen, daß sich das in einem Empfangsbereich empfangene Signal  $y(t)$  aus einer Vielzahl von Teilsignalen  $y_\ell(t)$  zusammensetzt, von denen jedes einen von dem abgestrahlten Signal hervorgerufenen Signalanteil  $s(t; \theta_\ell)$  und einen Rauschanteil  $W_\ell(t)$  aufweist. Dieser Zusammenhang läßt sich formelmäßig wie folgt ausdrücken:

20 
$$y(t) = \sum_{\ell=1}^{\infty} s(t; \theta_\ell) + W_\ell(t) = \sum_{\ell=1}^{\infty} y_\ell(t)$$

25 **[0004]** Dabei kann angenommen werden, daß der von dem abgestrahlten Signal  $u(t)$  hervorgerufene Signalanteil  $s(t; \theta_\ell)$  wie folgt beschrieben werden kann:

$$s(t; \theta_\ell) = \alpha_\ell \exp\{2\pi i v_\ell \cdot t\} \cdot c_2(\Omega_{2,\ell}) c_1(\Omega_{1,\ell})^T \cdot u(t - \tau_\ell)$$

30 **[0005]** Dabei bezeichnet  $\alpha_\ell$  die komplexe Amplitude des Teilsignals  $\ell$ ,  $v_\ell$  die durch Reflexion an einem ggf. beweglichen Reflektor, die Abgabe des Signals durch einen beweglichen Sender und/oder den Empfang des Signals durch einen beweglichen Empfänger hervorgerufene Dopplerverschiebung des Teilsignals  $\ell$  bezüglich des abgestrahlten Signals,  $\Omega_{2,\ell}$  den Einfallswinkel des Teilsignals  $\ell$  in den Empfangsbereich,  $\Omega_{1,\ell}$  die Abstrahlrichtung des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich,  $c_2$  die Empfangscharakteristik des Empfangsbereichs,  $c_1$  die Abstrahlcharakteristik des Abstrahlbereichs,  $\tau_\ell$  die Signallaufzeit des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich zum Empfangsbereich und  $\theta_\ell$  den Parametervektor  $[\Omega_{1,\ell}, \Omega_{2,\ell}, \tau_\ell, v_\ell, \alpha_\ell]$  des Teilsignals  $\ell$ . Dabei können die Teilsignale  $y_\ell(t)$  von einem Abstrahlbereich abgestrahlte und über verschiedene Signalausbreitungswege zum Empfangsbereich gelangte Signale sein und/oder von unterschiedlichen Abstrahlbereichen zum Empfangsbereich abgestrahlte Signale sein. Die Anzahl der bei der Signalauswertung berücksichtigten Teilsignale wird mit  $L$  bezeichnet. Unter der Annahme, daß der von dem abgestrahlten Signal hervorgerufene Signalanteil des empfangenen Signals insgesamt mit

40 
$$s(t, \theta) = \sum_{\ell=1}^L s(t; \theta_\ell)$$

45 bezeichnet wird, wobei gilt,

$$\theta \hat{=} [\theta_1 \dots \theta_L]$$

50 kann der Parametervektor  $\hat{\theta}_{ML}(y)$  mit dem eine optimale Anpassung des auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal  $y(t)$  gelingt, als derjenige Wert von  $\theta$  angenommen werden, für den die Funktion  $\Lambda(\theta; y)$  maximal wird:

55 
$$\hat{\theta}_{ML}(y) \in \arg \max_{\theta} \{\Lambda(\theta; y)\}$$

wobei gilt:

$$\Lambda(\theta, y) \triangleq \frac{1}{N_0} \left[ 2 \int_{D_0} \operatorname{Re} \{ s^H(t'; \theta) y(t') \} dt' - \int_{D_0} \| s(t'; \theta) \|^2 dt' \right]$$

**[0006]** Dieser Zusammenhang ist beispielsweise erläutert in "B.H. Fleury, D. Dahlhaus, R. Heddergott und M. Tschudin, "Wideband Angle of Arrival Estimation Using the SAGE Algorithm" in Proc. IEEE Fourth International Symp. Spread Spectrum Technics and Applications (ISSSTA'96), Mainz, Germany, September 1996, S. 79-85". Der Inhalt dieser Schrift wird hiermit durch ausdrückliche Inbezugnahme hinsichtlich der Erläuterung des Expectation-Maximization-Algorithmus und des SAGE-Algorithmus in diese Beschreibung aufgenommen. Aus der vorstehenden Erläuterung geht hervor, daß es sich bei der Anpassung der Parameterwerte des üblicherweise benutzten Signalmodells um ein nichtlineares 8L-dimensionales Optimierungsproblem handelt, weil sowohl die komplexe Amplitude  $\alpha_\ell$  als auch der Einfallswinkel  $\Omega_{2\ell}$  und der Abstrahlwinkel  $\Omega_{1\ell}$  durch jeweils zwei Parameterwerte beschrieben werden. Wenn man annimmt, daß das empfangene Signal aus nur 20 Teilsignalen besteht, handelt es sich also um ein 160-dimensionales nichtlineares Optimierungsproblem, das rechnerisch nicht bewältigt werden kann.

**[0007]** Aus diesem Grund wurde unter der Annahme, daß die Teilsignale  $y_\ell(t)$  voneinander unabhängig sind, der vorstehend bereits angesprochene "Expectation-Maximization-Algorithmus" zur Lösung der Optimierungsaufgabe angegeben, bei dem die Parametersätze  $\theta_\ell$  für die einzelnen Teilsignale unabhängig voneinander optimiert werden, so daß das 8L-dimensionale Optimierungsproblem in L jeweils achtdimensionale Probleme zerfällt. Zur weiteren Reduzierung des Rechnungsaufwandes wurde der vorstehend ebenfalls bereits angesprochene SAGE-Algorithmus vorgeschlagen, indem die einzelnen achtdimensionalen Optimierungsprobleme für jedes Teilsignal in acht eindimensionale Probleme aufgelöst werden.

**[0008]** Für sog. MIMO-Anwendungen, bei denen der Abstrahlbereich eine Mehrzahl von Abstrahlelementen (Antennen) aufweist und der Empfangsbereich eine Mehrzahl von Empfangselementen (Empfangsantennen) aufweist, wird dieser Algorithmus erläutert in "B.H. Fleury, P. Jourdan und A. Stucki, "High-Resolution Channel Parameter Estimation for MIMO Applications Using the SAGE Algorithm" in 2002 Int. Zürich Seminar on Broadband Communications (IZS2002), 2002". Der Offenbarungsgehalt dieser in Kopie anliegenden Schrift hinsichtlich der Anwendung des SAGE-Algorithmus für MIMO-Anwendungen wird hiermit durch ausdrückliche Inbezugnahme in diese Beschreibung aufgenommen.

**[0009]** Beim Einsatz der bekannten Verfahren und Vorrichtungen zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften hat es sich jedoch gezeigt, daß die damit erhaltenen Parametersätze für die einzelnen Teilsignale in vielen Fällen keine zufriedenstellende Beschreibung der Ausbreitungsverhältnisse erlauben, insbesondere nicht in Zusammenhang mit den physikalischen Gegebenheiten in der untersuchten Umgebung gebracht werden können.

**[0010]** Angesichts dieser Probleme im Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Weiterbildung der bekannten Verfahren anzugeben, welche eine realistische Beschreibung der Signalausbreitungseigenschaften mit vorgegebenen Signalmodellen erlaubt sowie eine Vorrichtung zur Ausführung derartiger Verfahren anzugeben und ein entsprechendes digitales Speichermedium bereitzustellen.

**[0011]** Gemäß einem ersten Gesichtspunkt der Erfindung wird diese Aufgabe durch eine Weiterbildung der bekannten Verfahren gelöst, die im wesentlichen dadurch gekennzeichnet ist, daß das Ergebnis der iterativen Optimierung nach jedem Iterationsschritt bewertet und in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Bewertung festgelegt wird, ob

- a) die iterative Optimierung abgebrochen oder
- b1) für den nächsten Iterationsschritt mindestens ein neuer Parameter des Signalmodells berücksichtigt und/oder
- b2) mindestens ein Parameter des Signalmodells beim nächsten Iterationsschritt ignoriert wird oder
- b3) der nächste Iterationsschritt ohne Änderung der berücksichtigten Parameter durchgeführt wird.

**[0012]** Diese Erfindung geht auf die verblüffend einfache Erkenntnis zurück, daß die im Stand der Technik beobachteten Probleme in erster Linie dadurch hervorgerufen werden, daß bei herkömmlichen Verfahren im Hinblick auf die zur Verfügung stehende Computerkapazität sowohl die Anzahl der Iterationsschritte als auch die Anzahl der berücksichtigten Teilsignale vor Beginn der iterativen Optimierung festgelegt wird. Das kann zu einem Abbruch der iterativen Optimierung vor Erreichen einer zur zufriedenstellenden Systembeschreibung hinreichenden Konvergenz führen. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Anzahl der Iterationsschritte hingegen nicht vorab festgelegt, sondern

nach jedem Iterationsschritt in Abhängigkeit vom Ergebnis der iterativen Optimierung eine Bewertung durchgeführt, ob eine hinreichende Systembeschreibung erreicht wurde. Sofern diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, wird die iterative Optimierung fortgesetzt. Dabei kann im Rahmen der Bewertung des Ergebnisses der iterativen Optimierung das geschätzte Signal mit dem empfangenen Signal verglichen werden und als Abbruchkriterium ein Grenzwert für die integrale Abweichung des geschätzten Signals von dem empfangenen Signal festgelegt werden. Alternativ oder zusätzlich kann als Abbruchkriterium auch ein Grenzwert für die maximale Abweichung festgelegt werden. Bei Unterschreiten der entsprechenden Grenzwerte wird die iterative Optimierung dann abgebrochen.

**[0013]** Alternativ oder zusätzlich kann im Rahmen der Bewertung des Ergebnisses der iterativen Optimierung untersucht werden, ob einzelne Parametersätze vorgegebenen Konvergenzkriterien genügen, d.h. ob die Parameterwerte der einzelnen Parametersätze in dem bewerteten Iterationsschritt einen vorgegebenen Grenzwert für eine Abweichung von dem entsprechenden in einem vorhergehenden Iterationsschritt ermittelten Parameterwert unterschreiten.

**[0014]** Der bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ausgeführte Bewertungsschritt erfordert zusätzliche Auswertungskapazität. Ferner kann die variable Gestaltung der Anzahl von Iterationsschritten ohne weitere Änderung der bekannten Verfahren dazu führen, daß eine unverhältnismäßig lange Auswertungszeit benötigt wird. Im Extremfall werden ohne weitere Änderungen der bekannten Verfahren die vorgegebenen Konvergenzkriterien nicht erreicht, so daß das Verfahren der iterativen Optimierung nicht abgeschlossen wird.

**[0015]** Aus diesem Grund können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren in Abhängigkeit von der Bewertung des Ergebnisses der iterativen Optimierung nach jedem Iterationsschritt Anpassungen bei der Auswahl der bei der Iteration berücksichtigten Parameter des der iterativen Optimierung zugrundegelegten Signalmodells vorgenommen werden. Derartige Anpassungen können einerseits in der Berücksichtigung neuer Teilsignale bestehen. Das kann dann notwendig werden, wenn die zunächst vorgegebene Anzahl von Teilsignalen zur realistischen Beschreibung der Signalausbreitungsumgebung nicht ausreicht. Alternativ oder zusätzlich können bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Verlauf der iterativen Optimierung auch einzelne Parameter ignoriert werden, d.h. bei einem oder mehreren aufeinanderfolgenden Iterationsschritten keiner weiteren Optimierung zugeführt werden. Dabei können entsprechende Teilsignale entweder vollständig aus dem der iterativen Optimierung zugrundeliegenden Signalmodell entfernt oder aber in diesem Signalmodell als konstant angenommen werden. Die vollständige Entfernung des entsprechenden Teilsignals aus dem Signalmodell kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens dann erfolgen, wenn die im Rahmen der iterativen Optimierung geschätzte Amplitude des entsprechenden Teilsignals einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet, ggf. über eine vorgegebene Anzahl von aufeinanderfolgenden Iterationsschritten. Eine vorübergehende Ignorierung einzelner Parameter bzw. Parametersätze kann im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgen, wenn die entsprechenden Parameter bei einer vorgegebenen Anzahl aufeinanderfolgender Iterationsschritte keine einen vorgegebenen Grenzwert überschreitende Änderung erfahren haben. Dabei kann dieser Grenzwert wie auch die übrigen vorstehend angesprochenen Grenzwerte variabel gestaltet werden, so daß in einem Iterationsschritt ignorierte Parameter in einem späteren Iterationsschritt wieder berücksichtigt werden.

**[0016]** Bei der Ausführung erfindungsgemäßer Verfahren werden die Parameterwerte üblicherweise in jedem Iterationsschritt zur Anpassung des geschätzten Signals an das zu messende Signal schrittweise variiert. Dabei kann eine weitere Beschleunigung des Verfahrens erreicht werden, wenn mindestens ein Parameterwert in mindestens einem Iterationsschritt nur in einem vorgegebenen Teilbereich eines möglichen Wertebereiches für diesen Parameter variiert wird. Eine solche Maßnahme kann beispielsweise dann sinnvoll sein, wenn die physikalische Umgebung für die Signalausbreitung den Ausbreitungsweg für ein oder mehrere Teilsignale als besonders wahrscheinlich erscheinen läßt und für diese Teilsignale einzelne Parameterwerte in Abhängigkeit von der Umgebung besonders zuverlässig vorhergesagt werden können.

**[0017]** In diesem Zusammenhang können die Teilbereiche entsprechender Parameterwerte anderer Teilsignale dadurch festgelegt werden, daß der Teilbereich des besonders zuverlässig vorhersehbaren Teilsignals von dem möglichen Wertebereich ausgenommen wird. Auf diese Weise können auch Teilsignale außerhalb der wahrscheinlichsten Signalausbreitungswege zuverlässig ermittelt werden.

**[0018]** Eine weitere Beschleunigung bei der Ausführung erfindungsgemäßer Verfahren kann erreicht werden, wenn für mindestens einen Parameterwert des Signalmodells die Schrittweite bei der Variation innerhalb mindestens eines Iterationsschrittes und/oder zwischen aufeinanderfolgenden Iterationsschritten variiert wird.

**[0019]** Wie vorstehend bereits erläutert, wird bei der Ausführung erfindungsgemäßer Verfahren zweckmäßigerweise davon ausgegangen, daß das gemessene Signal nach dem vorgegebenen Signalmodell aus einer Mehrzahl von jeweils durch einen entsprechenden Parametersatz definierten Teilsignalen gebildet ist und die Optimierung der Anpassung der einzelnen Parameterwerte in einer Folge von Teiliterationsschritten ausgeführt werden kann, in denen jeweils eine Optimierung der Werte für einen Parametersatz unter Annahme konstanter Werte für die Parameter der übrigen Parametersätze erfolgt. Dabei können die Ergebnisse der Teiliterationsschritte innerhalb eines eine Folge von Teiliterationsschritten aufweisenden vollständigen Iterationsschrittes bereits berücksichtigt werden, wenn in einem Teiliterationsschritt ermittelte Parameterwerte eines Parametersatzes bei einem folgenden Teiliterationsschritt desselben Ite-

rationsschrittes als konstante Werte für diesen Parametersatz angenommen werden. Dadurch kann eine deutliche Beschleunigung des Verfahrens erreicht werden. Zusätzlich können die Parameterwerte von in dem entsprechenden Iterationsschritt noch nicht behandelten Parametersätzen in mindestens einem Teiliterationsschritt zumindest teilweise aus dem vorhergehenden Iterationsschritt übernommen werden.

5 **[0020]** Im Rahmen der erfindungsgemäß vorgeschlagenen variablen Gestaltung der iterativen Optimierung hat es sich im Sinne eines besonders raschen Erreichens der vorgegebenen Konvergenzkriterien als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die Reihenfolge der Ausführung der einzelnen Teiliterationsschritte eines vollständigen Iterationsschrittes in Abhängigkeit von den in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Parameterwerten der Parametersätze bestimmt wird. Wenn in diesem Zusammenhang die Reihenfolge der Teiliterationsschritte entsprechend der in  
10 einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Amplituden der Teilsignale beginnend mit dem die höchste/kleinste Amplitude aufweisenden Teilsignal ausgeführt wird, können auch die Parametersätze für schwache Teilsignale schnell und zuverlässig optimiert werden.

15 **[0021]** Wie vorstehend bereits erläutert, kann die Berücksichtigung eines neuen Parametersatzes bzw. eines neuen Parametersatzes im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens angezeigt sein, wenn nach Ausführung einer Anzahl von Iterationsschritten noch besonders große Abweichungen zwischen dem geschätzten Signal und dem gemessenen Signal beobachtet werden.

20 **[0022]** Daneben kann die Berücksichtigung neuer Parametersätze bzw. Teilsignale auch dann erforderlich werden, wenn sich hinter einem der bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereits berücksichtigten Teilsignale eine Mehrzahl hinsichtlich zumindest eines Parameters ähnlicher Teilsignale verbergen. Das kann i. allg. daran erkannt werden, daß sich ein Parameterwert eines Parametersatzes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Iterationsschritten besonders stark verändert. Daher zeichnet sich eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung dadurch aus, daß bei dem Schritt der Bewertung in dem entsprechenden Iterationsschritt optimierte Werte der Parameter mindestens eines Parametersatzes mit den in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Werten für die Parameter desselben Parametersatzes verglichen werden und bei einer oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegenden Änderung mindestens eines Parameterwertes in einem folgenden Iterationsschritt ein neuer Parametersatz des Signalmodells berücksichtigt wird.

25 **[0023]** Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit besonderem Vorteil unter Verwendung des SAGE-Algorithmus zur Parameteroptimierung eingesetzt werden, bei dem in mindestens einem Teiliterationsschritt die Optimierung der Anpassung der Parameterwerte eines Parametersatzes in einer Folge von Unteriterationsschritten ausgeführt wird, in denen jeweils eine Optimierung der Anpassung einer Teilmenge der Parameterwerte desselben Parametersatzes unter Annahme konstanter Werte für die übrigen Parameter dieses Parametersatzes erfolgt. Dabei wird in der Regel von dem oben angegebenen Signalmodell ausgegangen, bei dem angenommen wird, daß das gemessene Signal  $y(t)$  als Überlagerung von einer Anzahl von Teilsignalen  $y_\ell(t)$  vorliegt.

30 **[0024]** Unter Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können in einer Vielzahl von Fällen zufriedenstellende Beschreibungen der Signalausbreitung mit vergleichsweise wenigen Iterationsschritten, d.h. in kurzer Zeit erhalten werden. Allerdings hat es sich gezeigt, daß in einigen Fällen auch die erfindungsgemäß vorgeschlagene Variation des Signalmodells nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen führt. Zur Behebung dieses Mangels wird gemäß einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung vorgeschlagen, den Anfangswert der iterativen Optimierung für mindestens einen Parameter des Signalmodells unter Verwendung des empfangenen Signals zu bestimmen. Diese Weiterbildung bekannter Verfahren geht auf die Erkenntnis zurück, daß die Konvergenzgeschwindigkeit von Optimierungsverfahren i.  
35 a. von einer geschickten Wahl der Anfangswerte der Optimierung abhängt und eine besonders realitätsnahe Wahl der Anfangswerte erfolgen kann, wenn bereits bei dieser Wahl das empfangene Signal berücksichtigt wird. Die Bestimmung der Anfangswerte für die im Verlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgeführte iterative Optimierung kann weiter verbessert werden, wenn die Anfangswerte für die Parameter eines Parametersatzes nacheinander unter Verwendung des empfangenen Signals und der zuvor bereits bestimmten Anfangswerte der Parameter dieses Parametersatzes bestimmt werden. Ebenso können Anfangswerte für Parametersätze, die zu erst nach Ausführung mindestens eines Iterationsschrittes nachträglich berücksichtigten Teilsignalen gehören, unter Verwendung von zuvor bestimmten Parameterwerten der anderen Teilsignale bestimmt werden. Dabei wird vorzugsweise zunächst anhand des gemessenen Signals und der bereits bestimmten Anfangswerte der Parametersätze das Teilsignal  $y_\ell(t)$  bestimmt.  
40 Dann wird in dieser Reihenfolge die Signallaufzeit  $\tau_\ell$ , der Einfallswinkel  $\Omega_{2,\ell}$ , der Abstrahlwinkel  $\Omega_{1,\ell}$ , die Dopplerfrequenz  $\nu_\ell$  für das Teilsignal  $y_\ell$  bestimmt und daraus ein Schätzwert für die Amplitude  $\alpha_\ell$  errechnet. Diese Anfangswertbestimmung kann bei Benutzung einer Anordnung mit einer Mehrzahl von Abstrahl- und Empfangselementen (MIMO-System) nach dem folgenden Algorithmus durchgeführt werden:

45 **[0025]** Für  $\ell=1, \dots, L$

55

$$y^{(\ell)}(t) = y(t) - \sum_{\ell'=1}^{\ell-1} s(t; \widehat{\theta}_{\ell'}(0)) \quad (5)$$

$$\widehat{\tau}_{\ell}(0) = \operatorname{argmax}_{\tau_{\ell}} \left\{ \sum_{i,n,m} \left| \int_0^{T_{sc}} u(t - \tau_{\ell})^* \cdot y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & (\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0)) \\ &= \operatorname{argmax}_{(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})} \left\{ \sum_{i,m} \left| \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})^* \cdot \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_{\ell}(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0)) \\ &= \operatorname{argmax}_{(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})} \left\{ \sum_i \left| \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})^* \cdot \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_{\ell}(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right|^2 \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widehat{\nu}_{\ell}(0) = \operatorname{argmax}_{\nu_{\ell}} & \left\{ \left| \sum_i \exp\{-j2\pi\nu_{\ell} t_{i,n,m}\} \cdot \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \cdot \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_{\ell}(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right| \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \widehat{\alpha}_\ell(0) = & \|\mathbf{c}_2(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))\| \|\mathbf{c}_1(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))\| [IPT_{sc}]^{-1} \cdot \\ & \left\{ \sum_i \exp\{-j2\pi\widehat{\nu}_\ell(0)t_{i,n,m}\} \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \\ & \left. \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right\} \end{aligned}$$

[0026] Dabei bezeichnen die Koordinatenpaare  $(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})$  und  $(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})$  die Einfallrichtung bzw. die Abstrahlrichtung des entsprechenden Teilsignals darstellende Polarkoordinaten,  $t_{i,n,m}$  die Startzeit eines in einem Meßzyklus  $i$  von einem Abstrahlelement  $n$  abgestrahlten und von einem Empfangselement  $m$  empfangenen Code-Signals,  $T_{sc}$  die Dauer, für die der Teilkanal mit dem Abstrahlelement  $n$  und dem Empfangselement  $m$  für die Auswertung geschaltet ist und  $\tilde{c}$  normierte Steeringvektoren für den Abstrahlbereich und den Empfangsbereich.

[0027] Wie der vorstehenden Erläuterung erfindungsgemäßer Verfahren zu entnehmen ist, weist eine Vorrichtung zur Ausführung dieser Verfahren mindestens eine Abstrahleinrichtung zum Abstrahlen eines Signals, mindestens eine Empfangseinrichtung zum Empfangen des abgestrahlten Signals und eine Auswertungseinrichtung zum Anpassen der Parameter eines Signalmodells an das empfangene Signal auf, wobei die Auswertungseinrichtung zum Ausführen des vorstehend erläuterten variablen iterativen Optimierungsverfahrens betreibbar ist.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, insbesondere Mobilfunksignals, bei dem ein mindestens in einem Abstrahlbereich abgestrahltes Signal in mindestens einem Empfangsbereich empfangen wird und Werte von Parametern eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signaimodells geschätzten Signals an das empfangene Signal in einer Folge von Iterationsschritten optimiert werden, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Ergebnis der iterativen Optimierung nach jedem Iterationsschritt bewertet und in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Bewertung festgelegt wird, ob
  - a) die iterative Optimierung abgebrochen oder
  - b1) für den nächsten Iterationsschritt mindestens ein neuer Parameter des Signalmodells berücksichtigt und/oder
  - b2) mindestens ein Parameter des Signalmodells beim nächsten Iterationsschritt ignoriert wird oder
  - b3) der nächste Iterationsschritt ohne Änderung der berücksichtigten Parameter durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens ein in einem Iterationsschritt ignoriertes Parameter in einem späten Iterationsschritt wieder berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werte der Parameter in jedem Iterationsschritt zur Anpassung des geschätzten Signals an das gemessene Signal schrittweise variiert werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens ein Parameterwert in mindestens einem Iterationsschritt nur in einem vorgegebenen Teilbereich eines möglichen Wertebereichs für diesen Parameter variiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** für mindestens einen Parameterwert des Signalmodells die Schrittweite bei der Variation innerhalb mindestens eines Iterationsschrittes und/oder zwischen aufeinanderfolgenden Iterationsschritten variiert wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das gemessene Signal

nach dem vorgegebenen Signalmodell aus einer Mehrzahl von jeweils durch einen entsprechenden Parametersatz definierten Teilsignalen gebildet ist und die Optimierung der Anpassung in einer Folge von Teiliterationsschritten ausgeführt wird, in denen jeweils eine Optimierung der Anpassung der Werte für einen Parametersatz unter der Annahme konstanter Werte für die Parameter der übrigen Parametersätze erfolgt.

- 5
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** in einem Teiliterationsschritt ermittelte Parameterwerte eines Parametersatzes bei einem folgenden Teiliterationsschritt desselben Iterationsschrittes als konstante Werte für diesen Parametersatz angenommen werden und/oder mindestens ein in einem vorhergehenden Iterationsschritt ermittelter Parameterwert bei mindestens einem Teiliterationsschritt als konstanter Wert angenommen wird.
- 10
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Reihenfolge der Ausführung der Teiliterationsschritte eines Iterationsschrittes in Abhängigkeit von den in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Parameterwerten der Parametersätze bestimmt wird.
- 15
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Teiliterationsschritte in einem Iterationsschritt in einer der in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Amplituden der Teilsignale entsprechenden Reihenfolge beginnend mit dem die höchste/kleinste Amplitude aufweisenden Teilsignal ausgeführt werden.
- 20
10. Verfahren nach den Ansprüchen 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Bewertung in einem Iterationsschritt optimierte Werte der Parameter mindestens eines Parametersatzes mit den in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Werten für die Parameter desselben Satzes verglichen werden und bei einer oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegenden Änderung eines Parameterwertes in einem folgenden Iterationsschritt ein neuer Parametersatz des Signalmodells berücksichtigt wird.
- 25
11. Verfahren nach den Ansprüchen 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** in mindestens einem Teiliterationsschritt die Optimierung der Anpassung in einer Folge von Unteriterationsschritten ausgeführt wird, in denen jeweils eine Optimierung der Anpassung einer Teilmenge der Parameterwerte desselben Parametersatzes unter Annahme konstanter Werte für die übrigen Parameter dieses Parametersatzes erfolgt, insbesondere nach dem SAGE-Algorithmus.
- 30
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Parameter eines Parametersatzes einer physikalisch meßbaren Größe des entsprechenden Teilsignals, wie etwa einer Verzögerungszeit, einer Dopplerefrequenz oder einer Einfallrichtung zugeordnet ist, und die Unteriterationsschritte in der Reihenfolge der natürlichen Auflösungen der entsprechenden physikalischen Größe, beginnend mit dem der physikalischen Größe höchster natürlicher Auflösung entsprechenden Parameter ausgeführt werden.
- 35
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das gemessene Signal  $y(t)$  nach dem folgenden Signalmodell ggf. unter zusätzlicher Berücksichtigung weiterer Signaleigenschaften beschrieben wird:
- 40

45

$$y(t) = \sum_{\ell=1}^{\infty} y_{\ell}(t) = \sum_{\ell=1}^{\infty} s(t; \theta_{\ell}) + W_{\ell}(t)$$

$$= \sum_{\ell=1}^{\infty} \alpha_{\ell} \exp \{2\pi i v_{\ell} \cdot t\} c_2(\Omega_{2,\ell}) c_1(\Omega_{1,\ell}) \cdot u(t - \tau_{\ell}) + W_{\ell}(t)$$

50

wobei gilt:

$\alpha_{\ell}$  = komplexe Amplitude des Teilsignals  $\ell$

$v_{\ell}$  = Dopplerverschiebung des Teilsignals  $\ell$

$\Omega_{2,\ell}$  = Einfallrichtung des Teilsignals  $\ell$  in den Empfangsbereich

EP 1 361 715 A1

- $\Omega_{1,\ell} =$  Abstrahlrichtung des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich
- $\tau_\ell =$  Signallaufzeit des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich zum Empfangsbereich
- 5  $c_2 =$  Empfangscharakteristik des Empfangsbereichs
- $c_1 =$  Abstrahlcharakteristik des Abstrahlbereichs
- 10  $\theta_\ell = [\Omega_{1,\ell}, \Omega_{2,\ell}, \tau_\ell, v_\ell, \alpha_\ell]$
- $W_\ell =$  räumlich und zeitlich weißes Rauschen
- $u =$  abgestrahltes Testsignal

- 15 **14.** Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, insbesondere nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein in einem Abstrahlbereich abgestrahltes Signal in einem Empfangsbereich empfangen wird und Parameter eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal iterativ optimiert werden,  
 20 **dadurch gekennzeichnet, daß** der Anfangswert der iterativen Optimierung für mindestens einen Parameter des Signalmodells unter Verwendung des empfangenen Signals bestimmt wird.
- 25 **15.** Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anfangswerte für die einzelnen Parametersätze des Signalmodells nacheinander bestimmt werden, wobei bei der Bestimmung der Anfangswerte für mindestens einen Parametersatz das empfangene Signal und bereits zuvor bestimmte Anfangswerte mindestens eines anderen Parametersatzes berücksichtigt werden.
- 30 **16.** Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem die Anfangswerte für die Parameter eines Parametersatzes nacheinander unter Verwendung des empfangenen Signals und der zuvor bereits bestimmten Anfangswerte der Parameter dieses Parametersatzes bestimmt werden.
- 35 **17.** Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anfangswerte  $(\hat{\tau}_\ell(0); \hat{\Omega}_{2,\ell}(0); \hat{\Omega}_{1,\ell}(0); v_\ell(0); \alpha_\ell(0))$  für die Parametersätze  $(\tau_\ell, \Omega_{2,\ell}, \Omega_{1,\ell}, v_\ell, \alpha_\ell)$  der einzelnen Teilsignale  $y_\ell(t)$  wie folgt bestimmt werden:  
 Für  $\ell = 1, \dots, L$

$$y^{(\ell)}(t) = y(t) - \sum_{\ell'=1}^{\ell-1} s(t; \hat{\theta}_{\ell'}(0)) \tag{5}$$

$$\hat{\tau}_\ell(0) = \operatorname{argmax}_{\tau_\ell} \left\{ \sum_{i,n,m} \left| \int_0^{T_{\text{rec}}} u(t - \tau_\ell)^* \cdot y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 & (\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0)) \\
 & = \operatorname{argmax}_{(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})} \left\{ \sum_{i,m} \left| \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})^* \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0)) \\
 & = \operatorname{argmax}_{(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})} \left\{ \sum_i \left| \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})^* \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right|^2 \right\} \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \widehat{\nu}_\ell(0) = \operatorname{argmax}_{\nu_\ell} \left\{ \left| \sum_i \exp\{-j2\pi\nu_\ell t_{i,n,m}\} \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right\} \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \widehat{\alpha}_\ell(0) = \|\mathbf{c}_2(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))\| \|\mathbf{c}_1(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))\| [PT_{sc}]^{-1} \cdot \\
 & \quad \left\{ \sum_i \exp\{-j2\pi\widehat{\nu}_\ell(0)t_{i,n,m}\} \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right\}
 \end{aligned}$$

18. Vorrichtung zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit mindestens einer Abstrahleinrichtung zum Abstrahlen eines Signals, mindestens einer Empfangseinrichtung zum Empfangen des abgestrahlten Signals und einer Auswertungseinrichtung zum Anpassen der Werte der Parameter eines Signalmodells an das empfangene Signal.

19. Auswertungseinrichtung für eine Vorrichtung nach Anspruch 17.

20. Digitales Speichermedium, insbesondere Diskette oder CD-ROM, mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, die so mit einem programmierbaren Computersystem einer Abstrahleinrichtung und einer Empfangseinrichtung zusammenwirken können, daß ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17 ausgeführt wird.

21. Verwendung einer Vorrichtung nach Anspruch 18 zur Optimierung der Signalübertragungseigenschaften in mobilen und/oder fixen Installationen für Funkübertragungen.

5 **Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 86(2) EPÜ**

1. Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, insbesondere Mobilfunksignals, bei dem ein mindestens in einem Abstrahlbereich abgestrahltes Signal in mindestens einem Empfangsbereich empfangen wird und Werte von Parametern eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal in einer Folge von Iterationsschritten optimiert werden, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Ergebnis der iterativen Optimierung nach jedem Iterationsschritt bewertet und in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Bewertung festgelegt wird, ob

15 a) die iterative Optimierung abgebrochen oder

b1) für den nächsten Iterationsschritt mindestens ein neuer Parameter des Signalmodells berücksichtigt und/oder

20 b2) mindestens ein Parameter des Signalmodells beim nächsten Iterationsschritt ignoriert wird oder

b3) der nächste Iterationsschritt ohne Änderung der berücksichtigten Parameter durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens ein in einem Iterationsschritt ignoriertes Parameter in einem späten Iterationsschritt wieder berücksichtigt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werte der Parameter in jedem Iterationsschritt zur Anpassung des geschätzten Signals an das gemessene Signal schrittweise variiert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** mindestens ein Parameterwert in mindestens einem Iterationsschritt nur in einem vorgegebenen Teilbereich eines möglichen Wertebereichs für diesen Parameter variiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** für mindestens einen Parameterwert des Signalmodells die Schrittweite bei der Variation innerhalb mindestens eines Iterationsschrittes und/oder zwischen aufeinanderfolgenden Iterationsschritten variiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das gemessene Signal nach dem vorgegebenen Signalmodell aus einer Mehrzahl von jeweils durch einen entsprechenden Parametersatz definierten Teilsignalen gebildet ist und die Optimierung der Anpassung in einer Folge von Teiliterationsschritten ausgeführt wird, in denen jeweils eine Optimierung der Anpassung der Werte für einen Parametersatz unter der Annahme konstanter Werte für die Parameter der übrigen Parametersätze erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** in einem Teiliterationsschritt ermittelte Parameterwerte eines Parametersatzes bei einem folgenden Teiliterationsschritt desselben Iterationsschrittes als konstante Werte für diesen Parametersatz angenommen werden und/oder mindestens ein in einem vorhergehenden Iterationsschritt ermittelter Parameterwert bei mindestens einem Teiliterationsschritt als konstanter Wert angenommen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Reihenfolge der Ausführung der Teiliterationsschritte eines Iterationsschrittes in Abhängigkeit von den in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Parameterwerten der Parametersätze bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Teiliterationsschritte in einem Iterationsschritt in einer der in einem vorhergehenden Iterationsschritt optimierten Amplituden der Teilsignale entsprechenden Reihenfolge beginnend mit dem die höchste/kleinste Amplitude aufweisenden Teilsignal ausgeführt werden.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 6 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei der Bewertung in einem Iterationsschritt optimierte Werte der Parameter mindestens eines Parametersatzes mit den in einem vorhergehenden

## EP 1 361 715 A1

Iterationsschritt optimierten Werten für die Parameter desselben Satzes verglichen werden und bei einer oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegenden Änderung eines Parameterwertes in einem folgenden Iterationsschritt ein neuer Parametersatz des Signalmodells berücksichtigt wird.

5 **11.** Verfahren nach den Ansprüchen 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** in mindestens einem Teiliterationsschritt die Optimierung der Anpassung in einer Folge von Unteriterationsschritten ausgeführt wird, in denen jeweils eine Optimierung der Anpassung einer Teilmenge der Parameterwerte desselben Parametersatzes unter Annahme konstanter Werte für die übrigen Parameter dieses Parametersatzes erfolgt, insbesondere nach dem SAGE-Algorithmus.

10 **12.** Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Parameter eines Parametersatzes einer physikalisch meßbaren Größe des entsprechenden Teilsignals, wie etwa einer Verzögerungszeit, einer Dopplerefrequenz oder einer Einfallrichtung zugeordnet ist, und die Unteriterationsschritte in der Reihenfolge der natürlichen Auflösungen der entsprechenden physikalischen Größe, beginnend mit dem der physikalischen Größe höchster natürlicher Auflösung entsprechenden Parameter ausgeführt werden.

15 **13.** Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das gemessene Signal  $y(t)$  nach dem folgenden Signalmodell ggf. unter zusätzlicher Berücksichtigung weiterer Signaleigenschaften beschrieben wird:

20

$$y(t) = \sum_{\ell=1}^s y_{\ell}(t) = \sum_{\ell=1}^s s(t; \theta_{\ell}) + W_{\ell}(t)$$

$$= \sum_{\ell=1}^s \alpha_{\ell} \exp \{2\pi i v_{\ell} \cdot t\} c_2(\Omega_{2,\ell}) c_1(\Omega_{1,\ell}) \cdot u(t - \tau_{\ell}) + W_{\ell}(t)$$

25

30

wobei gilt:

35

$\alpha_{\ell}$  = komplexe Amplitude des Teilsignals  $\ell$

$v_{\ell}$  = Dopplerverschiebung des Teilsignals  $\ell$

$\Omega_{2,\ell}$  = Einfallrichtung des Teilsignals  $\ell$  in den Empfangsbereich

40

$\Omega_{1,\ell}$  = Abstrahlrichtung des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich

$\tau_{\ell}$  = Signallaufzeit des Teilsignals  $\ell$  vom Abstrahlbereich zum Empfangsbereich

$c_2$  = Empfangscharakteristik des Empfangsbereichs

45

$c_1$  = Abstrahlcharakteristik des Abstrahlbereichs

$\theta_{\ell}$  =  $[\Omega_{1,\ell}, \Omega_{2,\ell}, \tau_{\ell}, v_{\ell}, \alpha_{\ell}]$

50

$W_{\ell}$  = räumlich und zeitlich weißes Rauschen

$u$  = abgestrahltes Testsignal

55 **14.** Verfahren zum Bestimmen der Signalausbreitungseigenschaften eines drahtlos übertragbaren Signals, nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein in einem Abstrahlbereich abgestrahltes Signal in einem Empfangsbereich empfangen wird und

Parameter eines vorgegebenen Signalmodells zur Anpassung eines auf Grundlage des Signalmodells geschätzten Signals an das empfangene Signal iterativ optimiert werden,

**dadurch gekennzeichnet, daß** der Anfangswert der iterativen Optimierung für mindestens einen Parameter des Signalmodells unter Verwendung des empfangenen Signals bestimmt wird.

5 **15.** Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anfangswerte für die einzelnen Parametersätze des Signalmodells nacheinander bestimmt werden, wobei bei der Bestimmung der Anfangswerte für mindestens einen Parametersatz das empfangene Signal und bereits zuvor bestimmte Anfangswerte mindestens eines anderen Parametersatzes berücksichtigt werden.

10 **16.** Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, bei dem die Anfangswerte für die Parameter eines Parametersatzes nacheinander unter Verwendung des empfangenen Signals und der zuvor bereits bestimmten Anfangswerte der Parameter dieses Parametersatzes bestimmt werden.

15 **17.** Verfahren nach den Ansprüchen 14 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anfangswerte  $\hat{\tau}_\ell(0)$ ;  $\hat{\Omega}_{2,\ell}(0)$ ;  $\hat{\Omega}_{1,\ell}(0)$ ;  $\hat{\nu}_\ell(0)$ ;  $\hat{\alpha}_\ell(0)$  für die Parametersätze  $(\tau_\ell, \Omega_{2,\ell}, \Omega_{1,\ell}, \nu_\ell, \alpha_\ell)$  der einzelnen Teilsignale  $y_\ell(t)$  wie folgt bestimmt werden:

Für  $\ell = 1, \dots, L$

20 
$$y^{(\ell)}(t) = y(t) - \sum_{\ell'=1}^{\ell-1} s(t; \widehat{\theta}_{\ell'}(0)) \quad (5)$$

25 
$$\widehat{\tau}_\ell(0) = \operatorname{argmax}_{\tau_\ell} \left\{ \sum_{i,n,m} \left| \int_0^{T_{sc}} u(t - \tau_\ell)^* \cdot y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \quad (6)$$

35 
$$\begin{aligned} & (\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0)) \\ & = \operatorname{argmax}_{(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})} \left\{ \sum_{i,m} \left| \sum_n \tilde{c}_{2,m}(\phi_{2,\ell}, \theta_{2,\ell})^* \cdot \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right|^2 \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

45 
$$\begin{aligned} & (\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0)) \\ & = \operatorname{argmax}_{(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})} \left\{ \sum_i \left| \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\phi_{1,\ell}, \theta_{1,\ell})^* \cdot \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \int_0^{T_{sc}} u(t - \widehat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right|^2 \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

55

$$\hat{\nu}_\ell(0) = \operatorname{argmax}_{\nu_\ell} \left\{ \left| \sum_i \exp\{-j2\pi\nu_\ell t_{i,n,m}\} \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \hat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right| \right\} \quad (9)$$

$$\hat{\alpha}_\ell(0) = \|c_2(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))\| \|c_1(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))\| |IPT_{sc}|^{-1} \cdot \\ \left\{ \sum_i \exp\{-j2\pi\hat{\nu}_\ell(0)t_{i,n,m}\} \left[ \sum_m \tilde{c}_{1,m}(\widehat{\phi}_{1,\ell}(0), \widehat{\theta}_{1,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \left( \sum_n \tilde{c}_{2,n}(\widehat{\phi}_{2,\ell}(0), \widehat{\theta}_{2,\ell}(0))^* \cdot \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \int_0^{T_{sc}} u(t - \hat{\tau}_\ell(0))^* y^{(\ell)}(t + t_{i,n,m}) dt \right) \right] \right\}$$

18. Digitales Speichermedium, insbesondere Diskette oder CD-ROM, mit elektronisch auslesbaren Steuersignalen, die so mit einem programmierbaren Computersystem einer Abstrahleinrichtung und einer Empfangseinrichtung zusammenwirken können, daß ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17 ausgeführt wird.



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 02 00 9360

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	WO 00 76160 A (FRANCE TELECOM) 14. Dezember 2000 (2000-12-14)	1	H04L25/02 H04B7/005
X	* Seite 32, Zeile 21 - Seite 33, Zeile 17; Abbildung 2 *	14,18, 19,21	
A	--- FLEURY B H ET AL: "CHANNEL PARAMETER ESTIMATION IN MOBILE RADIO ENVIRONMENTS USING THE SAGE ALGORITHM" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 17, Nr. 3, März 1999 (1999-03), Seiten 434-449, XP000804973 ISSN: 0733-8716 * Seite 438, linke Spalte, Zeile 3 - Seite 439, linke Spalte, Zeile 7 *	1	
A	--- KOCIAN A ET AL: "ITERATIVE JOINT SYMBOL DETECTION AND CHANNEL ESTIMATION FOR DS/CDMA VIA THE SAGE ALGORITHM" IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PERSONAL, INDOOR AND MOBILE RADIO COMMUNICATIONS, XX, XX, Bd. 2, 18. September 2000 (2000-09-18), Seiten 1410-1414, XP002902206 * Absatz [3.B.]; Abbildung 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) H04L H04B
A,D	--- FLEURY B H ET AL: "Wideband angle of arrival estimation using the SAGE algorithm" 1996 IEEE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPREAD SPECTRUM TECHNIQUES, Bd. 1, 22. - 25. September 1996, Seiten 79-85, XP002217773 Mainz, DE * Absatz [000D]; Abbildung 1 *	1	
--- -/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>MÜNCHEN</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>23. Oktober 2002</b>	Prüfer <b>Burghardt, G</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ----- & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04/C03)



Europäisches  
Patentamt

**EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT**

Nummer der Anmeldung  
EP 02 00 9360

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A,D	FLEURY B H ET AL: "High-resolution channel parameter estimation for MIMO applications using the SAGE algorithm" 2002 INTERNATIONAL ZURICH SEMINAR ON BROADBAND COMMUNICATIONS ACCESS - TRANSMISSION - NETWORKING, 19. - 21. Februar 2002, Seiten 30-39, XP002217774 * Absatz [001V] * -----	1	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
MÜNCHEN	23. Oktober 2002	Burghardt, G	
KATEGORIE DER GENANNTE DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 82 (P04003)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 00 9360

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

23-10-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0076160 A	14-12-2000	FR 2794589 A1	08-12-2000
		EP 1180289 A1	20-02-2002
		WO 0076160 A1	14-12-2000
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82