

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. November 2005 (03.11.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/103751 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01S 3/74**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/004331

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. April 2005 (22.04.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 020 276.1 26. April 2004 (26.04.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROHDE & SCHWARZ GMBH & CO. KG**
[DE/DE]; Mühlendorfstr. 15, 81671 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DEMMELE, Franz**
[DE/DE]; Hans-Fallada-Str. 16, 85716 Unterschleißheim (DE).

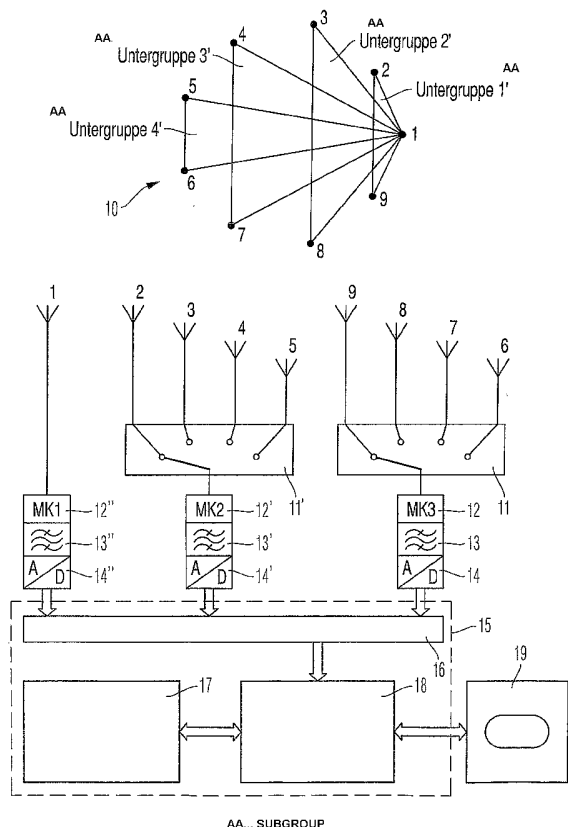
(74) Anwalt: **KÖRFER, Thomas**; Mitscherlich & Partner,
Sonnenstrasse 33, Postfach 33 06 09, 80066 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR THE RADIO DETERMINATION OF A NUMBER OF SPECTRALLY OVERLAPPING RADIO STATIONS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR FUNKPEILUNG MEHRERER SPEKTRAL ÜBERLAPPENDER FUNKSTATIONEN



(57) Abstract: The invention relates to a device for the simultaneous radio determination of N locally distributed radio stations comprised of M locally distributed antennas (1 - 9) assigned to P antenna subgroups (1' - 4') each having up to H antennas. The amplitude values of an overall wave, which is formed from the individual waves emitted by the radio stations, are respectively measured by each antenna (1 - 9) of an antenna subgroup (1' - 4'). For each antenna subgroup (1' - 4'), rotation angle-dependent search functions are, by means of a single numerical algorithm, developed from the amplitude values and from rotation angle-dependent direction vectors, which are respectively determined for each antenna of an antenna subgroup (1' - 4'). An overall search function associated with all M antennas (1 - 9) is determined from each search function associated with the respective antenna subgroup (1' - 4'). The rotation angles ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{\langle SB \rangle N}$) associated with the maxima of the overall search function represent the N determination values ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_{\langle SB \rangle N}$) of the N radio stations.

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung von N örtlich verteilten Funkstationen besteht aus M örtlich verteilte Antennen (1-9), die P Antennen-Untergruppen (1' - 4') mit jeweils bis zu H Antennen zugeordnet sind. Die Amplitudenwerte einer Gesamtwelle, die sich aus den von den Funkstationen ausgestrahlten Einzelwellen bildet, werden jeweils von jeder Antenne (1-9) einer Antennen Untergruppe (1' - 4') gemessen. Aus diesen Amplitudenwerten und aus drehwinkelabhängigen Richtungsvektoren,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/103751 A1



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

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

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

die jeweils für jede Antenne einer Antennen-Untergruppe (1' -4') ermittelt werden, werden für jede Antennen-Untergruppe (1' -4') über einen numerischen Algorithmus drehwinkelabhängige Suchfunktionen entwickelt. Aus jeder zur jeweiligen Antennen-Untergruppe (1' -4') gehörigen Suchfunktion wird eine zu allen M Antennen (1-9) gehörige Gesamt-Suchfunktion ermittelt. Die zu den Maxima der Gesamt-Suchfunktion gehörigen Drehwinkel ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$) stellen die N Peilwerte ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$) der N Funkstationen dar.

**Verfahren und Vorrichtung zur Funkpeilung mehrerer
spektral überlappender Funkstationen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung
5 zur Funkpeilung mehrerer spektral überlappender Funk-
stationen über mehrere örtlich verteilte Antennen.

Die meisten üblichen Funkpeilungs-Systeme sind lediglich
für die Richtungsbestimmung einer einzigen Funkstation pro
10 Frequenzkanal geeignet. Bei mehreren örtlich verteilten
Funkstationen überlagern sich die von den einzelnen
Funkstationen ausgestrahlten Einzelwellen zu einer
Gesamtwellen, aus der derartige Funkpeilungs-Systeme die
Richtungen der einzelnen Funkstationen nicht mehr
15 eindeutig ermitteln können. In diesem Fall kann von einem
derartigen Funkpeilungs-System aus der empfangenen
Gesamtwellen nur die Richtung der Funkstation mit dem
höchsten Pegel ermittelt werden, welche im allgemeinen
auch noch fehlerbehaftet ist.

20

Die Problemstellung ist dadurch gekennzeichnet, dass das
von den einzelnen Funkstationen ausgestrahlte Signal
hinsichtlich seines grundsätzlichen Aufbaus - beispiels-
weise schmalbandige Bodenwellen - bekannt, hinsichtlich
25 bestimmter Parameter - beispielsweise Frequenzen der
ausgestrahlten Signale oder Einfallsrichtung der
ausgestrahlten Signale -, welche als konstant angenommen
werden können, aber unbekannt ist. Für derartige Schätz-
Problematiken, insbesondere für die Schätzung der Ein-
30 fallsrichtungen mehrerer von örtlich verteilten Funksta-
tionen ausgestrahlter Signale mit hoher Auflösung, wurden
in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Verfahren entwick-
elt.

35 Gemeinsam ist allen diesen Verfahren, dass von mehreren
örtlich verteilten Antennen über mehrere Zeitpunkte die
komplexwertigen Amplitudenwerte der empfangenen Gesamt-
wellen gemessen werden, aus den zeitlich verteilten
Amplitudenwerte Korrelationsmatrizen berechnet werden und

in Kombination mit einem durch Rechnung oder Messung bekannten sogenannten Richtungsvektor, der für jede Antenne die jeweilige Phasendifferenz der empfangenen ebenen Welle zur von einer Bezugsantenne empfangenen Welle in der Einfallrichtung der empfangenen Gesamtwelle beschreibt, unter Ausnutzung eines Optimierungskriteriums eine vom Drehwinkel - und damit von der Richtung - abhängige Suchfunktion ermittelt wird, deren Extrema Lösungen für die Richtungen der gesuchten Funkstationen darstellen.

Zu den wesentlichen Schätz-Verfahren zählen der auf einer Eigenwert-Zerlegung der Korrelationsmatrix aufbauende MUSIC-Algorithmus (Multiple-Signal-Classification-Algorithmus, Ralph O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP34, No. 3, Seiten 276-280, März 1986), der gegenüber dem MUSIC-Algorithmus weniger rechenintensive ESPRIT-Algorithmus (Estimation-of-Signal-Parameters-via-Rotational-Invariance-Techniques-Algorithmus, Richard Ray, Thomas Kailath, "ESPRIT - Estimation of Signal Parameters Via Rotational Invariance Techniques, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 37, No. 7, Seiten 984-995, Juli 1989), der auf der Minimierung der Euklidschen-Norm basierende Minimum-Norm-Algorithmus, der Maximum-Likelihood-Algorithmus und der Maximum-Entropie-Algorithmus.

Die über diese Schätz-Verfahren erzeugten Suchfunktionen weisen für beliebige Antennengruppen i.a. eine Vielzahl von Extrema - meistens Maxima - auf, deren Anzahl größer als die Anzahl der gesuchten Richtungen - Peilwerte - der Funkstationen ist. Diese unerwünschten Mehrdeutigkeiten können eliminiert werden, indem die Anzahl der verwendeten Antennen erhöht und gleichzeitig deren Abstand zueinander minimiert wird. Auf diese Weise werden die Mehrdeutigkeiten bildenden, überschüssigen Extrema unterdrückt und bilden im Idealfall eine Suchfunktion, die genau so viele

Extrema aufweist, wie anzupeilende Funkstationen existieren. Mit der Unterdrückung der überschüssigen Extrema in der Suchfunktion erhöht sich gleichzeitig die Auflösung der Richtungsbestimmung der gesuchten Funkstationen.

Im praktischen Einsatz stellt eine Vielzahl von Antennen und damit einhergehend eine Vielzahl an Meßkanälen sowie ein hoher Bedarf an Verarbeitungsleistung zur Bestimmung der Peilwerte der gesuchten Funkstationen sehr schnell eine Beschränkung dar.

Eine Möglichkeit, die Vielzahl an Antennen bei gleich hoher Auflösung der Richtungsbestimmung zu reduzieren, ist in der Einführung von Antennen-Untergruppen zu sehen. Durch geschickte Wahl der Anzahl an Antennen je Antennen-Untergruppen und deren optimierte geometrische Positionierung kann hierbei eine Einsparung an Antennen und somit auch an Messkanälen erzielt werden. Die minimale Anzahl an Antennen je Antennen-Untergruppen liegt, wie weiter unten noch im Detail gezeigt wird, bei drei Antennen.

Aus der DE 44 07 716 A1 ist eine Vorrichtung zur Richtungsbestimmung überlagerten Gesamtwelle mittels obig benannter Schätz-Verfahren auf der Basis von in Antennen-Untergruppen angeordneten Antennen bekannt. Aus dieser Druckschrift kann entnommen werden, dass die einzelnen Antennen innerhalb der Antennen-Untergruppen jeweils einen Maximalabstand aufweisen müssen, der kleiner als die halbe Wellenlänge des ausgestrahlten Signals ist. Auf diese Weise wird erreicht, daß die von zwei benachbarten Antennen empfangenen Phasen der Gesamtwelle bei jedem beliebigen Einfallswinkel der Gesamtwelle sich nicht gegenseitig aufheben und somit jederzeit Eindeutigkeit in der Ermittlung der Einfallsrichtung der Gesamtwelle besteht.

Die Einführung von Antennen-Untergruppen mit einer gegenüber der Gesamtanzahl von Antennen reduzierten Antennen-

anzahl je Antennen-Untergruppe führt, wie oben ausgeführt ist, zur Bildung von Mehrdeutigkeiten in der zur jeweiligen Antennen-Untergruppe gehörigen Suchfunktion. Auch ein Vergleich der zu den einzelnen Antennen-Untergruppen
5 gehörigen Suchfunktionen hinsichtlich bei identischen Drehwinkeln auftretender Extrema im Hinblick auf eine Bildung einer alle Antennen umfassende Gesamtsuchfunktion, die keine Mehrdeutigkeiten in den Extrema mehr aufweist, ist nicht realisierbar, wie im folgenden gezeigt wird.

10

Die Antennen sind in den einzelnen Antennen-Untergruppen der DE 44 07 716 A1 linear angeordnet. In linearen Antennen-Untergruppen angeordnete Antennen führen aber zu linear abhängigen Richtungsvektoren der einzelnen Antennen-
15 Untergruppen. Werden die zu den einzelnen Antennen-Untergruppen gehörigen, linear abhängigen Richtungsvektoren für die Bildung der alle Antennen umfassenden Gesamtfunktion herangezogen, so ergibt sich aufgrund der linearen Abhängigkeit der Richtungsvektoren nachteilig
20 eine Suchfunktion mit Mehrdeutigkeiten in den Extrema.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein dazu passendes Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung von mehreren örtlich verteilten
25 Funkstationen über mehrere örtlich verteilte Antennen zu schaffen, um mit einer minimalen Anzahl von Antennen und Meßkanälen höchste Auflösung ohne Mehrdeutigkeiten in der Richtungsbestimmung der Funkstationen zu erzielen.

30 Die Erfindung wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach Anspruch 9 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweils abhängigen Ansprüchen angegeben.

35 Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 9 handelt es sich um eine Anordnung von Antennen, die auf mehrere Antennen-Untergruppen aufgeteilt sind. Unter der Voraussetzung, daß mit der Antennenanordnung in einer ersten Vereinfachung nur eine eindimensionale Richtungs-

bestimmung - entweder der Azimuth oder die Elevation der einfallenden Gesamtwelle - durchgeführt wird, sind die Antennen in Antennen-Untergruppen mit jeweils mindestens drei Antennen anzuordnen. Mit minimal drei Antennen je
5 Antennen-Untergruppe kann aus einem Empfangssignal, welches mit Rauschen überlagert ist, jeder beliebige Einfallswinkel einer oder zweier anzupeilender Funkstationen ermittelt werden. Im Hinblick auf eine erhöhte Auflösung in der Richtungsbestimmung sind zusätzliche Antennen in die einzelnen Antennen-Untergruppen zu integrieren.
10

Im Hinblick auf eine eindeutige Bestimmung der einzelnen zu den anzupeilenden Funkstationen gehörigen Peilwerte
15 sind in der erfindungsgemäßen Vorrichtung Antennen-Untergruppen zu verwenden, mit denen Mehrdeutigkeiten in der zu allen Antennen gehörigen Gesamtsuchfunktion - Anzahl der Extrema der Gesamtsuchfunktion größer Anzahl der Peilwerte der gesuchten Funkstationen - vermieden
20 werden können. Hierzu sind die Antennen in den einzelnen Antennen-Untergruppen jeweils derart anzuordnen, daß die zu den einzelnen Antennen-Untergruppen gehörigen Richtungsvektoren zueinander linear unabhängig sind. Lineare Unabhängigkeit der Richtungsvektoren der einzelnen Antennen-Untergruppen bedingt, daß die einzelnen Richtungsvektoren nicht die gleiche Richtung aufweisen dürfen. Es
25 sind folglich Antennen-Untergruppen zu vermeiden, die jeweils linear angeordnete Antennen aufweisen, deren Richtungsvektoren durch eine Parallelverschiebung auf
30 einer gemeinsamen Gerade zu liegen kommen.

Werden die einzelnen Antennen-Untergruppen mit ihren jeweils zugeordneten Antennen derart ausgelegt, ist eine von Mehrdeutigkeiten befreite Gesamt-Suchfunktion gewährleistet.
35 leistet. Der in der Vorrichtung der DE 44 07 716 A1 offenbarte maximal zulässige Abstand zweier Antennen innerhalb einer Antennen-Untergruppe in der Größenordnung kleiner der halben Wellenlänge der empfangenen Gesamtwelle ist im Hinblick auf die Vermeidung von Mehrdeutigkeiten in

der Gesamt-Suchfunktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung somit kein zwingendes Kriterium mehr. Einzig im Hinblick auf eine erhöhte Auflösung sind die Abstände der Antennen zu minimieren bzw. die Anzahl der Antennen je Antennen-
5 Untergruppe zu optimieren.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist weiterhin durch einen gegenüber dem Stand der Technik minimierten Hardware-Aufwand gekennzeichnet. Hierzu ist nicht mehr für jede
10 einzelne Antenne ein Meßkanal vorgesehen. Vielmehr ist die Anzahl der Meßkanäle auf die maximale Anzahl von Antennen je Antennen-Untergruppe beschränkt. Die einzelne Antennen-Untergruppe wird jeweils mit ihren zugehörigen Antennen über eine Schaltungsvorrichtung zyklisch auf die reduzierte
15 Anzahl von Meßkanälen weitergeschaltet. Auf diese Weise werden die von jeder Antennen-Untergruppe über deren Antennen empfangenen Amplitudenwerte der Gesamtwelle zyklisch einer Verarbeitungs-Einheit zur Bestimmung der einzelnen Peilwerte der anzupeilenden Funkstationen unter
20 Minimierung der Hardware zugeführt.

Das in der Verarbeitungs-Einheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung implementierte erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1 ermittelt getrennt für jede Antennen-Unter-
25 gruppe mittels eines numerischen Algorithmus eine vom Drehwinkel abhängige Suchfunktion. Hierzu werden die von den einzelnen Antennen der jeweiligen Antennen-Untergruppe zu verschiedenen Zeitpunkten empfangenen Amplitudenwerte der Gesamtwelle zu einer Meßmatrix X_i kombiniert, aus der
30 durch Multiplikation mit der transjugierten Meßmatrix X_i^* eine Korrelationsmatrix ermittelt wird. Bei Anwendung beispielsweise des MUSIC-Algorithmuses wird über eine Eigenwertzerlegung der Korrelationsmatrix über die zu den Rausch-Eigenwerten gehörigen Rausch-Eigenvektoren, wie
35 weiter unten noch detaillierter dargestellt, und den je Antennen-Untergruppe abgespeicherten Richtungsvektoren, welche vorab im Rahmen eines Kalibriervorgangs ermittelt werden, die zur jeweiligen Antennen-Untergruppe gehörige Suchfunktion berechnet.

Diese Suchfunktion weist aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl an Antennen je Antennenuntergruppe noch Mehrdeutigkeiten auf. Zur Eliminierung der Mehrdeutigkeiten werden erfindungsgemäß alle zu den einzelnen Antennen-Untergruppen berechneten Suchfunktionen über eine Mittelwertbildung multiplikativ verknüpft. Die auf diese Weise gewonnene Gesamt-Suchfunktion, die alle Antennen berücksichtigt, weist aufgrund der linear unabhängigen Richtungsvektoren der einzelnen Antennen-Untergruppen keine Mehrdeutigkeiten auf. Außerdem werden vorzugsweise mit einem einheitlichen Schwellwert die Extrema der Gesamt-Suchfunktion identifiziert. Das Verfahren nach dem Stand der Technik verwendet in den einzelnen Suchfunktionen u.U. unterschiedliche Schwellwerte, mit denen u.U. die falschen Mehrdeutigkeiten in den einzelnen Suchfunktionen beseitigt werden.

Um eine für Amplitudenwerte über mehrere Dekaden sinnvolle logarithmische Darstellung der Suchfunktion zu benutzen, sind die logarithmierten Suchfunktionen der einzelnen Antennen-Untergruppen anstelle einer multiplikativen Verknüpfung bei linearer Darstellung additiv zu verknüpfen.

Neben dem weit verbreiteten MUSIC-Algorithmus als numerisches Schätzverfahren zur Richtungsbestimmung überlagerter Wellen, siehe z.B. auch DE 101 57 109 A1, können alternativ auch andere numerische Schätz-Verfahren wie beispielsweise der Maximum-Likelihood-Algorithmus nach Capon (Capon, "High-resolution frequency-wave number spectrum analysis", Proceedings IEEE, Vol. 57, Seiten 1408-1418, 1969) oder der Maximum-Entropy-Algorithmus nach Burg Anwendung finden. Jedes dieser Verfahren weist spezifische Vor- und Nachteile auf.

35

Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen wird

nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen
5 Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung
mehrerer örtlich verteilter Funkstationen,
- Fig. 2 ein Flußdiagramm eines erfindungsgemäßen
Verfahrens zur gleichzeitigen Funkpeilung
10 mehrerer örtlich verteilter Funkstationen,
- Fig. 3 eine grafische Darstellung der Gesamt-
Suchfunktion und
- 15 Fig. 4 eine grafische Darstellung der zu den vier
Antennen-Untergruppen gehörigen Suchfunktionen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur gleichzeitigen
Funkpeilung mehrerer - im allgemeinen Fall insgesamt N -
20 örtlich verteilter Funkstationen, welche beispielhaft in
Fig. 1 dargestellt ist, besteht aus einer flächigen
Anordnung 10 von Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9.
Diese Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 sind in Fig. 1
beispielhaft in eine Antennen-Untergruppe 1', bestehend
25 aus den Antennen 1, 2 und 9, einer Antennen-Untergruppe 2',
bestehend aus den Antennen 1, 3 und 8, einer Antennen-
Untergruppe 3', bestehend aus den Antennen 1, 4 und 7, und
einer Antennen-Untergruppe 4', bestehend aus den Antennen
1, 5 und 6, aufgeteilt.

30

Erfindungsgemäß kann die flächige Anordnung 10 an Antennen
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 auch aus einer Antennen-
Anzahl M größer neun, einer Anzahl P an Antennen-
Untergruppen größer vier und einer Anzahl H an Antennen je
35 Antennen-Untergruppe 1', 2', 3' und 4' größer vier
zusammengesetzt sein. Generell muß, wie weiter oben schon
ausgeführt ist, die Anzahl P an Antennen je Antennen-
Untergruppe 1', 2', 3' und 4' auf minimal drei begrenzt
sein. Auch können eine oder mehrere Antennen, wie

beispielsweise in Fig. 1 die Antenne 1, mehreren Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' zugeordnet sein.

Für die geometrische Anordnung 10 der einzelnen Antennen
5 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 innerhalb der zugehörigen Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' wie auch für die geometrische Anordnung der einzelnen Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' zueinander gibt es erfindungs- und verfahrensbedingt nur eine einzige Ausnahme. Wie weiter
10 unten noch aufgezeigt wird, dürfen keine der Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' Antennen-Strukturen mit zueinander parallelen Richtungsvektoren aufweisen. Eine Begrenzung des Abstands der einzelnen Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 zueinander auf einen Wert, der kleiner
15 als die halbe Wellenlänge der von den einzelnen in Fig. 1 nicht dargestellten Funkstationen ausgestrahlten Wellen ist, wie im Falle der Vorrichtung des Stands der Technik, ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter
20 Funkstationen nicht mehr gegeben.

Die von den einzelnen Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 erfaßten Amplitudenwerte der empfangenen Gesamtwelle, die sich aus der Überlagerung der von jeder einzelnen
25 örtlich verteilten Funkstation ausgestrahlten Welle ergibt, werden mehreren Schaltvorrichtungen 11 und 11' zugeführt. Die Anzahl H der Schaltvorrichtungen 11 und 11' entspricht der maximalen Anzahl H von Antennen in jeder der Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4'. In der in Fig.
30 1 beispielhaft dargestellten Anordnung 10 der Antennen mit jeweils drei Antennen je Antennen-Untergruppe 1', 2', 3' und 4' müssten demnach insgesamt drei Schaltvorrichtungen 11, 11' und 11'' vorgesehen sein. Über die Schaltvorrichtungen 11 und 11' werden im Takt der
35 Abtastrate die empfangenen Amplitudenwerte der zu einer Antennen-Untergruppe 1', 2', 3' und 4' jeweils gehörigen Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 taktsynchron und gleichzeitig an den Ausgang der jeweiligen Schaltvorrichtung 11, 11' und 11'' durchgeschaltet. Da die

Antenne 1 aber in der beispielhaften Anordnung 10 in jeder der vier Antennen-Untergruppe 1', 2', 3' und 4' enthalten ist und somit deren empfangener Pegelwert zu jedem Taktzyklus weitergeschaltet werden muß, entfällt die
5 dritte Schaltvorrichtung 11'' und der Pegelwert der Antenne 1 wird direkt weitergeschaltet.

Die Ausgänge der einzelnen Schaltvorrichtungen 11 und 11' sowie der Antenne 1 werden mit zugeordneten Meßkanälen
10 (MK1, MK2, MK3) 12, 12' und 12'' verbunden. Die Anzahl H der Meßkanäle 12, 12' und 12'' entspricht der maximalen Anzahl H von Antennen je Antennen-Untergruppe 1', 2', 3' und 4'. Die den einzelnen Meßkanälen 12, 12' und 12'' der erfindungsgemäßen Vorrichtung zugeführten Amplituden-
15 werte der von den einzelnen Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 empfangenen Gesamtwelle werden in zugeordneten Bandpaß-Filtern 13, 13' und 13'' gefiltert und über zugeordnete Analog-Digital-Wandler 14, 14' und 14'' in ein digitales Datenformat gewandelt, das den Real- und
20 Imaginärteil der Amplitudenwerte geeignet darstellt.

Die digital gewandelten Amplitudenwerte der Gesamtwelle, die von den einzelnen Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 empfangen und den insgesamt H Meßkanälen 12, 12' und
25 12'' zugeführt werden, werden innerhalb einer Verarbeitungseinheit 15 von einer Binär-Eingabe-Einheit 16 eingelesen. Die Verarbeitungs-Einheit 15 enthält zusätzlich eine Speicher-Einheit 17, in der einerseits die aus den einzelnen empfangenen Amplitudenwerte gebildeten
30 Meßmatrizen X_i und andererseits die zu den einzelnen Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' gehörigen Richtungsvektoren $a_i(\Theta)$ abgespeichert sind. Aus den einzelnen Meßmatrizen X_i und den einzelnen Richtungsvektoren $a_i(\Theta)$ werden von einer der
35 Verarbeitungs-Einheit 15 angehörenden Prozessor-Einheit 18 für jede der P Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' die zugehörigen Suchfunktionen $P_i(\Theta)$, die Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ und die gesuchten Peilwerte $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$ der anzupeilenden N Funkstationen bestimmt.

In einer an die Verarbeitungs-Einheit 15 angeschlossenen Anzeige-Einrichtung 19 werden die zu den P Antennen-Untergruppen 1', 2', 3' und 4' gehörenden Suchfunktionen $P_i(\Theta)$, die Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ und die gesuchten Peilwerte $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$ der anzupeilenden N Funkstationen grafisch dargestellt.

Bevor auf das erfindungsgemäße Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen in Fig. 2 näher eingegangen wird, werden die mathematischen Grundlagen der gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer einfallender Wellen im folgenden hergeleitet:

Für eine Anordnung von M örtlich verteilten Antennen, beispielweise die Anordnung 10 von Antennen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 in Fig. 1, wird beispielsweise Antenne 1 zur Bezugsantenne definiert. In einem an der Position der Bezugsantenne festgelegten Koordinatensystem weisen die übrigen M-1 Antenne eine durch die jeweiligen Koordinaten x_i und y_i im Koordinatensystem beschriebene Position auf. Unter der Annahme, daß die Entfernung einer k-ten Funkstation zu jeder der Antennen in Relation zu den relativen Abständen der einzelnen Antennen zueinander vergleichsweise groß ist, kann angenommen werden, daß der Einfallswinkel Θ_k der von der k-ten Funkstation ausgestrahlten Welle bei allen Antennen der Anordnung der gleiche ist und von der positiven x-Achse des in der Bezugsantenne festgelegten Koordinatensystems im Uhrzeigersinn gemessen wird.

Für die Entfernung d_{ik} einer Antenne i zum Koordinatensystem-Ursprung entlang des Welleneinfallswinkels Θ_k gilt die Beziehung in Gleichung (1):

35

$$d_{ik} = x_i * \cos\Theta_k + y_i * \sin\Theta_k \quad (1)$$

Für die Entfernung d_{1k} der Bezugsantenne zum Koordinatensystem-Ursprung gilt demnach $d_{1k}=0$.

Die Phasendifferenz $\Delta\phi_{ik}$ zwischen der von Antenne i empfangenen Gesamtwelle und der von Bezugsantenne 1 empfangenen Gesamtwelle ergibt sich bei einem Einfallswinkel Θ_k der Gesamtwelle und bei komplexer Schreibweise aus Gleichung (2):

$$\Delta\phi_{ik} = \exp(-j*2*\pi*d_{ik}/\lambda) \quad (2)$$

Unter der Voraussetzung einer drehwinkelunabhängigen Richtcharakteristik jeder Antenne ergibt sich aus den Phasendifferenzen $\Delta\phi_{ik}$ jeder Antenne der Antennen-Anordnung der Richtungsvektor $\underline{a}(\Theta_k)$ gemäß Gleichung (3):

$$\begin{aligned} \underline{a}(\Theta_k) &= (1, a_2(\Theta_k), \dots, a_M(\Theta_k)) = \\ &= (\Delta\phi_{1k}, \Delta\phi_{2k}, \dots, \Delta\phi_{Mk}) \end{aligned} \quad (3)$$

Werden im folgenden insgesamt N örtlich verteilte Funkstationen angenommen und kann die von der k-ten Funkstation ausgestrahlte Welle durch die Zeitfunktion $f_k(t)$ beschrieben werden, so ergibt sich für den Empfangsvektor $\underline{x}(t)$ der durch jede der insgesamt M Antennen der Antennen-Anordnung empfangenen Gesamtwelle gemäß Gleichung (4) folgender Zusammenhang:

$$\begin{aligned} \underline{x}(t) &= (x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)) = \\ &= \sum_{k=1}^N f_k(t) * \underline{a}(\Theta_k) + \underline{n}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

Im Vektor $\underline{n}(t)$ sind alle Rauschsignale $n_i(t)$ enthalten, die den Amplitudenwerten der von jeder Antenne i der Antennen-Anordnung empfangenen Gesamtwelle überlagert ist.

Da das Gleichungssystem in (4) stark nicht-linearen Charakter aufweist, ist die Bestimmung des Peilvektors $\underline{\Theta} = (\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_k, \dots, \Theta_N)$ auf analytischem Weg nicht möglich. Einzig gangbar ist eine numerische Herangehensweise, bei der auf der Basis eines Optimierungskriteriums eine

Suchfunktion bestimmt wird, deren Extrema zum gesuchten Peilvektor $\underline{\Theta}$ führen.

5 Erschwerend kommt hinzu, daß durch die Wahl der Anzahl von Antennen und insbesondere deren geometrische Position in Relation zur Anzahl der Funkstationen und insbesondere deren geometrische Positionen die räumliche Abtastung durch die Antennen-Anordnung in zweifacher Hinsicht problematisch wird.

10 Erstens führt die jeweilige geometrische Antennen-Anordnung bei bestimmten Einfallswinkeln Θ_k und Θ_l der Funkstationen gemäß Gleichung (5) zu identischen bzw. näherungsweise identischen Richtungsvektoren $\underline{a}(\Theta)$.

15

$$\underline{a}(\Theta_k) \approx \underline{a}(\Theta_l) \quad (5)$$

Diese identischen bzw. näherungsweise identischen Richtungsvektoren $\underline{a}(\Theta)$ bilden unerwünschte Mehrdeutigkeiten in
20 der Suchfunktion, welche bei der Bestimmung des Peilvektors $\underline{\Theta}$ hinderlich sind.

Zweitens führt die Überlagerung von Rauschen zum Empfangssignal der Antennen-Anordnung insbesondere bei nahe beieinander liegenden Einfallswinkeln Θ_k und Θ_{k+1} zweier Funkstationen k und $k+1$ zu fehlender Eindeutigkeit bei der
25 getrennten Identifizierung der beiden Peilwerte Θ_k und Θ_{k+1} .

30 Während weitere Problematik algorithmisch im Rahmen der Bestimmung der Suchfunktion gelöst wird, wie weiter unten noch im Detail gezeigt wird, läßt sich das erstere Problem durch geeignete Konstruktion der Antennen-Anordnung lösen.

35 Hierzu sind nach Kah-Chye Tan et al.: "A Study of the Rank-Ambiguity Issues in Direction-of-Arrival Estimation", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 44, No. 4, April 1996, Seite 880 - 887, Antennen-Anordnungen zu konstruieren, deren Richtungsvektoren $\underline{a}(\Theta_k)$ für alle

möglichen Einfallswinkel Θ_k - $-\pi < \Theta_k < \pi$ - zueinander linear unabhängige Vektoren bilden. Da die lineare Unabhängigkeit der Richtungsvektoren $\mathbf{a}(\Theta_k)$ für alle möglichen Einfallswinkel Θ_k bei einer Vielzahl von Antennen in der

5 realen Praxis eine extrem hohe technische Herausforderung darstellt, wird dieses Konstruktionsproblem erfindungsgemäß dadurch deutlich vereinfacht, indem die Anordnung aller Antennen in mehrere Antennen-Untergruppen zerlegt wird. Durch Anwendung der obigen Konstruktionsvorschrift

10 für die Positionierung der Antennen innerhalb der Antennen-Untergruppen sowie der Antennen-Untergruppen zueinander läßt sich erfindungsgemäß ein von Mehrdeutigkeiten befreiter Lösungsraum zur Bestimmung des Peilvektors $\hat{\Theta}$ realisieren, der konstruktiv deutlich handhabbarer verwirklicht werden kann als eine auf einer Gesamt-Anordnung

15 aller Antennen basierende Vorgehensweise.

Im Hinblick auf die im folgenden durchzuführende Betrachtungsweise auf der Ebene der Antennen-Untergruppen werden

20 die Größen der Gleichung (4), welche sich auf die gesamte Antennen-Anordnung beziehen, auf Größen mit Bezug zu Antennen-Untergruppen umgesetzt:

Die Empfangssignale $x_i(t)$ jeder Antenne werden in den

25 einzelnen Analog-Digital-Wandlern 14, 14' und 14'' der einzelnen Meßkanäle 12, 12' und 12'' abgetastet und anschließend in der Verarbeitungs-Einheit 15 auf mehrere den einzelnen Antennen-Untergruppen zugeordnete Empfangsvektoren $\mathbf{x}_i(t)$ aufgeteilt. Die Meßmatrix $\mathbf{X}_i$, welche alle

30 Empfangsvektoren $\mathbf{x}(t)$ zu allen Abtastzeitpunkten enthält ergibt sich gemäß Gleichung (6):

$$\mathbf{X}_i = (\mathbf{x}(t=1), \mathbf{x}(t=2), \dots, \mathbf{x}(t=T)) \quad (6)$$

35 Die Meßmatrix $\mathbf{X}$ setzt sich wiederum gemäß Gleichung (7) aus allen Meßmatrizen $\mathbf{X}_i$, die jeweils einer Antennen-Untergruppe i zugeordnet sind, zusammen.

$$\mathbf{X} = (\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_i, \dots, \mathbf{X}_p) \quad (7)$$

Analog zur Vorgehensweise beim Meßvektor $\mathbf{x}(t)$ werden die Elemente des Richtungsvektors $\mathbf{a}(\Theta_k)$ auf Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k)$ aufgeteilt, die jeweils jeder der Antennen-Untergruppen i zugeordnet sind. Nach Gleichung (7) ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem alle Antennen umfassenden Richtungsvektor $\mathbf{a}(\Theta_k)$ und den einzelnen den Antennen-Untergruppen zugeordneten Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k)$:

$$\mathbf{a}(\Theta_k) = (\mathbf{a}_1(\Theta_k), \mathbf{a}_2(\Theta_k), \dots, \mathbf{a}_i(\Theta_k), \dots, \mathbf{a}_p(\Theta_k)) \quad (7)$$

Der eigentliche Erfindungsgedanke der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen besteht nun darin, daß für die Anordnung der Antennen innerhalb einer Antennen-Untergruppe keine Beschränkungen im Hinblick auf parallele Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k)$ für verschiedene Einfallswinkel Θ_k und Θ_{k+1} der Gesamtwellen zu berücksichtigen sind. Mehrdeutigkeiten bei den Richtungsvektoren innerhalb einer Antennen-Untergruppe i sind gemäß Gleichung (8) erlaubt.

$$\mathbf{a}_i(\Theta_k) = \mathbf{a}_i(\Theta_{k+1}) \quad \text{für alle } i = 1 \text{ bis } P$$

(8)

Eine Suchfunktion zur Ermittlung des Peilvektors $\underline{\Theta}$, die für eine einzige Antennen-Untergruppe i bestimmt wird, kann folglich durchaus eine größere Anzahl an Extrema aufweisen, als Peilwerte Θ_i innerhalb des gesuchten Peilvektors $\underline{\Theta}$ enthalten sind.

Entscheidend ist vielmehr im Sinne des Erfindungsgedanken, daß die Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k)$, die den einzelnen Antennen-Untergruppen i zugeordnet sind, für alle Einfallswinkel Θ_k der Gesamtwellen zueinander paarweise linear unabhängige Vektoren sind, so daß für die Faktoren α_1 und α_2 Werte ungleich Null ausgeschlossen werden können, damit die Bedingungsgleichung (9) der paarweisen linearen Unabhängigkeit von Richtungsvektoren erfüllt ist.

$$\alpha_1 * \underline{a}_i(\Theta_k) + \alpha_2 * \underline{a}_{i+1}(\Theta_k) \neq \underline{0} \quad \text{für alle } i = 1 \text{ bis } P \quad (9)$$

Gleichung (9) ist für alle Anordnungen von Antennen innerhalb zweier Antennen-Untergruppen i und $i+1$ erfüllt, deren Richtungsvektoren $\underline{a}_i(\Theta_k)$ und $\underline{a}_{i+1}(\Theta_k)$ für alle Einfallswinkel Θ_k nicht-parallel zueinander ausgerichtet sind. Antennen-Untergruppen, deren Richtungsvektoren $\underline{a}_i(\Theta_k)$ und $\underline{a}_{i+1}(\Theta_k)$ Gleichung (9) erfüllen, können für sich betrachtet gemäß Gleichung (8) für unterschiedliche Einfallswinkel Θ_k Mehrdeutigkeiten aufweisen, deren Lage aber im Hinblick auf Erfüllung von Gleichung (9) unterschiedlich sein muß. Diese Mehrdeutigkeiten der einzelnen Richtungsvektoren $\underline{a}_i(\Theta_k)$ und $\underline{a}_{i+1}(\Theta_k)$, die für die jeweiligen Antennen-Untergruppen i und $i+1$ bei unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k zwingend zu liegen kommen müssen, werden durch das weiter unten dargestellte erfindungsgemäße Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen im Hinblick auf eine damit zu entwickelnde Gesamt-Suchfunktion beseitigt.

Die wesentlich stringendere Bedingung der vollständigen linearen Unabhängigkeit der Richtungsvektoren aller Antennen-Untergruppen im Sinne von Gleichung (10) ist nicht erforderlich, da die je Richtungsvektor $\underline{a}_i(\Theta_k)$ vorliegenden Mehrdeutigkeiten jeweils bei unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k pro Richtungsvektor-Paar $\underline{a}_i(\Theta_k)$ und $\underline{a}_{i+1}(\Theta_k)$ zu liegen kommen und somit auch in Summe über alle Richtungsvektoren $\underline{a}_i(\Theta_k)$ bei unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k zu liegen kommen.

$$\sum_{i=1}^P \alpha_i * \underline{a}_i(\Theta_k) \neq \underline{0} \quad (10)$$

Diese an unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k zu liegenden kommenden Mehrdeutigkeiten werden, wie weiter unten gezeigt wird, durch das erfindungsgemäße Verfahren beseitigt.

Auf der Basis der vorangegangenen mathematischen Herleitungen wird im folgenden das erfindungsgemäße Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen in Fig. 2 beschrieben.

5

Für die Bestimmung der Suchfunktion wird beispielhaft der MUSIC-Algorithmus - Multiple-Signal-Classification-Algorithmus - herangezogen. Alternativ können aber auch andere, weiter unten noch kurz dargestellte Schätz-Verfahren benutzt werden.

10

In Verfahrensschritt S10 des erfindungsgemäßen Verfahrens werden für jede der insgesamt P Antennen-Untergruppen die zugehörigen Richtungsvektor $\mathbf{a}_i(\Theta)$ bestimmt. Hierzu werden
15 in der Praxis für eine bestimmte Einfallswinkelraasterung Θ_k gemäß der Beziehungen (1), (2) und (3) die Werte der Elemente $a_{ij}(\Theta_k)$ der einzelnen Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k) = (a_{i1}(\Theta_k), a_{i2}(\Theta_k), \dots, a_{ij}(\Theta_k), \dots, a_{iH}(\Theta_k))$, die zur jeweiligen Antenne j der Antennen-Untergruppe i gehört, im
20 Rahmen einer Kalibriermessung ermittelt. Diese einzelnen Richtungsvektoren $\mathbf{a}_i(\Theta_k)$ werden in der Speicher-Einheit 17 der Verarbeitungs-Einheit 15 für die weitere Verarbeitung im erfindungsgemäßen Verfahren abgespeichert.

25 Im darauffolgenden Verfahrensschritt S20 werden die zu den einzelnen Abtastzeitpunkten t von den insgesamt M Antennen empfangenen Amplitudenwerte $x_i(t)$ einer Gesamtwelle, die sich aus von insgesamt N Funkstationen ausgestrahlten und sich überlagernden Einzelwellen ergibt, über insgesamt H
30 Meßkanäle 12, 12' und 12'' eingelesen und in Meßmatrizen X_i im Speicher 17 der Verarbeitungs-Einheit 15 abgelegt, die jeweils für eine Antennen-Untergruppe i gebildet wird. Die jeweiligen Meßmatrizen X_i weisen gemäß Gleichung (11) entsprechend der maximalen Anzahl H von Antennen je
35 Antennnen-Untergruppe insgesamt H Zeilen und entsprechend der T Abtastzeitpunkte T Spalten auf.

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i(t=1) & \dots & x_i(t=T) \\ \vdots & & \vdots \\ x_H(t=1) & \dots & x_H(t=T) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Aus den jeweils für jede Antennen-Untergruppe i abgespeicherten X_i werden im darauffolgenden Verfahrensschritt S30 die Kovarianzmatrizen S_i berechnet, indem die jeweilige Meßmatrix X_i mit der transjugierten Meßmatrix X_i^* über eine Matrizenmultiplikation gemäß Gleichung (12) verknüpft wird.

$$S_i = X_i \bullet X_i^* \quad (12)$$

Die Kovarianzmatrizen S_i weisen jeweils den Rang H auf.

Im darauffolgenden Verfahrensschritt S40 werden nach bekannten mathematischen Verfahren die jeweils H Eigenwerte λ_j jeder Kovarianzmatrix S_i ermittelt.

Der darauffolgende Verfahrensschritt S50 beinhaltet die Separierung der Eigenwerte λ_j aller Kovarianzmatrizen S_i in Eigenwerte λ_{jN} , die dem Rauschsignal $n(t)$ zugeordnet sind, und in Eigenwerten λ_{jS} , die dem Empfangssignal $f(t)$ zugeordnet sind.

Nach R.O. Schmidt: "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation" in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-34, No. 3, März 1986, Seite 276 - 280, kann Gleichung (4) bei Betrachtung mehrerer Abtastzeitpunkte k in Gleichung (13) übergeführt werden:

$$X = A \bullet F + N \quad (13)$$

Dabei enthält die Matrix X entsprechend der insgesamt N Antennen die N -dimensionalen Empfangsvektoren $\mathbf{x}(k)$ der Meßmatrix zu den k Abtastzeitpunkten nach Gleichung (6). Die Matrix A enthält in ihren Spalten die Richtungsvektoren $\mathbf{a}(\Theta_k)$ zu den einzelnen Einfallswinkelrasterpunkten Θ_k . Die Matrix F enthält in ihren Spalten analog

zur Matrix X die jeweils N -dimensionalen Vektoren $\underline{f}(t)$ mit den von den N Funkstationen ausgestrahlten Zeitfunktionen $f_k(t)$ zu den einzelnen Abtastzeitpunkten t . Die Matrix N enthält ebenfalls in ihren Spalten die N -dimensionalen Rauschvektoren $\underline{n}(t)$ zu den einzelnen Abtastzeitpunkten t . Für die Kovarianzmatrix S bei Betrachtung aller insgesamt M Antennen ergibt sich auf der Basis von Gleichung (13) die Beziehung in Gleichung (14):

$$S = X \cdot X^* = A \cdot F \cdot F^* \cdot A^* + N \cdot N^* \quad (14)$$

Mittels Substitution des Matrixprodukts $F \cdot F^*$ durch die Hilfmatrix P und Zerlegung des Matrixprodukts $N \cdot N^*$ in die zugehörigen Eigenwerte λ_{jN} ergibt sich aus Gleichung (14) die neue Beziehung für die Kovarianzmatrix S in Gleichung (15):

$$S = A \cdot P \cdot A^* + \lambda_{jN} \cdot S_0 \quad (15)$$

Da der Rang der Matrix S mit M , der Anzahl der Antennen, größer als der Rang der Matrix $A \cdot P \cdot A^*$ mit N , der Anzahl der Funkstationen, ist, müssen die Determinanten entsprechend Gleichung (16) Null werden.

$$|A \cdot P \cdot A^*| = |S - \lambda_{jN} \cdot S_0| = 0 \quad (16)$$

Folglich müssen die Rausch-Eigenwerte λ_{jN} identisch zu einigen Eigenwerten λ_i , insbesondere zu den minimalen Eigenwerten $\lambda_{\min}$, der Kovarianzmatrix S sein.

Die Anzahl D der minimalen Eigenwerte $\lambda_{\min}$ der Kovarianzmatrix S , die im allgemeinen in einem engen Bereich konzentriert sind und einen deutlichen Abstand zu den übrigen Eigenwerten aufweisen, stellen somit die Differenz zwischen dem Rang M der Kovarianzmatrix S und dem Rang N der Matrix $A \cdot P \cdot A^*$ dar. Bei bekannten Rang M der Kovarianzmatrix S können durch Ermittlung der Anzahl D der minimaler Eigenwerte $\lambda_{\min}$ der Kovarianzmatrix S gemäß

Gleichung (17) die zunächst unbekannte Anzahl N der Funkstationen ermittelt werden.

$$N = M - D \quad (17)$$

5

Die Anzahl D der minimalen Eigenwerte $\lambda_{\min}$ der Kovarianzmatrix S wird erfindungsgemäß dadurch ermittelt, daß die in Verfahrensschritt S40 für jede Kovarianzmatrix S_i jeweils ermittelten Eigenwerte λ_j in einem Histogramm aufgetragen werden. Die daraus abgeleitete gesamte Anzahl D der minimalen Eigenwerte $\lambda_{\min}$ wird in Analogie zu Gleichung (17) bei Betrachtung aller M Antennen für die Berechnung der gesuchten Anzahl N der Funkstationen bei Betrachtung von H Antennen je Antennen-Untergruppe gemäß Gleichung (18) herangezogen.

15

$$N = H - \text{int}(D/P) \quad (18)$$

Der Operator $\text{int}(\dots)$ rundet den Operanden D/P zu einer Ganzzahl ab. In Verfahrensschritt S50 werden zusätzlich für die insgesamt D Rausch-Eigenwerte λ_{jN} nach bekannten mathematischen Verfahren die zugehörigen Rausch-Eigenvektoren $\underline{e}_{jN}$ für jede Untergruppe berechnet und zu den Rausch-Eigenmatrizen E_N gemäß Gleichung (19) zusammengefaßt werden.

25

$$E_{Ni} = (\underline{e}_{1N}, \underline{e}_{2N}, \dots, \underline{e}_{DN})_i \quad (19)$$

Für die Eigenwerte λ_i und die dazugehörigen Eigenvektoren $\underline{e}_i$ der Kovarianzmatrix S gilt die in Gleichung (20) dargestellte Eigenwert-Zerlegung der Kovarianzmatrix S :

30

$$S \cdot \underline{e}_i = \lambda_i \cdot S_0 \cdot \underline{e}_i \quad (20)$$

35

Gleichung (20) in die Beziehung von Gleichung (15) eingesetzt, ergibt Gleichung (21):

$$A \cdot P \cdot A^* \cdot \underline{e}_i = (\lambda_i - \lambda_{\min}) \cdot S_0 \cdot \underline{e}_i \quad (21)$$

Für alle Eigenwerte λ_i der Kovarianzmatrix S , die den
 5 Rausch-Eigenwerten λ_{jN} ($\lambda_{jN}=\lambda_{\min}$) entsprechen, ist die
 Differenz $\lambda_i - \lambda_{\min}$ Null, so daß nach Gleichung (22) die
 zugehörigen Eigenvektoren $\underline{e}_{jN}$ senkrecht auf dem Unterraum,
 der durch die Spaltenvektoren - die Richtungsvektoren
 $\underline{a}(\Theta_k)$ zu einzelnen Einfallswinkeln Θ_k der Funkstationen k
 10 - der Matrix A gebildet wird, stehen.

$$A \cdot P \cdot A^* \cdot \underline{e}_{jN} = A^* \cdot \underline{e}_{jN} = 0 \quad (22)$$

Auf diese Weise ist ein Kriterium zur Bestimmung der
 15 Peilwerte Θ_k der gesuchten Funkstationen gegeben.

In Verfahrensschritt S60 wird für jede Antennen-Unter-
 gruppe auf der Basis der Rausch-Eigenmatrizen E_N aus
 Gleichung (19), die im vorhergehenden Verfahrensschritt
 20 S50 ermittelt werden, und dem in Verfahrensschritt S10 für
 jede Antennen-Untergruppe i ermittelten Richtungsvektor
 $\underline{a}_i(\Theta)$ die Suchfunktion $P_i(\Theta)$ gemäß Gleichung (23)
 ermittelt:

$$25 \quad P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i^*(\Theta) \cdot E_{Ni} \cdot E_{Ni}^* \cdot \underline{a}_i(\Theta)} \quad (23)$$

Bei Einfallswinkeln Θ_k der Gesamtwelle überlagert sich zum
 Empfangssignal das Rauschsignal, so daß bei diesen
 Einfallswinkeln Θ_k die Skalarprodukte des Richtungsvektors
 30 $\underline{a}_i(\Theta_k)$ mit den Rauscheigenvektor $\underline{e}_{jN}$ Null sind und damit
 die Suchfunktion $P_i(\Theta)$ bei diesen Einfallswinkeln Θ_k
 Extrema aufweist.

Im nächsten Verfahrensschritt S70 werden alle zu den
 35 jeweiligen Antennen-Untergruppen i gehörigen Suchfunk-
 tionen $P_i(\Theta)$ gemäß Gleichung (24) multiplikativ zur
 Bildung der Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$, welche für alle
 Antennen gilt, verknüpft:

$$P(\Theta) = \prod_{i=1}^P P_i(\Theta) \quad (24)$$

Die multiplikative Verknüpfung der einzelnen Suchfunktionen stellt eine Mittelungsfunktion dar, welche die an unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k liegenden Mehrdeutigkeiten der einzelnen Suchfunktionen $P_i(\Theta)$ "ausmittelt" und dadurch aus der Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ beseitigt.

Werden die einzelnen Suchfunktionen $P_i(\Theta)$ im logarithmischen Maßstab dargestellt, so ergibt sich die Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ im logarithmischen Maßstab gemäß Gleichung (26) aus der Addition der logarithmisch dargestellten Einzel-Suchfunktionen $P_i(\Theta)$.

$$\log P(\Theta) = \sum_{i=1}^P \log P_i(\Theta) \quad (26)$$

Im letzten Verfahrensschritt S80 werden die N höchsten Extrema der von Mehrdeutigkeiten befreiten Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ über einen Vergleich mit einem festgelegten Schwellwert ermittelt. Die zu den damit gefundenen N höchsten Extrema gehörigen Einfallswinkel Θ_1 bis Θ_N stellen die Peilwerte Θ_1 bis Θ_N der gesuchten Funkstationen als Elemente des gesuchten Peilvektors $\underline{\Theta}$ dar.

Fig. 3 stellt den graphischen Verlauf einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in Fig. 2 ermittelten Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ dar. Zu erkennen sind die beiden Einfallswinkel Θ_1 bei 10° und Θ_2 bei 25° der beiden Wellen mit den jeweiligen Amplitudenwerten 1 bzw. 0,5. Bei der Antennen-Anordnung handelt es sich um eine kreisförmige Anordnung der Antennen gemäß Fig. 1 mit einem Kreisdurchmesser bezogen auf die Wellenlänge λ der Gesamtwellen von vier. Zur Bildung der Meß- bzw. Kovarianzmatrizen X bzw. S wurden insgesamt 10 Abtastzyklen durchgeführt. Der Signal-Rausch-Abstand beträgt 20dB.

Im Vergleich dazu sind in Fig. 4 die graphischen Verläufe der einzelnen Suchfunktionen $P_i(\Theta)$ bis $P_4(\Theta)$ dargestellt, die zu den vier Antennen-Untergruppen der gleichen Antennen-Anordnung gehören. Zu erkennen sind in den einzelnen Suchfunktions-Verläufen die an unterschiedlichen Einfallswinkeln Θ_k auftretenden Mehrdeutigkeiten.

Alternativ zur Suchfunktion in Gleichung (23), die auf dem MUSIC-Algorithmus beruht, können in dem erfindungsgemäßen Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen auch andere Suchfunktionen verwendet werden, die auf anderen Schätzverfahren beruhen.

Diese werden im folgenden nur kurz vorgestellt, ohne auf deren mathematische Herleitung und deren Stärken bzw. Schwächen in der Anwendung im Detail einzugehen. Diesbezüglich sei auf die reichlich vorhandene Fachliteratur hingewiesen.

Beim Schätzverfahren nach dem konventionellen Richtstrahlbildungs-Verfahren - Beamforming-Verfahren nach Capon - werden in der Suchfunktion $P_i(\Theta)$ gemäß Gleichung (27) anstelle der Korrelationsmatrix der Rauscheigenmatrizen $E_N^* \bullet E_N$ des MUSIC-Algorithmuses die Kovarianzmatrix S_i benutzt.

$$P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i(\Theta)^* \bullet S_i \bullet \underline{a}_i(\Theta)} \quad (27)$$

Der mathematische Ausdruck der Suchfunktion $P_i(\Theta)$ in Gleichung (27) entspricht der einer Richtantenne mit mehreren Antennen-Elemente, deren Empfangssignale für Welleneinfallswinkel Θ konstruktiv überlagert, d.h. gleichphasig addiert werden.

Beim Schätzverfahren nach dem Maximum-Likelihood-Verfahren nach Capon wird die Korrelationsmatrix der Rauscheigen-

matrizen $E_N^* \bullet E_N$ des MUSIC-Algorithmuses gemäß Gleichung (28) durch die inverse Kovarianzmatrix S_i^{-1} ersetzt.

$$P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i(\Theta)^* \bullet S_i^{-1} \bullet \underline{a}_i(\Theta)} \quad (28)$$

5

Beim Schätzverfahren nach dem Maximum-Entropie-Algorithmus nach Burg wird die Korrelationsmatrix der Rauscheigenmatrizen $E_N^* \bullet E_N$ des MUSIC-Algorithmuses gemäß Gleichung (29) durch das dyadische Produkt aus den Spaltenvektoren $\underline{c}_i$ und $\underline{c}_i^*$ der Kovarianzmatrix S_i ersetzt.

$$P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i(\Theta)^* \bullet \underline{c}_i \bullet \underline{c}_i^* \bullet \underline{a}_i(\Theta)} \quad (29)$$

Beim Minimum-Norm-Schätzverfahren wird die Korrelationsmatrix der Rauscheigenmatrizen $E_N^* \bullet E_N$ des MUSIC-Algorithmuses gemäß Gleichung (30) durch jene Rauscheigenvektoren $\underline{d}_i$ und $\underline{d}_i^*$ ersetzt, die die minimale euklidische Norm besitzen.

$$P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i(\Theta)^* \bullet \underline{d}_i \bullet \underline{d}_i^* \bullet \underline{a}_i(\Theta)} \quad (30)$$

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellte Ausführungsform beschränkt. Insbesondere sind parametrische Schätzverfahren zur Bildung der Suchfunktion, beispielsweise der Maximum-Likelihood-Algorithmus von der Erfindung abgedeckt.

Ansprüche

1. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung von N örtlich verteilten Funkstationen über M örtlich verteilte Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), die P Antennen-Untergruppen (1', 2', 3', 4') mit jeweils bis zu H Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) zugeordnet sind, wobei aus Amplitudenwerten einer aus von den Funkstationen ausgestrahlten und sich überlagernden Einzelwellen bestehenden Gesamtwelle, die jeweils von jeder Antenne (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) einer Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') gemessen werden, und aus drehwinkelabhängigen Richtungsvektoren $\underline{a}_i(\Theta)$, die jeweils für jede Antenne (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) einer Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') ermittelt werden, für jede Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') über einen numerischen Algorithmus drehwinkelabhängige Suchfunktionen ($P_i(\Theta)$) entwickelt werden, **dadurch gekennzeichnet,**
- 20 daß aus allen zu jeder Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') gehörigen Suchfunktionen ($P_1(\Theta)$, $P_2(\Theta)$, $P_3(\Theta)$, $P_4(\Theta)$) eine zu allen M Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) gehörige Gesamt-Suchfunktion ($P(\Theta)$) ermittelt wird, mittels derer zu deren Maxima gehörige Drehwinkel (Θ_1 , $\Theta_2, \dots, \Theta_N$), die N Peilwerte (Θ_1 , $\Theta_2, \dots, \Theta_N$) der N Funkstationen darstellen, gewonnen werden.
2. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**
- 30 daß jede zur jeweiligen Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') gehörige Suchfunktion ($P_1(\Theta)$, $P_2(\Theta)$, $P_3(\Theta)$, $P_4(\Theta)$) nicht-linear zur Gesamt-Suchfunktion ($P(\Theta)$) verknüpft wird.
- 35
3. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

daß jede zur jeweiligen Antennen-Untergruppe ($1'$, $2'$, $3'$, $4'$) gehörige Suchfunktion ($P_1(\Theta)$, $P_2(\Theta)$, $P_3(\Theta)$, $P_4(\Theta)$) multiplikativ zur Gesamt-Suchfunktion ($P(\Theta)$) verknüpft wird.

5

4. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet,**

daß nach einer Logarithmierung jeder zur jeweiligen Antennen-Untergruppe ($1'$, $2'$, $3'$, $4'$) gehörigen Suchfunktion ($P_1(\Theta)$, $P_2(\Theta)$, $P_3(\Theta)$, $P_4(\Theta)$) die Gesamt-Suchfunktion ($P(\Theta)$) durch Addition aller logarithmierten, zur jeweiligen Antennen-Untergruppe ($1'$, $2'$, $3'$, $4'$) gehörigen Suchfunktionen ($P_1(\Theta)$, $P_2(\Theta)$, $P_3(\Theta)$, $P_4(\Theta)$) gewonnen wird.

5. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,**

daß der numerische Algorithmus zur Entwicklung der drehwinkelabhängigen Suchfunktion $P_i(\Theta)$ der MUSIC-Algorithmus (Multiple-Signal-Classification-Algorithmus) ist, mit dem sich die drehwinkelabhängige Suchfunktion $P_i(\Theta)$ nach der Formel

$$P_i(\Theta) = \frac{1}{\underline{a}_i^*(\Theta) \cdot E_{N_i} \cdot E_{N_i}^* \cdot \underline{a}_i(\Theta)} i$$

ergibt,

wobei

$\underline{a}_i(\Theta)$ der Richtungsvektor der i-ten Antennen-Untergruppe,
 $\underline{a}_i^*(\Theta)$ der transjugierte Richtungsvektor der i-ten Antennen-Untergruppe,
 E_{N_i} die Matrix bestehend aus insgesamt D_i Rausch-Eigenvektoren einer Kovarianzmatrix S , die aus den zu T verschiedenen Zeitpunkten von allen Antennen einer Untergruppe i gemessenen Amplitudenwerten besteht und

E_{Ni}^* die transjugierte Matrix aus insgesamt D
 Rausch-Eigenvektoren einer Kovarianzmatrix
 S, die aus den zu T verschiedenen Zeit-
 punkten von allen Antennen einer
 5 Untergruppe i gemessenen Amplitudenwerten
 besteht

bedeuten.

6. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer
 10 örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet,
 daß die jeweils H Eigenwerte aller Kovarianzmatrizen S_i in
 einem Histogramm aufgetragen werden und die Anzahl der
 kleinsten Eigenwerte $\lambda_{\min}$ aller im Histogramm
 15 aufgetragenen Eigenwerte λ_i die Anzahl D von Rausch-
 Eigenwerten λ_{jN} ergibt.

7. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer
 örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 6,
 20 **dadurch gekennzeichnet,**
 daß die Anzahl N der Funkstationen sich nach der Formel

$$N = H - \text{int}(D/P)$$
 ergibt,
 25 wobei
 H die Anzahl der Antennen einer Antennen-
 Untergruppe,
 D die Anzahl der Rausch-Eigenwerte λ_{jN} ,
 P die Anzahl der Antennen-Untergruppen und
 30 $\text{int}(\dots)$ die Funktion zur Bildung der Ganzzahl des
 Operanden.

bedeuten.

8. Verfahren zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer
 35 örtlich verteilter Funkstationen nach einem der Ansprüche
 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
 daß der numerische Algorithmus zur Entwicklung der
 drehwinkelabhängigen Suchfunktion $P_i(\Theta)$ der konventionelle

Richtstrahlungs-Algorithmus, der Maximum-Likelihood-Algorithmus, der Maximum-Entropie-Algorithmus, der Algorithmus mit minimaler Euklidischer Norm und/oder der Algorithmus nach Capon ist.

5

9. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung von N örtlich verteilten Funkstationen mit M örtlich verteilten Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9), die P Antennen-Untergruppen (1', 2', 3' und 4') mit
10 jeweils bis zu H Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9) zugeordnet sind,
einer Schaltvorrichtung (11, 11', 11'') zur zyklischen Weiterschaltung der von den P Antennen-Untergruppen (1', 2', 3' und 4') jeweils bis zu H gemessenen Amplitudenwerten
15 einer Gesamtwellen, die aus von jeder Funkstation ausgestrahlten und sich überlagernden Einzelwellen besteht, auf jeweils H Meßkanäle (12, 12', 12''),
und einer Verarbeitungs-Einheit (15),
dadurch gekennzeichnet,
20 daß alle P Antennen-Untergruppen (1', 2', 3', 4') nicht-parallele Richtungsvektoren ($a_1(\theta)$, $a_2(\theta)$, $a_3(\theta)$, $a_4(\theta)$) besitzen.

10. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehreren
25 örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß jede Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') aus mindestens drei Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) besteht.

30

11. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehreren örtlich verteilter Funkstationen nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß jede Antennen-Untergruppe (1', 2', 3', 4') aus genau
35 drei Antennen (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) besteht.

12. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehreren örtlich verteilter Funkstationen nach einem der Ansprüche 9 bis 11,

dadurch gekennzeichnet,

daß jeder der H Meßkanäle (12, 12', 12'') ein Bandpaß-Filter und (13, 13', 13'') einen Analog-Digital-Wandler (14, 14', 14'') enthält.

5

13. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach einem der Ansprüche 9 bis 12,

dadurch gekennzeichnet,

- 10 daß die Verarbeitungs-Einheit (15) eine Binär-Eingabe-Einheit (16) zum zyklischen Einlesen der auf den H Meßkanälen (12, 12', 12'') anliegenden H Amplitudenwerte, eine Speicher-Einheit (17) zum Speichern der aus den zyklisch eingelesenen H Amplitudenwerten ermittelten, zu
- 15 den P Antennen-Untergruppen (1', 2', 3', 4') gehörigen Meßmatrizen X_i und eine Prozessor-Einheit (18) zur Bestimmung der N Peilwerte ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$) der N örtlich verteilten Funkstationen umfaßt.

- 20 14. Vorrichtung zur gleichzeitigen Funkpeilung mehrerer örtlich verteilter Funkstationen nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

dadurch gekennzeichnet,

- 25 daß die Vorrichtung zusätzlich eine Anzeige-Einrichtung (19) zur grafischen Darstellung der P Suchfunktionen $P_i(\Theta)$, der Gesamt-Suchfunktion $P(\Theta)$ und/oder der gesuchten N Peilwerte ($\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_N$) beinhaltet.

1/4

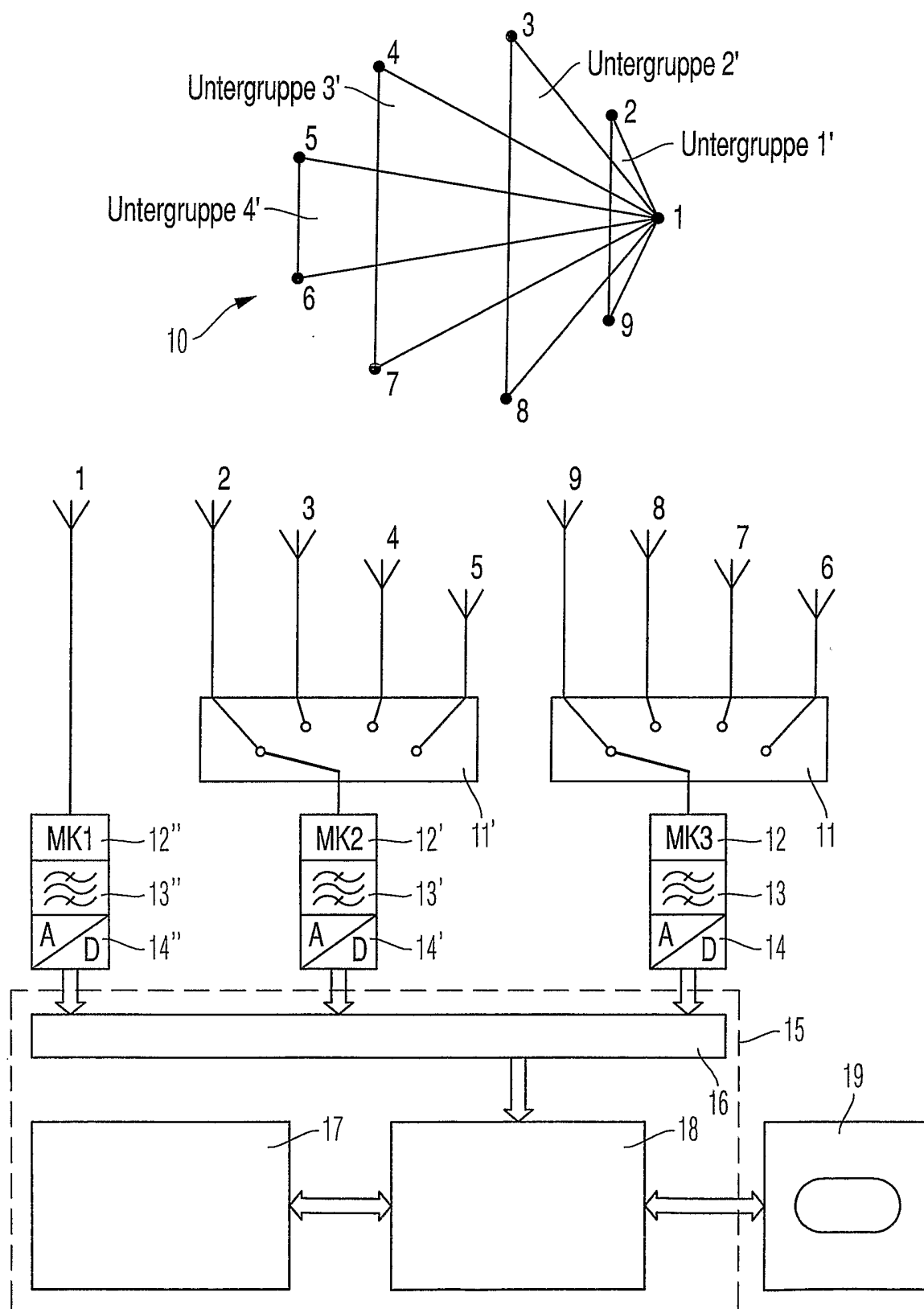


Fig. 1

2/4

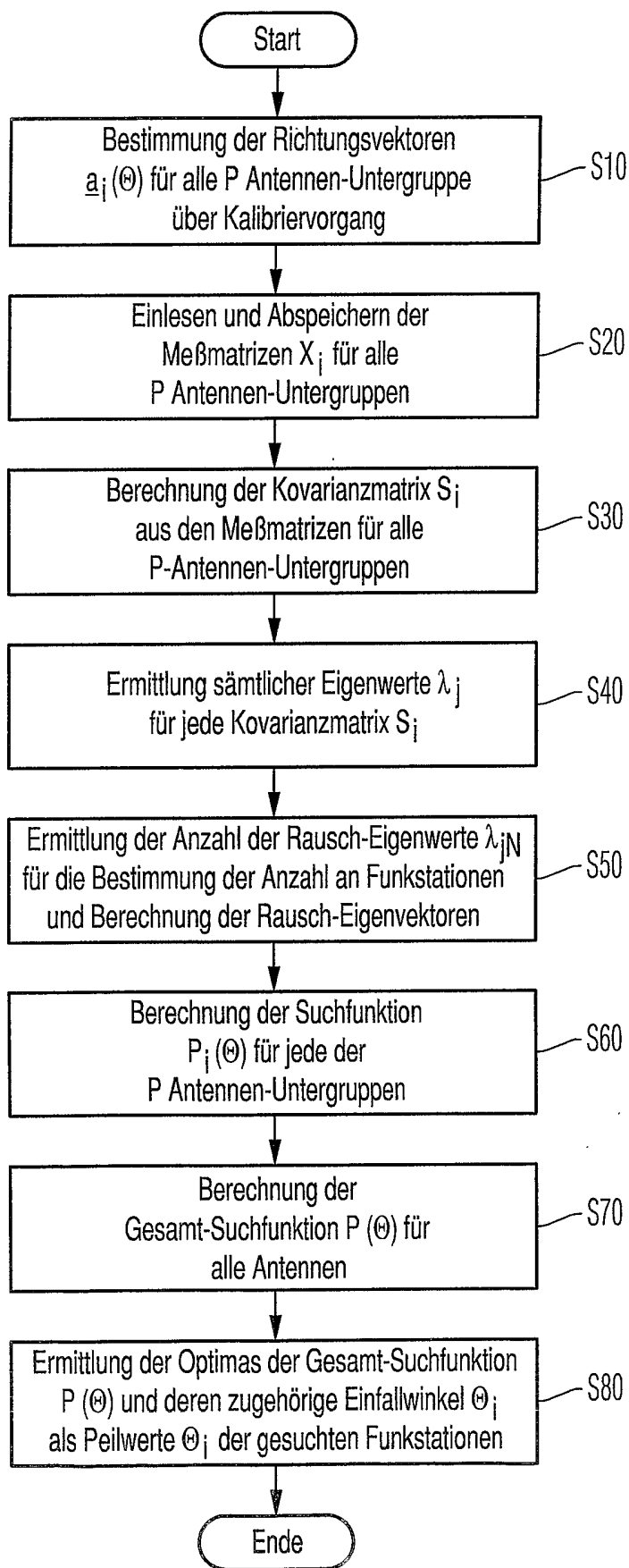


Fig. 2

3/4

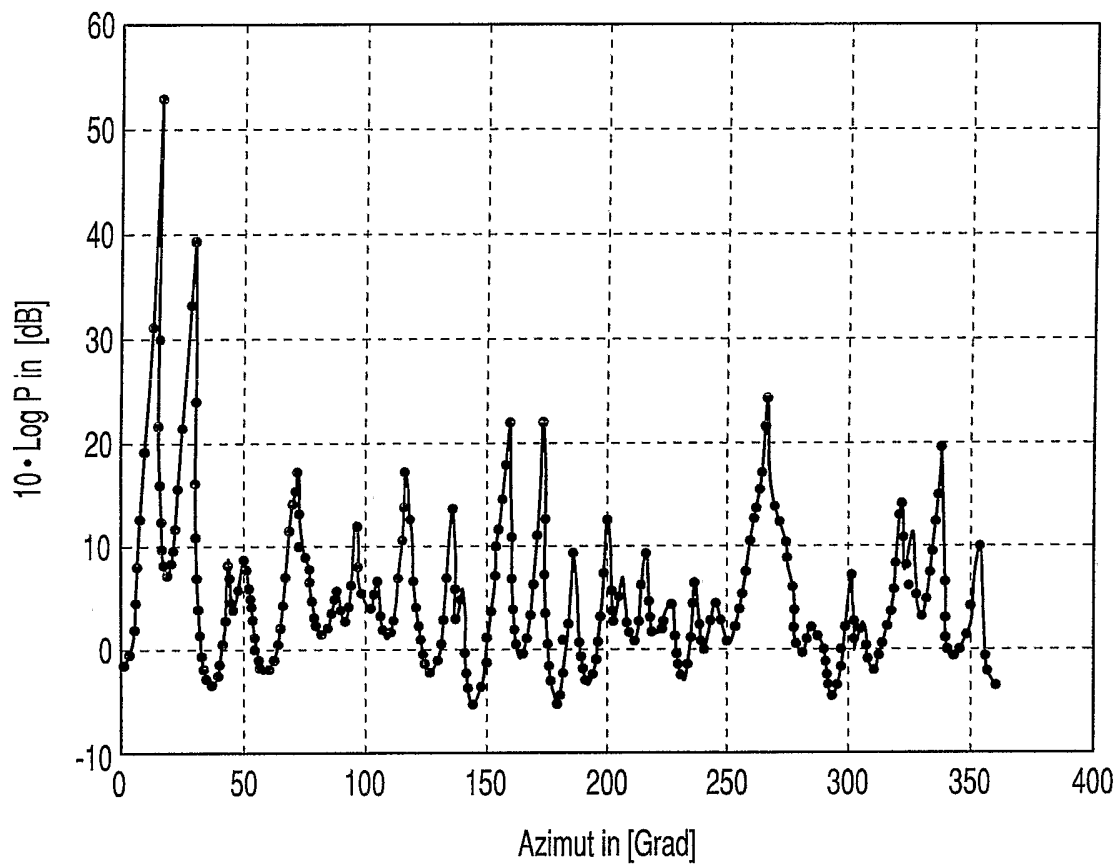


Fig. 3

4/4

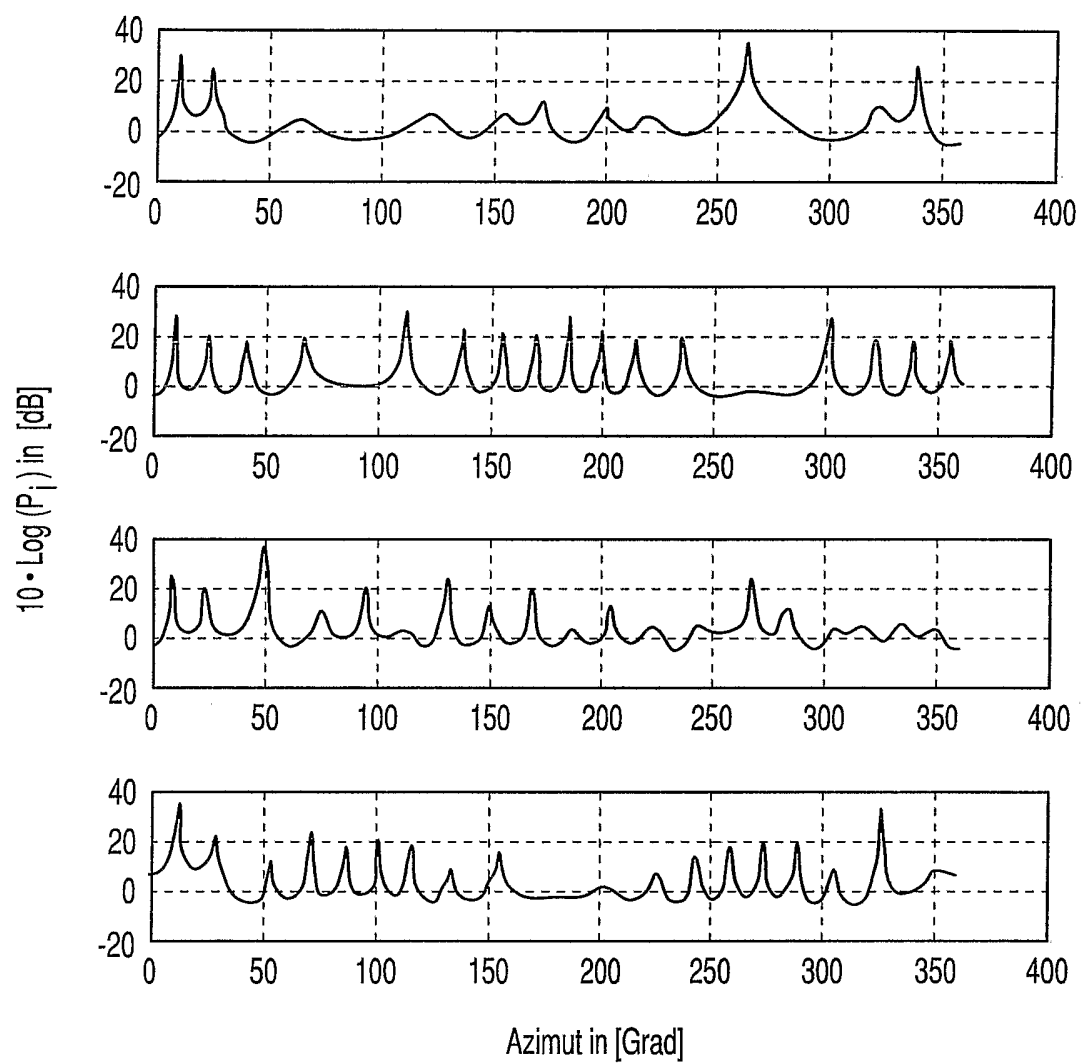


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/004331

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01S3/74

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 44 07 716 A1 (C. PLATH GMBH NAUTISCH-ELEKTRONISCHE TECHNIK, 20097 HAMBURG, DE) 21 September 1995 (1995-09-21) cited in the application the whole document	1,9
A	US 2003/063029 A1 (FERREOL ANNE ET AL) 3 April 2003 (2003-04-03) paragraphs '0001! - '0016!, '0064! - '0090! ----- -/--	1,9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 August 2005

Date of mailing of the international search report

30/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Grübl, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/004331

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SCHMIDT R O: "MULTIPLE EMITTER LOCATION AND SIGNAL PARAMETER ESTIMATION" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. AP-34, no. 3, 1 March 1986 (1986-03-01), pages 276-280, XP000644956 ISSN: 0018-926X -----	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/004331

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4407716	A1	21-09-1995	NONE	
US 2003063029	A1	03-04-2003	FR 2805614 A1	31-08-2001
			AU 3748801 A	12-09-2001
			CA 2400763 A1	07-09-2001
			EP 1259833 A1	27-11-2002
			WO 0165272 A1	07-09-2001

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/004331

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01S3/74

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 44 07 716 A1 (C. PLATH GMBH NAUTISCH-ELEKTRONISCHE TECHNIK, 20097 HAMBURG, DE) 21. September 1995 (1995-09-21) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1,9
A	US 2003/063029 A1 (FERREOL ANNE ET AL) 3. April 2003 (2003-04-03) Absätze '0001! - '0016!, '0064! - '0090!	1,9
A	SCHMIDT R O: "MULTIPLE EMITTER LOCATION AND SIGNAL PARAMETER ESTIMATION" IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. AP-34, Nr. 3, 1. März 1986 (1986-03-01), Seiten 276-280, XP000644956 ISSN: 0018-926X	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. August 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

30/08/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Grübl, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/004331

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4407716	A1	21-09-1995	KEINE
US 2003063029	A1	03-04-2003	FR 2805614 A1 31-08-2001
		AU 3748801 A	12-09-2001
		CA 2400763 A1	07-09-2001
		EP 1259833 A1	27-11-2002
		WO 0165272 A1	07-09-2001