

(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  
13. Juli 2006 (13.07.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2006/072471 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**Nicht klassifiziert**

[DE/DE]; Theodor-Bötzel-Weg 23, 31139 Hildesheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/054420

(74) **Gemeinsamer Vertreter:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

7. September 2005 (07.09.2005)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 000 732.5 4. Januar 2005 (04.01.2005) DE

(71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, NG, 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.

(72) **Erfinder; und**

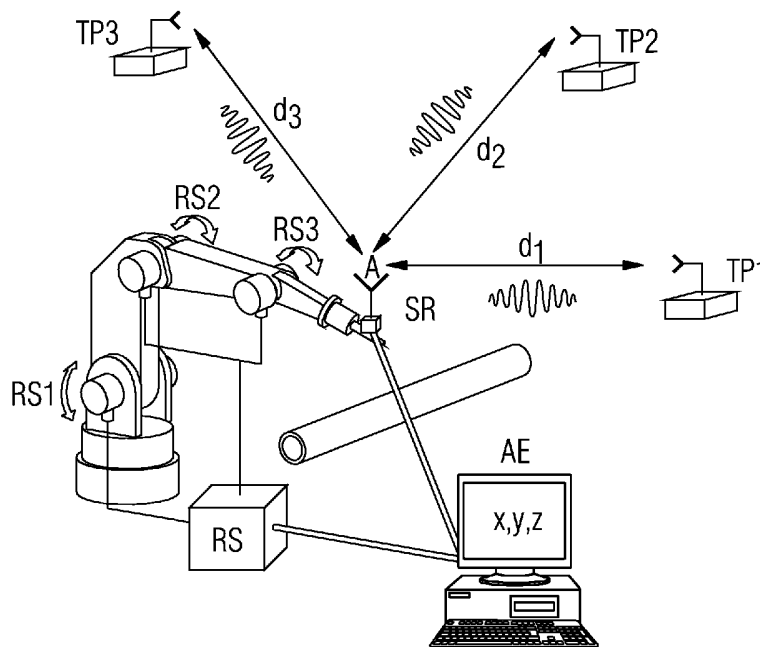
(75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** GULDEN, Peter [DE/DE]; Reichenbachstr. 31, Rgb., 80469 München (DE). MAX, Stephan [DE/DE]; Einisberger Blick 18, 38678 Clausthal-Zellerfeld (DE). VOSSIEK, Martin

(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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** RADIOBASED LOCATING SYSTEM PROVIDED WITH A SYNTHETIC APERTURE

(54) **Bezeichnung:** FUNKBASIERTES ORTUNGSSYSTEM MIT SYNTHETISCHER APERTUR



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for increasing the accuracy of measurement of a radiobased locating system consisting of a mobile station and at least one fixed station, wherein the movement of a mobile station from an initial position is detected by means of measuring data of an absolute sensor system and a relative sensor system, a virtual antenna is embodied in the form of synthetic aperture by means of measuring data and the mobile station is focused on the fixed station and/or vice versa by using the synthetic aperture.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/072471 A2



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 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).

*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.*

**Veröffentlicht:**

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

---

**(57) Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines eine mobile und mindestens eine ortsfeste Station aufweisenden funkbasierten Ortungssystems Die Erfindung zeichnet sich durch - mittels Messdaten einer Absolutsensorik und einer Relativsensorik erfolgreiches Erfassen einer von einer Ausgangsposition ausgehenden Bewegung der mobilen Station, - mittels der Messdaten erfolgreiches Erzeugen einer virtuellen Antenne in Form einer synthetischen Apertur, und - auf der Grundlage eines Verwendens der synthetischen Apertur erfolgreiches aufeinander Fokussieren der mobilen Station auf die ortsfeste Station und/oder umgekehrt aus.

## Beschreibung

## Funkbasiertes Ortungssystem mit synthetischer Apertur

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein eine mobile und mindestens eine ortsfeste Station aufweisendes funkbasiertes Ortungssystem, insbesondere zur Bestimmung der räumlichen Position der mobilen Station, und ein Verfahren zur Erhöhung der Messgenauigkeit des funkbasierten Ortungssystems.

10

Funkbasierte Ortungssysteme sind in vielfältigen Ausführungen bekannt, einen Überblick liefert zum Beispiel der Artikel [1] "Wireless Local Positioning" der Autoren M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Wieghardt, C. Hoffmann und P. Heide, welcher im Microwave Magazine des IEEE (Volume 4, Issue: 4. Dez. 15 2003, Seite 77-86) erschienen ist.

Funkbasierte Ortungssysteme funktionieren derart, dass Funk-  
signale zwischen einer mobilen Station und zumeist mehreren  
20 ortsfesten Stationen ausgetauscht werden. Basierend auf den empfangenen Funksignalen werden entweder die relativen Entfernungen zwischen der mobilen und ein oder mehreren ortsfesten Stationen, oder die Relativwinkel zwischen mobiler und ein oder mehreren ortsfesten Stationen, oder Entfernungsdifferenzen zwischen der mobilen und je zwei ortsfesten Stationen  
25 bestimmt. Auf der Grundlage dieser Messwerte kann nun mittels Trilateralisation oder Triangulation die räumliche Position der mobilen Station bestimmt werden.

30 Bei funkbasierten Ortungssystemen besteht ein wesentliches Problem darin, das sich die Funksignale hier weitgehend ungerichtet im Raum ausbreiten müssen. Dieses ist erforderlich, da die relative Lage zwischen mobiler und ortsfester Einheit, beispielsweise im Gegensatz zu Richtfunkstrecken, vorab nicht  
35 bekannt ist. Das ungerichtete Aussenden von Funkwellen führt jedoch dazu, dass die Signale zwischen mobiler und ortsfester Einheit nicht nur über den direkten kürzesten Weg sondern zum

Beispiel an Wänden oder Gegenständen reflektiert und daher auch über Umwege übertragen werden können. Aus diesen Umwegen resultiert unter Umständen eine große Verfälschung des Ortungsergebnis. Diese so genannte Mehrwege- bzw. Multipath-  
5 Problematik ist insbesondere bei Innenbereichsanwendung kritisch und ist der maßgebliche Faktor, der die erreichbare Genauigkeit von funkbasierten Ortungssystemen begrenzt. Wie zum Beispiel auch in dem oben genannten Artikel [1] ausgeführt wird, existieren aber gerade im Innenbereich vielfältige An-  
10 wendungen und insbesondere im Bereich der virtuellen Realität und der Automatisierungstechnik solche, die eine hohe Messgenauigkeit erfordern. Derartige Anwendungen sind mit den heute bekannten bzw. verfügbaren Funkortungssystemen nur sehr be-  
dingt oder gar nicht auszuführen.

15

Es ist ferner bekannt, dass zur Verbesserung der Genauigkeit von Funkortungssystemen assistierende Sensoren (zum Beispiel Beschleunigungssensoren, Gyroskope, Odometer, Kompassensoren, Neigungssensoren, Giersensoren, Linear- oder Winkelencoder etc.) sehr vorteilhaft eingesetzt werden können. Diese assistierenden Sensoren sind zumeist Relativsensoren, also solche, die keine absolute Position sondern die Veränderungen zu einer Ausgangslage in einem Bezugsraum bestimmen. Diese Multisensor- bzw. Hybridsysteme arbeiten zumeist derart, dass  
20 basierend auf Bewegungsmodellen die Messinformationen der unterschiedlichen Sensoren - zum Beispiel in einem Kalmanfilter - mit den Messdaten des Funkortungssensors kombiniert werden.

25

Nachteilig ist aus informationstechnischer Sicht bei derartigen Systemen, dass die einzelnen Endergebnisse anstelle der Rohdaten der Sensoren miteinander verknüpft werden, so dass durch die Verarbeitung in den Sensoren gegebenenfalls Informationen verloren gehen können. Würde zum Beispiel der Funk-  
30 sensor wegen einer kritischen Mehrwegesituation einen falschen Entfernungswert bestimmen, so würde dieser stark fehlerbehaftete Wert in die Auswertung/Kombination eingehen. Durch den Hybridansatz könnte der Fehler gegebenenfalls er-  
35

kannt und/oder verringert werden, aber die Ausgangsbasis der Auswertung wäre durch den fehlerhaften Messwert nachhaltig verschlechtert.

5 Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Ortungssystem gemäß dem Oberbegriff des Hauptanspruchs derart weiterzubilden, dass eine hohe Messgenauigkeit erreicht und insbesondere eine Messwertverfälschung infolge weiterer Reflektionen reduziert wird, die zusätzlich zu den direkten Signalübertragungswegen zwischen mobilen und ortsfesten Stationen erzeugt werden.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem Hauptanspruch und durch eine Vorrichtung gemäß dem Nebenanspruch gelöst.  
15 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den Unteransprüchen.

Durch das beanspruchte Verfahren wird durch mittels Messdaten einer Absolutsensorik und einer Relativsensorik erfolgreiches  
20 Erfassen einer von einer Ausgangsposition ausgehenden, dem Aufspannen einer synthetischen Apertur dienenden Bewegung der mobilen Station die Apertur bzw. die räumliche Ausdehnung insbesondere deren Antenne mittels der Relativsensorik mathematisch vergrößert und damit eine synthetische Apertur erzeugt. Die vorliegende Erfindung beschreibt nun neuartige Hybrid-Ortungssysteme und -verfahren, bei denen die Messdaten von Funkortungssystemen auf besonders vorteilhafte Weise mit Hilfe von Messdaten einer assistierenden Relativsensorik kombiniert werden, bevor sie der weiterführenden Verarbeitung  
25 zugeführt werden. Durch die Verfahren gelingt es, Störungen durch Multipath-Effekte sehr effektiv zu verringern und damit eine nahezu optimale Kombination von einer Relativsensorik mit einer funkbasierten Absolutsensorik darzustellen.

35 Die vorliegende Erfindung bezieht sich insbesondere auf so genannte TOA (time of arrival) bzw. RTOF (round trip time of flight) Funkortungssysteme. Bei den TOA Systemen - etwa GPS -

wird durch eine Einweg-Laufzeitmessung zwischen zwei Stationen, bei RTOF durch eine Zwei-Wege-Laufzeitmessung zwischen den Stationen der Abstand zwischen den Stationen bestimmt wird. Besonders günstige Ausführungsformen derartiger Systeme  
5 finden sich in der einschlägigen Literatur zu GPS-Systemen oder in US 5216429, US 5748 891, US6054950, GB 1605409, DE 3324693, WO200167625 und insbesondere in den Siemens Anmeldungen PCT/DE00/03356, DE 19946168.6, DE 10155251.3, DE 10208479.3, DE 10 2004 017 267.6 oder 10 0584 180.1 auf die  
10 hier voll inhaltlich Bezug genommen wird [2].

Im Speziellen ist eine Absolutsenorik bzw. Funkmesstechnik so ausgeführt, dass sie zu Messsignalen führt, welche die Amplitude und die Phase des übertragenen Signal in Abhängigkeit  
15 von der Signallaufzeit bzw. in Abhängigkeit von der Länge des Übertragungsweges darstellt, wie dies üblicherweise bei fast allen Radarsystemen der Fall ist. Ob die Darstellung über der Zeit kontinuierlich, diskret oder nur anhand von einer be-  
grenzten Anzahl von Wertepaaren (komplexer Amplitudenwert,  
20 Zeit) dargestellt wird, ist nebensächlich. Zur Vereinfachung werden insbesondere alle denkbaren TOA- oder RTOF-Funkor-  
tungs-Messbaugruppen, die derartige Signale liefern, hier unter dem Begriff Sekundärradar zusammengefasst. TOA Systeme  
stellen natürlich im klassischen Sinn kein Sekundärradar dar,  
25 aber die Signale in den TOA-System-Empfangsstationen sind üblicherweise bzgl. Aussehen und Informationsgehalt gleichartig zu den Signalen in Sekundärradaren, weshalb aus Informations-  
uns Systemtechnischer Sicht eine gemeinsame Betrachtungsweise sinnvoll ist.

30

Das Messsignal eines solchen Sekundärradars (also eines TOA oder RTOF-Systems) wird im Folgenden unabhängig von der Detail-Signalart als Messsignal oder Echoprofil bezeichnet. Verschiedene Betrags-Maxima oder Werte in einem Echoprofil  
35 sind verschiedenen Übertragungswegen mit unterschiedlichen Signallaufzeiten zuzuordnen. Mittels einer Relativsensorik kann die Richtung und der Betrag einer Positionsänderung re-

lativ zur ursprünglichen Position einer mobilen Station quantifiziert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf dem Verfahren der  
5 synthetischen Apertur. Das allgemeine Prinzip von SAR (synthetic aperture radar) ist zum Beispiel im Fachbuch "H. Radar mit realer und synthetischer Apertur" von Klausing und W. Holpp (Oldenbourg, 2000) in Kapitel 8, S. 213 ff. ausführlich dargestellt [3]. Nahezu identische Verfahren sind im Bereich  
10 der Medizin oder Ultraschallmesstechnik unter den Begriffen Holographie bzw. Tomographie bekannt. Zur Beschreibung der letzteren Verfahren sei zum Beispiel auf "M. Vossiek, V. Mágori und H. Ermert, "An Ultrasonic Multielement Sensor System for Position Invariant Object Identification", presented  
15 at IEEE International Ultrasonic Symposium, Cannes, France, 1994, verwiesen [4]. Erfindungsgemäß werden die bekannten Verfahren mit synthetischer Apertur zum Zweck einer funkbasierten Ortung dahingehend erweitert, dass nicht passiv an beliebigen Objekten störend reflektierte Signale zu einem  
20 Bild verarbeitet werden, sondern dass lediglich aktiv reflektierte Signale, die von unterschiedlichen Messpositionen aufgenommen wurden, überlagert werden und dann zum Zwecke einer Funkortung dienen.

25 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein Verwenden der synthetischen Apertur durch geeignetes Auswählen der Größe der Apertur und/oder der Amplituden-und/oder Phasengewichtung der Messdaten der Absolutsensorik zum Erzeugen eines Richtverhaltens der synthetischen Apertur derart, dass deren  
30 Richtdiagramm nahezu homogen im Bereich einer Fehlerellipse der Absolutsensorik liegt. Das Richtdiagramm liegt nahezu homogen im Bereich einer Fehlerellipse einer vorherigen Positionsmessung, die mit beliebigen Mitteln ausgeführt wurde.

35

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein alternatives Verwenden der synthetischen Apertur durch

von einer bekannten Position der ortsfesten Station auf unbekannte Positionen der mobilen Station erfolgendes Zurückrechnen bzw. Abbilden mittels eines Verfahrens der synthetischen Apertur, insbesondere mittels eines breitbandholographischen  
5 Abbildungsverfahrens. Mittels eines derartigen Verfahrens wird zu einem Abstandsmesswert zusätzlich ein Winkelmesswert erzeugt.

10 Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein alternatives Verwenden der synthetischen Apertur durch ein Zurückrechnen bzw. Abbilden bekannter Positionen der mobilen Station auf eine unbekannte Position der ortsfesten Station.

15 Gemäß einem vorteilhaften Verfahren bzw. einer vorteilhaften Vorrichtung werden Entfernung und Winkelinformation zwischen mobiler Station, insbesondere einem Sekundärradar, und ortsfester Station, insbesondere einem Transponder berechnet. Die Verfahrensschritte werden durch entsprechend bereitgestellte  
20 Einrichtungen ausgeführt.

Gemäß einem vorteilhaften Verfahren bzw. einer vorteilhaften Vorrichtung werden die Entfernungs- und Winkeldaten eines  
oder mehrerer mobiler Stationen, insbesondere des oder der  
25 Transponder im Sekundärradar, mittels eines Kalman-Filters für eine oder mehrere Positionen fusioniert. Die Verfahrensschritte werden durch entsprechend bereitgestellte Einrichtungen ausgeführt.

30 Gemäß einem vorteilhaften Verfahren bzw. einer vorteilhaften Vorrichtung werden die ortsfesten Stationen, insbesondere Transponder, als passive Backscattertags ausgeführt und eine absolute Positionsbestimmung nach Entfernung und Winkel erfolgt relativ zum Sekundärradar. Die Verfahrensschritte werden  
35 durch entsprechend bereitgestellte Einrichtungen ausgeführt.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein Wiederholen der Schrittfolgen zur Verbesserung der Positionsbestimmung der mobilen Station.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein anfängliches grobes Fokussieren mittels eines Messwertes der Absolut-und/oder der Relativ-Sensorik.

10 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform erfolgt ein anfängliches grobes Fokussieren mittels Informationen vorangegangener Messdaten.

15 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform wird zum Zurückrechnen bzw. Abbilden von einem Punkt  $b(x, y, z)$  der ersten, insbesondere ortsfesten, Station das gemessene Empfangssignal  $E_n(\omega)$  mit der theoretischen Funktion  $F_n(a_n, r, \omega)$  korreliert, die eine erste, insbesondere ortsfeste, Station, die ideal als punktförmiger Reflektor angenommen wird, an der Position  $r = (x, y, z)^T$  vom Messpunkt  $a_n = (x_n, y_n, z_n)^T$  der zweiten, insbesondere, mobilen Station aus betrachtet erzeugen würde.

20

Eine vorteilhafte Vorrichtung zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines eine mobile und mindestens eine ortsfeste Station aufweisenden funkbasierten Ortungssystems überlagert die von mehreren unterschiedlichen Übertragungswegen stammenden Echo-profile zumindest eines Sekundärradars unter Zuhilfenahme mehreren unterschiedlichen dazugehörigen Positionsdaten der Relativsensorik zur Erzeugung einer synthetischen Apertur in Form einer virtuellen Antenne.

25

30

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind mindestens zwei ortsfeste Stationen bereit gestellt, so dass Lateralisationsdaten erzeugt werden können.

35 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist die mobile Station durch ein Sekundärradar und die mindestens eine ortsfeste

te Station durch einen Transponder ausgebildet, so dass ein „self-positioning“-System erzeugt ist.

5 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind die mobile Station durch einen Transponder und die mindestens eine ortsfeste Station durch ein Sekundärradar ausgebildet, so dass ein „remote-positioning“-System erzeugt ist.

10 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist eine Datenübertragungseinrichtung zur Übertragung von Daten von mindestens einem Sekundärradar zur Signalverarbeitungseinrichtung bereitgestellt.

15 Die vorliegende Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren beispielhaft beschrieben. Es zeigen:

- 20 Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel zur Positionsbestimmung (self positioning);
- Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel zur Positionsbestimmung (self positioning);
- 25 Fig. 3 eine Darstellung zur Positionsabbildung mittels eines breitbandholographischen Abbildungsverfahrens;
- Fig. 4 ein viertes Ausführungsbeispiel zur Positionsbestimmung (remote positioning);
- 30 Fig.5 eine Darstellung zur Abschätzung der Auflösung breitbandholographischer Verfahren;

35 Dargestellt werden die erfindungsgemäßen Verfahren anhand einer Sensorik zur Positionierung von Roboterarmen. Figur 1 zeigt einen derartigen typischen Roboter. Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel zur Positionsbestimmung mittels

eines „Self positioning“-Systems, anhand dessen sich auf einfache Weise ein Verfahren zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines Funkortungssystems beschreiben lässt. Bei "Self-positioning" Systemen befindet sich die eigentliche Messeinheit Sekundärradar SR im mobilen Gerät bzw. in der mobilen Station, so dass das mobile Gerät also seine eigene Position bestimmt. Ortsfeste Stationen sind mittels Transponder TP ausgebildet. Per Funkkommunikation könnten die Positions-Informationen der anderen, nicht messenden Seite zur Verfügung gestellt werden. AE bezeichnet eine Auswerteeinheit. Abstände sind mit  $d$  bezeichnet. A ist eine Antenne.

In Figur 1 ist eine derartige Auslegung dargestellt, bei der sich das Sekundärradar SR auf dem mobilen Objekt - also hier zum Beispiel an dem Greifer des Roboterarms - befindet. Es sind drei Transponder TP als ortsfeste Stationen bereitgestellt. Der Roboter sei zudem durch eine Relativsensorik RS - zum Beispiel mit mehreren Winkelencodern RS1, RS2, RS3 an jedem Gelenk ausgerüstet, so dass die Richtung und der Betrag einer Positionsänderung relativ zur ursprünglichen Position quantifiziert werden kann.

Das Verfahren lässt sich anhand eines so genannten "Self-positioning" Systems beschreiben. Für eine absolute Positionierung sind die heutzutage in einem vernünftigen Kostenrahmen verfügbaren Drehgeber nicht ausreichend genau, da sich ihre Fehler über größere Verfahrswege akkumulieren. Zudem gibt es häufig Ungenauigkeiten aufgrund von mechanischen Verformungen. Typische Geräte/Systeme mit Relativsensoren liefern daher

- 1) eine gute Wiederholgenauigkeit,
- 2) eine sehr gute Genauigkeit bezüglich kleiner Positionsänderungen,
- 3) jedoch schlechte absolute Positionswerte bei freien Bewegungen über einen größeren Bereich.

Speziell das letztere Problem 3) wird durch die vorliegende Erfindung durch die Ausnutzung von der Eigenschaft 2) in Verbindung mit einem wie zuvor beschriebenen Funkortungssystem gelöst.

5

Erfindungsgemäß wird die Eigenschaft 2) dahingehend ausgenutzt, dass durch die Bewegung des mobilen Systems eine synthetische Apertur aufgespannt wird. Entscheidend ist hierbei, dass es hierzu nicht notwendig ist, die absolute Position der Antenne A des Sekundärradars SR zu kennen - es reicht zur Berechnung einer synthetischen Apertur aus die Relativ-Koordinaten der Aperturstützpunkte zu einem beliebigen Bezugspunkt (zum Beispiel dem Startpunkt der Messung) zu kennen - gerade diese Information liefern aber verschiedenste Relativsensoren in vorteilhafter Weise.

Wenn man mit dem Sekundärradar in Verbindung mit der Bewegung eine synthetische Apertur aufgespannt hat, ist es möglich, nachträglich auf rechnerischem Wege vergleichsweise sehr richtscharf (verglichen mit der nahezu ungerichteten Wellenausbreitung bei einer üblichen Funkortungs-Einzelmessung) das Funksignal auf einen nahezu beliebigen Punkt im Raum zu fokussieren - das heißt es wird rechnerisch eine Situation erzeugt, als ob man mit einer richtscharfen physikalischen Antenne zum Transponder gemessen hätte. Es ist bekannt, dass die Verwendung von richtscharfen Antennen zu eine signifikanten Verringerung der Mehrwegeproblematik führt.

Da die Position des Transponders zunächst unbekannt ist, ist es im Allgemeinen nicht möglich unmittelbar den Fokus rechnerisch auf den Transponder einzurichten. Erfindungsgemäß wird eine synthetischen Apertur gemäß zweier Alternativen verwendet.

35 Alternative 1

Durch die verwendete Sensorik, das heißt die Relativsensorik und/oder die Funkortungssensorik bzw. Absolutsensorik in einer Grundausführung nach dem Stand der Technik, ist es in aller Regel möglich, die Position des Transponders zumindest

5 grob zu bestimmen. Gemäß der ersten Alternative ist eine typische Fehlerellipse abschätzbar, die den zu erwartenden Fehlerbereich der Ortungsmessung charakterisiert. Folglich kann man mit einer gewissen Sicherheit davon ausgehen, dass sich der Transponder irgendwo innerhalb eines Raumsektors, der

10 durch den Messwert und die Fehlerellipse beschrieben wird, aufhält. Es wird nun die Sende-/Empfangsrichtung der synthetischen Apertur rechnerisch auf den zuvor grob gemessenen Aufenthaltsort des Transponders ausgerichtet. Durch eine geeignete Wahl der Größe der Apertur und gegebenenfalls durch

15 geeignete Amplitudengewichtung der Messsignale wird ferner dafür gesorgt, dass das Richtdiagramm der synthetischen Apertur nahezu homogen im Bereich der Fehlerellipse ist und so vorzugsweise im Winkelbereich neben der Fehlerellipse stark abklingt und dort nur geringe Nebenmaxima hat. Wie durch die

20 Größe der Apertur sowie durch Amplituden- und Phasengewichtung der empfangenen Signale bei einer synthetischen Apertur ein bestimmtes Richtverhalten erzeugt wird, ist dem Experten - zum Beispiel durch die oben aufgeführte Literatur - bekannt. Es wird also eine virtuelle Antenne generiert, die so

25 richtscharf wie möglich, aber so ungerichtet wie aufgrund der unscharfen, fehlerbehafteten Vorinformation nötig, auf den Transponder gerichtet wird. Die Erhöhung der Richtschärfe der Funkübertragung führt zu einer signifikanten Verringerung der Multipath-Fehler. Die "verbesserten" Messsignale, die mit

30 Hilfe der synthetischen Apertur erzeugt werden, können dann ganz normal einer üblichen übergeordneten Ortungs-Algorithmik nach einem bekannten Stand der Technik zugeführt werden. Das beschriebene Verfahren muss für eine räumliche Ortung auf

35 mindestens zwei Transponder angewendet werden, um die notwendigen Lateralisationsdaten zu bekommen. Um die Vorinformation zu verbessern - also um noch richtscharfer fokussieren zu können - wäre es denkbar, Informationen von zurückliegenden

Messungen heranzuziehen. Die Vorhersage des erwarteten neuen Aufenthaltsortes könnte zum Beispiel mit Hilfe eines Kalman-Filters erfolgen, ebenso die Abschätzung der Größe der Fehlerellipse.

5

Alternative 2

Die zweite Version der Position des Transponders zu bestimmen besteht darin, eine Art Bildgebung durchzuführen. Das heißt mit Hilfe des bewegten Sekundärradars werden alle im Raum befindlichen Transponder in einem Bildbereich  $b(x, y, z)$  abgebildet. Da der Bildbereich einen bekannten Bezug zur Position des Sekundärradars hat, wird durch die Abbildung der Transponder unmittelbar die relative Lage des Sekundärradars zu den Transpondern (die sich an konstanten Positionen befinden) bestimmt und somit auf seine absolute Lage im Raum geschlossen. Vorteilhaft ist hierbei, dass es theoretisch bei einer geeigneten zweidimensionalen Bewegung des Sekundärradars ausreicht, nur einen Transponder abzubilden, um die 3D-Position des Sekundärradars zu bestimmen. Dies kann für Applikationen, bei denen es aus Kosten- oder Abdeckungsgründen nicht möglich ist, eine gute Trilateralisationsbasis aufspannen, sehr vorteilhaft sein. Wenn anhand der Bildgebung die Entfernung und Richtung von mehreren Transpondern zum Sekundärradar bestimmt werden, könnten diese Werte ganz normal einer üblichen übergeordneten Ortungs-Algorithmik nach einem beliebigen Stand der Technik zugeführt werden. Zur Abbildung der Transponder können alle bekannten bildgebenden synthetischen Apertur-Verfahren und -algorithmen Anwendung finden.

30

In Figur 2 ist zur Veranschaulichung eine weitere ähnlich gelagerte Ortungsapplikation dargestellt. Darüber hinaus sind die erfindungsgemäßen Anordnungen und Verfahren aber auch auf ganz andere Applikationen wie etwa die Ordnung von Fahrzeugen, Gabelstapler, Kräne, Personen von mobilen Endgeräten wie Handys, Laptops u.v.a.m. direkt übertragbar.

35

Zur Abbildung der Transponder TP können alle bekannten bildgebenden synthetischen Apertur-Verfahren und -algorithmen Anwendung finden und auf die vorliegende Anwendung übertragen werden. Als Ausführungsbeispiel wird im Folgenden eine Variante mit dem so genannten breitbandholographischen Abbildungsverfahren dargestellt. Zur Erläuterung der Aufnahmesituation dient Figur 3.

Wie schon aufgezeigt wurde, erfolgt die Datenaufnahme derart, dass jeweils ein Sekundärradar ein Signal von der Position  $a_n = (x_n, y_n, z_n)^T$  emittiert. Aus Gründen der Überschaubarkeit wird zunächst davon ausgegangen, dass das Sekundärradar das vom Transponder zurückgesendete Signal an der selben Position  $a_n$  empfängt. Eine Übertragung auf eine Anordnung mit getrennter Sende- und Empfangsantenne wäre - zum Beispiel mit Hilfe der oben aufgeführten Literatur - leicht möglich. Ein derartiger Messvorgang soll nun von  $M$  verschiedenen Messpositionen ( $a_n$  mit  $n = 1..M$ ) durchgeführt werden. Folglich führt die Messung zu einer Gruppe von  $M$  unterschiedlichen Messsignalen (Echoprofilen), die im Folgenden  $e_n(t)$  bzw. das zugehörige Spektrum  $E_n(\omega)$  genannt werden.

Die wahre und durch die Messung in idealer Weise zu bestimmende Position des Transponders sei  $P_{TP1} = (x_{TP1}, y_{TP1}, z_{TP1})^T$ .

Für eine kompakte Darstellung wird von weiteren Vereinfachungen ausgegangen:

- Der Messbereich in dem sich der Transponder aufhalten kann, sei auf einen Raumbereich begrenzt, in dem sichergestellt ist, dass der Transponder von allen Positionen  $a_n$  vom Sekundärradar erfasst werden kann.
- Es wird im folgenden von einem gleichförmigen, konstanten nicht richtungsabhängigen Richtverhalten aller Antennen ausgegangen.
- Die Basis zur Modellierung des Übertragungskanals sei ein idealer AWGN-Kanal. Das heißt, das vom Radar empfangene Echoprofil  $e_n(t)$  kann mit einem Modell beschrieben werden,

bei dem sich das Empfangssignal als lineare Superposition von  $P$  amplitudengewichteten und zeitverzögerten Sendesignalen ergibt, wobei der Index  $p$  die verschiedenen Übertragungswege (direkter Weg und Multipath-Umwege) vom Sekundär-  
 5 radar zum Transponder und zurück kennzeichnet.

$$e_n(t) = \alpha_n \cdot \sum_{p=1}^P \alpha_p \cdot s(t - \tau_n - \tau_p) + n(t)$$

$\alpha_n$  sei eine für jeden Messweg  $n$  charakteristische Dämpfungs-  
 10 konstante.

$\alpha_p$  soll zudem die über die normale Grunddämpfung hinausgehende Dämpfung für jeden der  $p$  Übertragungswege berücksichtigen.  
 15

$\tau_n$  sei die für den Messweg  $n$  charakteristische Signallaufzeit (das heißt die Signallaufzeit vom direkten, kürzesten Weg vom Sekundärradar zum Transponder und zurück).  
 20

$\tau_p$  soll zudem mögliche Laufzeitverlängerungen aufgrund von Mehrfachreflexionen für jeden der  $p$  Übertragungswege berücksichtigen.  
 25

$n(t)$  beschreibt additiv überlagerte Störungen (additive white Gaussian noise AWGN).  
 25

Transformiert man die Gleichung zum Übertragungsmodell in den Frequenzbereich, so ergibt sich:

$$30 \quad E_n(\omega) = \alpha_n \cdot \sum_{p=1}^P \alpha_p \cdot S(\omega) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot \tau_n} \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot \tau_p} + N(\omega).$$

Die Grundlaufzeit  $\tau_n$  zu einem beliebigen Raumpunkt  $r = (x, y, z)^T$  und zurück berechnet sich gemäß:

$$35 \quad \tau_n = \frac{2 \cdot |r_n|}{c} \quad \text{und}$$

$$|r_n| = |r - a_n| = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 + (z - z_n)^2},$$

wobei  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle ist.

5

Der breitbandholographische Rekonstruktionsalgorithmus basiert auf einer Art Optimalfilterung. Zur Berechnung eines Bildpunktes  $b(x, y, z)$  wird das gemessene Empfangssignal  $E_n(\omega)$  mit der theoretischen Funktion  $F_n(a_n, r, \omega)$  korreliert, die ein

10 Transponder, der ideal als punktförmiger Reflektor angenommen wird - an der Position  $r = (x, y, z)^T$  vom Messpunkt

$a_n = (x_n, y_n, z_n)^T$  betrachtet erzeugen würde. Diese Korrelations/Vergleichsfunktion liefert nur dann einen großen Wert, so-

15 dann der Fall ist, wenn sich an der Position  $r$  tatsächlich ein Transponder befindet, also der angenommene Bildpunkt  $r$  tatsächlich der Position des Transponders  $P_{TP1} = (X_{TP1}, Y_{TP1}, Z_{TP1})^T$  entspricht.

20 Durch Summation der Korrelationsergebnisse für alle  $M$  Messwege ergibt sich eine Art Wahrscheinlichkeitswert, der aussagt, ob an der Position  $r$  ein Transponder vorhanden bzw. nicht vorhanden ist. Die Rekonstruktionsvorschrift lautet somit:

$$25 \quad b(x, y, z) = \left| \sum_{n=1}^M \int E_n(\omega) \cdot F_n^{-1}(a_n, r = (x, y, z)^T, \omega) d\omega \right|.$$

Das hier zum Signalvergleich (nach Art einer Korrelation) gewählte inverse Filter entspricht bezüglich des exponentiellen Ausbreitungsterms dem üblicherweise verwendeten Matched-

30 Filter-Ansatz (das heißt Multiplikation mit dem konjugiert komplexen Signal, also  $F_n^*(a_n, r, \omega)$ ). Basierend auf dem zuvor beschriebenen Übertragungsmodell und unter Vernachlässigung der additiven Störungen, ergibt sich das Signal  $F_n(a_n, r, \omega)$  eines fiktiven Transponders in  $r$  zu:

$$35 \quad F_n(a_n, r, \omega) = \sum_{p=1}^P \alpha_n \cdot \alpha_p \cdot S(\omega) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot \tau_n} \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot \tau_p}$$

Im Weiteren wird noch angenommen, dass das Sendesignal  $S(\omega = 1)$  ist, was ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit möglich ist, da etwaige nichtideale Eigenschaften des Sendesignals - zumindest im interessierenden Übertragungsbereich - durch den oben dargestellten Ansatz des inversen Filters kompensiert werden könnten.

Setzt man diese Signalhypothese nun in die oben eingeführte Rekonstruktionsvorschrift ein, so folgt:

$$b(x, y, z) = \left| \sum_{n=1}^M \int E_n(\omega) \cdot \sum_{p=1}^P \alpha_n \cdot \alpha_p \cdot e^{j \cdot \omega \cdot (\tau_n + \tau_p)} d\omega \right|.$$

Substituiert man  $\tau_n + \tau_p$  durch  $t$  und zieht die Summe über  $p$  vor das Integral, so erkennt man, dass das Integral über die Kreisfrequenz  $\omega$  einer inversen Fouriertransformation entspricht und somit das Empfangssignal zum Zeitpunkt  $t = \tau_n + \tau_p$  liefert. Da die Signalumwege  $\tau_p$  bis auf den direkten Weg, bei dem  $\tau_p = 0$  ist, unbekannt sind, wird das Signalmodell auf diesen Weg reduziert. Die endgültige Rekonstruktionsvorschrift lautet demzufolge:

$$b(x, y, z) = \left| \sum_{n=1}^M e_n(t = \tau_n) \right|$$

Anzumerken ist, dass etwaige reelle Empfangssignale vor der Summation zu einem komplexen Signal erweitert werden müssen, um so die Hüllkurve der Bildfunktion, also eine Art "Helligkeitsfunktion" bestimmen zu können. Die Berechnung des komplexen Signals kann mit Hilfe der Hilbert-Transformation erfolgen.

Der gewonnene Ausdruck lässt sich sehr anschaulich interpretieren. Befindet sich tatsächlich ein Transponder an der Position  $r$ , so tritt sein Antwortsignal in den Echoprofilen  $e_n(t)$  jeweils beim Zeitpunkt  $t = \tau_n$  auf. Durch die laufzeit-

richtige Summation über die M Messwege werden seine Signalbeiträge durch die Rekonstruktionsvorschrift kohärent überlagert, so dass sich ein großer Wert für  $b(x, y, z)$  ergibt. Etwaige Signalanteile anderer, nicht in  $r$  positionierter Transponder, Signalanteile von Mehrwegreflexionen oder Rauschen überlagern sich dagegen, wegen der nicht konsistenten Laufzeiten, inkohärent und führen somit zu einem wesentlich kleineren Bildsignal. Um sicher sein zu können, dass eine inkohärente Superposition mehrerer Echosignale zu einer kleinen Amplitude führt, ist zu fordern, dass die Anzahl der Messpunkte  $M$  nicht zu klein gewählt ist.

Es ist leicht zu zeigen, dass fast alle im Laufe der Herleitung gemachten Vereinfachungen nicht notwendig sind und somit auch reale nicht-ideale Systemeigenschaften relativ einfach berücksichtigt werden könnten, wenn dies notwendig sein sollte. So könnten zum Beispiel ein ortsabhängiges Richtverhalten der Radar-Antenne und eine frequenzabhängige Übertragungsfunktion des Messsystems durch ein inverses Filter berücksichtigt werden.

Ein interessanter Nebeneffekt des Verfahrens der Variante 2) ist, dass es nicht zwangsläufig nötig ist, die Transponder im Zeit-, Frequenz- oder Codemultiplex zu betreiben. Bei normalen Funkortungssystemen ist dies notwendig, um auszuschließen, dass sich Transpondersignale gegenseitig stören bzw. die Überlagerung mehrerer Transpondersignale in der Messstation zu fehlerhaften Ergebnissen führt. Das erfindungsgemäße Verfahren liefert inhärent ein so genanntes space-division multiple access. Folglich können, wenn die Transponder örtlich so weit voneinander entfernt sind, dass sie durch die synthetische Apertur örtlich in der Abbildung getrennt aufgelöst werden, so sind die auch ohne eine weitere Codierung unterscheidbar.

Bisher ist bei den Ausführungen von einer "Self-positioning" Anordnung ausgegangen worden. Da es sich bei dem erfindungs-

gemäßen Verfahren immer um eine relative Zuordnung der Koordinaten des Radars und der Transponder handelt, ist es sofort offensichtlich, dass die Anordnung auch zu einem remote positioning System umgedreht werden kann.

5

Ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines ortsfesten Sekundärradars ist dabei bestimmt durch ein vorangehendes grobes Bestimmen der absoluten Position mindestens eines Sekundärradars mittels Bestimmen dessen relativer Position zu der absoluten Position eines angehaltenen einzigen Transponders nach einer Abbildung aller Sekundärradars in einem Bildbereich mittels Bewegung des Transponders, Bestimmen der relativen Position des angehaltenen Transponders zu den sich konstant an bekannten Positionen befindlichen Sekundärradars und darauf beruhendes Abschätzen der absoluten Position des angehaltenen Transponders.

Figur 4 zeigt ein weiteres mögliches Ausführungsbeispiel eines Funkortungssystems, dessen Messgenauigkeit mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens erhöht wird. Fig. 4 zeigt im Unterschied zu Fig. 1 ein „Remote-positioning“-System. Bei "Remote-positioning" Systemen verfügen ortsfeste Stationen über Messeinheiten (SR) und bestimmen somit dann von außen die Position des mobilen Geräts bzw. der mobilen Station (TP). Per Funkkommunikation könnten ebenso bei diesem System die Positions-Informationen der anderen, nicht messenden Seite zur Verfügung gestellt werden.

Im vorliegenden Fall muss die Information der Relativsensorik zu den ortsfesten Sekundärradaren übertragen werden, bzw. die Sekundärradare müssen ihre Echoprofile zu einer zentralen Auswerteeinheit Anmeldeunterlagen erstellen übertragen, wobei die Auswerteeinheit mit Hilfe der Information der Relativsensorik eines der oben genannten Verfahren durchführt.

35

Im Folgenden sollen nun noch einige Basisformeln zur Dimensionierung des Systems dargestellt werden, wobei die Parameter durch Fig. 5 dargestellt sind.

- 5 Da synthetische Apertur-Verfahren auf einer kohärenten Überlagerung von Messsignalen basieren, besteht eine notwendige Bedingung zur Anwendung der Verfahren darin, dass alle Messpositionen  $a_n = (x_n, y_n, z_n)^T$  relativ zueinander mit einer Abweichung  $\delta_{pos}$  deutlich unterhalb der Größe der Wellenlänge  $\lambda$  bekannt sein müssen. Ist diese Bedingung verletzt, ist eine gezielte kohärente Überlagerung der Signale nicht mehr möglich. Eine übliche Forderung ist zum Beispiel:

$$\delta_{pos} < \frac{\lambda}{8} < \frac{c}{f_m \cdot 8},$$

15

wobei  $f_m$  die Mittenfrequenz des Messsignals bezeichnet.

- Zur Abschätzung der zu erwartenden Auslösung breitbandholographischer Verfahren findet man in der Literatur die folgenden Angaben.

20

Die laterale Auflösung (zur Erläuterung s. Figur 5) beträgt ca.

$$25 \quad \delta_{lat} \sim \frac{z_0 \cdot c}{D \cdot f_m},$$

die axiale Auflösung (zur Erläuterung siehe Figur 5) beträgt etwa

$$30 \quad \delta_{ax} \sim \frac{c}{\Delta f},$$

wobei die verwendeten Variablen wie folgt definiert sind:

- $z_0$ : mittlerer Abstand von der Aperturebene zum Aufnahmebereich,

35

$D$  : Länge der Apertur,  
 $c$  : Wellenausbreitungsgeschwindigkeit,  
 $f_m$  : Mittenfrequenz der Messsignale,  
 $\Delta f$  : Bandbreite der Messsignale.

5

Im Folgenden werden die Kenngrößen für ein System, das bei der Mittenfrequenz 5.8 GHz und mit einer Bandbreite von 100 MHz arbeitet und das für eine Roboteranwendung wie etwa in Figur 1 dargestellt eingesetzt werden soll, betrachtet: Der Arbeitsbereich des Roboters sei auf einen Raumbereich begrenzt, bei dem  $Z_0$  maximal 4 m betragen soll. Durch die Bewegung des Roboterarms soll zum Beispiel eine synthetische Apertur von 20 cm aufgespannt werden.

15 In dem vorliegenden Fall ist die erzielte laterale Auflösung von ca. 1 m schon deutlich besser als die axiale Auflösung. Letztere ist bei üblichen Funkortungssystemen nach dem Laufzeitprinzip eine der maßgeblichen Kenngrößen. Berücksichtigt man, dass die Genauigkeit der Positionsbestimmung durch Interpolationsverfahren typischerweise 1-2 Größenordnungen unterhalb der Auflösungsweite liegt, so lässt sich abschätzen, dass schon eine Messung nach den erfindungsgemäßen Verfahren zur nur einem einzelnen Transponder zu einer Messunsicherheit von nur wenigen cm führt - zumindest dann, wenn der kürzeste, direkte Übertragungsweg mit ausreichendem Pegel vorhanden ist. Durch Kombination von Messungen von einem Sekundärradar zu mehreren Transpondern und/oder Messungen von mehreren Sekundärradaren zu zumindest einem Transponder wäre die Genauigkeit dann noch weiter zu steigern, so dass Messunsicherheiten im Millimeter- oder Sub-Millimeter-Bereich erreichbar sind.

Die Anforderungen an die Messgenauigkeit der Relativsensorik wäre nach den oben dargestellten Formeln absolut  $\delta_{pos} < 6.5$  mm also relativ bezogen auf die Aperturgröße 3%, was für übliche Drehgeber eine moderate Anforderung ist.

Als nächstes wird ein 433 MHz System zur Ortung von Fahrzeugen betrachtet. Der Arbeitsbereich des Fahrzeuges sei auf einen Raumbereich begrenzt, bei dem  $Z_0$  maximal 100 m betragen soll. Durch die Bewegung des Fahrzeuges soll zum Beispiel eine synthetische Apertur von 1 m aufgespannt werden. Die Anforderung an die Messgenauigkeit der Relativsensorik läge in diesem Fall ca.  $< 10$  cm also relativ bezogen auf die Aperturgröße von  $< 10\%$ , was mit üblichen Odometern und Lenkungsensoren zu erreichen wäre.

10

Das letzte Beispiel wäre zum Beispiel auch auf durch Personen getragene mobile Endgeräte (Laptops, WLAN, Bluetooth, Mobilfunkgeräte etc.) zu übertragen. In diesem Fall könnten als Relativsensoren zum Beispiel Beschleunigungssensoren oder Gyros eingesetzt werden.

15

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines eine mobile und mindestens eine ortsfeste Station aufweisenden funkbasierten Ortungssystems,  
5 gekennzeichnet durch
- mittels Messdaten einer Absolutsensorik und einer Relativsensorik erfolgendes Erfassen einer von einer Ausgangsposition ausgehenden Bewegung der mobilen Station,
  - 10 - mittels der Messdaten erfolgendes Erzeugen einer virtuellen Antenne in Form einer synthetischen Apertur, und
  - auf der Grundlage eines Verwendens der synthetischen Apertur erfolgendes aufeinander Fokussieren der mobilen Station auf die ortsfeste Station und/oder umgekehrt.
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
gekennzeichnet durch
- Verwenden der synthetischen Apertur durch geeignetes Auswählen der Größe der Apertur und/oder der Amplituden- und/oder  
20 Phasengewichtung der Messdaten der Absolutsensorik zum Erzeugen eines Richtverhaltens der synthetischen Apertur derart, dass deren Richtdiagramm nahezu homogen im Bereich einer Fehlerellipse einer beliebigen vorherigen Positionsmessung liegt.
- 25
3. Verfahren nach Anspruch 1,  
gekennzeichnet durch
- alternatives Verwenden der synthetischen Apertur durch von einer bekannten Position der ortsfesten Station auf unbekannt  
30 te Positionen der mobilen Station erfolgendes Zurückrechnen mittels eines Abbildungsverfahrens mit synthetischen Apertur, insbesondere mittels eines breitbandholographischen Abbildungsverfahrens.
- 35
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
gekennzeichnet durch

weiteres alternatives Verwenden der synthetischen Apertur durch ein Zurückrechnen bekannter Positionen der mobilen Station auf eine unbekannt Position der ortsfesten Station.

- 5 5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, bei dem Entfernung und Winkelinformation zwischen mobiler Station, insbesondere einem Sekundärradar, und ortsfester Station, insbesondere einem Transponder, berechnet werden.
- 10 6. Verfahren Anspruch 5, bei dem die Entfernungs- und Winkeldaten einer oder mehrerer mobiler Stationen, insbesondere des oder der Transponder im Sekundärradar, mittels eines Kalman-Filters für eine oder mehrere Positionen zusammengefasst werden.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem die ortsfesten Stationen, insbesondere die Transponder, als passive Backscattertags ausgeführt sind und eine absolute Positionsbestimmung nach Entfernung und Winkel relativ zur mobilen Station, insbesondere zum Sekundärradar, erfolgt.
- 20 8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch Wiederholen der Schrittfolge zur Verbesserung der Positionsbestimmung der mobilen Station.
9. Verfahren nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch ein anfängliches grobes Fokussieren mittels eines Messwertes der Absolut-und/oder der Relativ-Sensorik.
- 30 10. Verfahren nach Ansprüchen 2 oder 9, gekennzeichnet durch ein anfängliches grobes Fokussieren mittels Informationen vorangegangener Messungen.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 3 bis  
 10, dadurch gekennzeichnet, dass  
 zum Zurückrechnen von einem Punkt  $b(x, y, z)$  einer ersten Sta-  
 5 tion das gemessene Empfangssignal  $E_n(\omega)$  mit der theoretischen  
 Funktion  $F_n(a_n, r, \omega)$  korreliert wird, die eine erste Station,  
 die ideal als punktförmige Wellenquelle angenommen wird, an  
 der Position  $r = (x, y, z)^T$  vom Messpunkt  $a_n = (x_n, y_n, z_n)^T$  der  
 zweiten Station aus betrachtet erzeugen würde.

10

12. Verfahren nach Anspruch 11,  
 dadurch gekennzeichnet, dass  
 eine Rekonstruktionsvorschrift lautet:

$$15 \quad b(x, y, z) = \left| \sum_{n=1}^M \int E_n(\omega) \cdot \sum_{p=1}^P \alpha_n \cdot \alpha_p \cdot e^{j \cdot \omega \cdot (\tau_n + \tau_p)} d\omega \right|.$$

13. Verfahren nach Anspruch 12,  
 dadurch gekennzeichnet, dass  
 eine endgültige Rekonstruktionsvorschrift lautet:

20

$$b(x, y, z) = \left| \sum_{n=1}^M e_n(t = \tau_n) \right|.$$

14. Vorrichtung zur Erhöhung der Messgenauigkeit eines eine  
 mobile und mindestens eine ortsfeste Station aufweisenden  
 25 funkbasierten Ortungssystems,  
 gekennzeichnet durch

a) eine aus mindestens einem Sekundärradar und mindestens ei-  
 nem Transponder erzeugte Absolutsensorik,

30

b) mindestens eine zur Quantifizierung des Betrages und der  
 Richtung einer Positionsänderung der mobilen Station rela-  
 tiv zu einer ursprünglichen Position bereit gestellte Re-  
 lativsensorik,

35

c) eine Signalverarbeitungseinrichtung zur gemeinsamen Verarbeitung von mittels der Absolutsensorik und der Relativsensorik erfassten Messdaten zum Erzeugen einer virtuellen Antenne in Form einer synthetischen Apertur, und

5

d) eine Fokussiereinrichtung zum aufeinander Fokussieren der mobilen Station auf die ortsfeste Station und/oder umgekehrt auf der Grundlage der synthetischen Apertur.

10 15. Vorrichtung nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
mindestens zwei ortsfeste Stationen bereit gestellt sind.

15 16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die mobile Station durch ein Sekundärradar und die mindestens  
eine ortsfeste Station durch einen Transponder ausgebildet  
ist.

20 17. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die mobile Station durch einen Transponder und die mindestens  
eine ortsfeste Station durch ein Sekundärradar ausgebildet  
ist.

25

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 oder 17,  
gekennzeichnet durch  
eine Datenübertragungseinrichtung zur Übertragung von Daten  
von mindestens einem Sekundärradar zur Signalverarbeitungseinrichtung.

30

19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden  
Ansprüche 14 bis 18,  
35 gekennzeichnet durch  
einen Kalmanfilter zur als Vorinformation dienenden groben  
Voraussage eines Positionswerts einer ortsfesten Station.

20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 14 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 das Ortungssystem ein RTOF (round trip time of flight) oder ein TOA (time of arrival) Funkortungssystem ist.

FIG 1

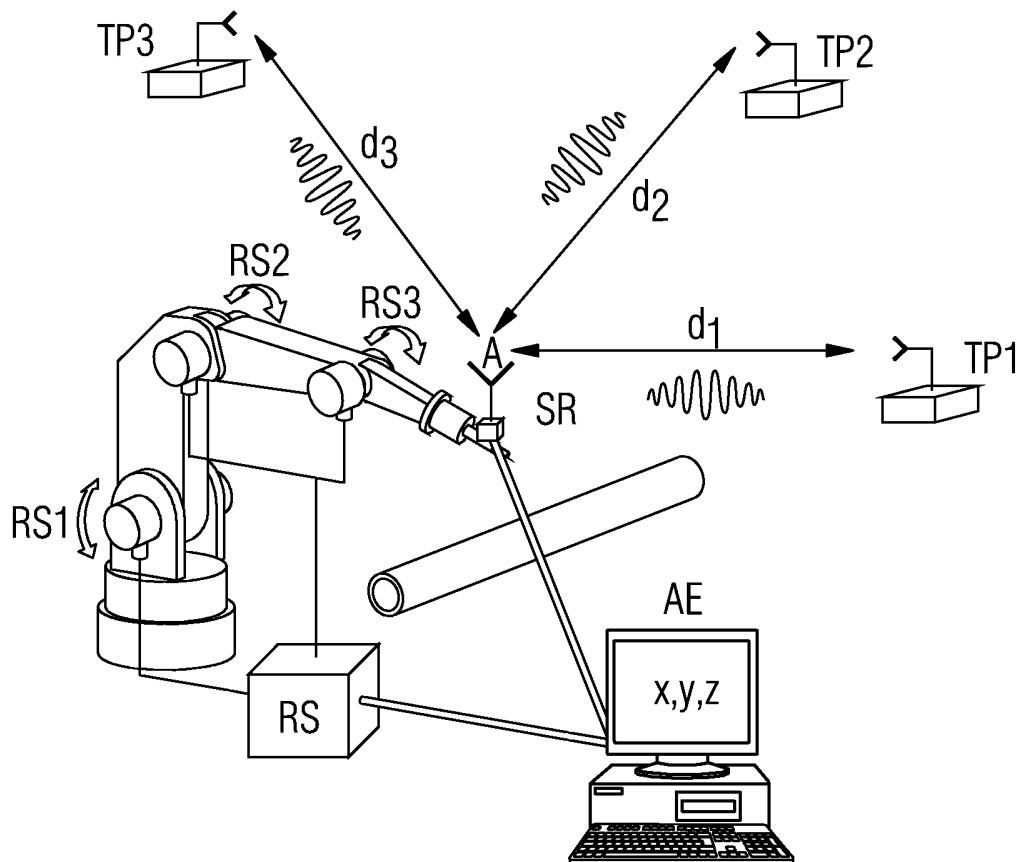


FIG 2

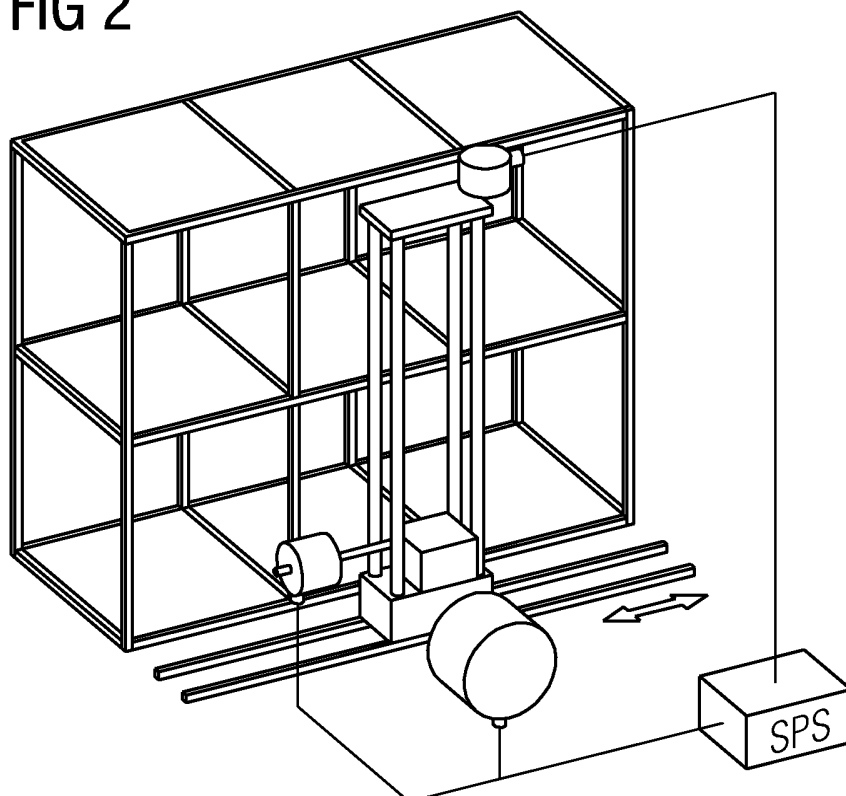


FIG 3

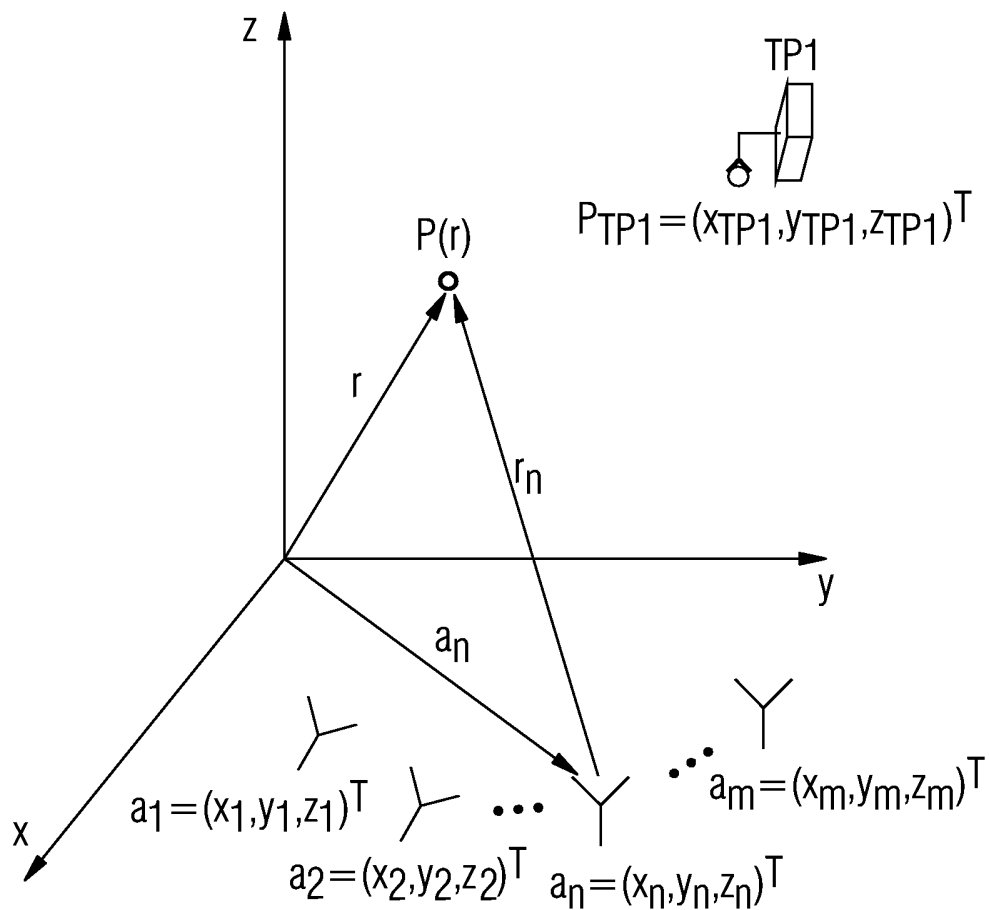


FIG 4

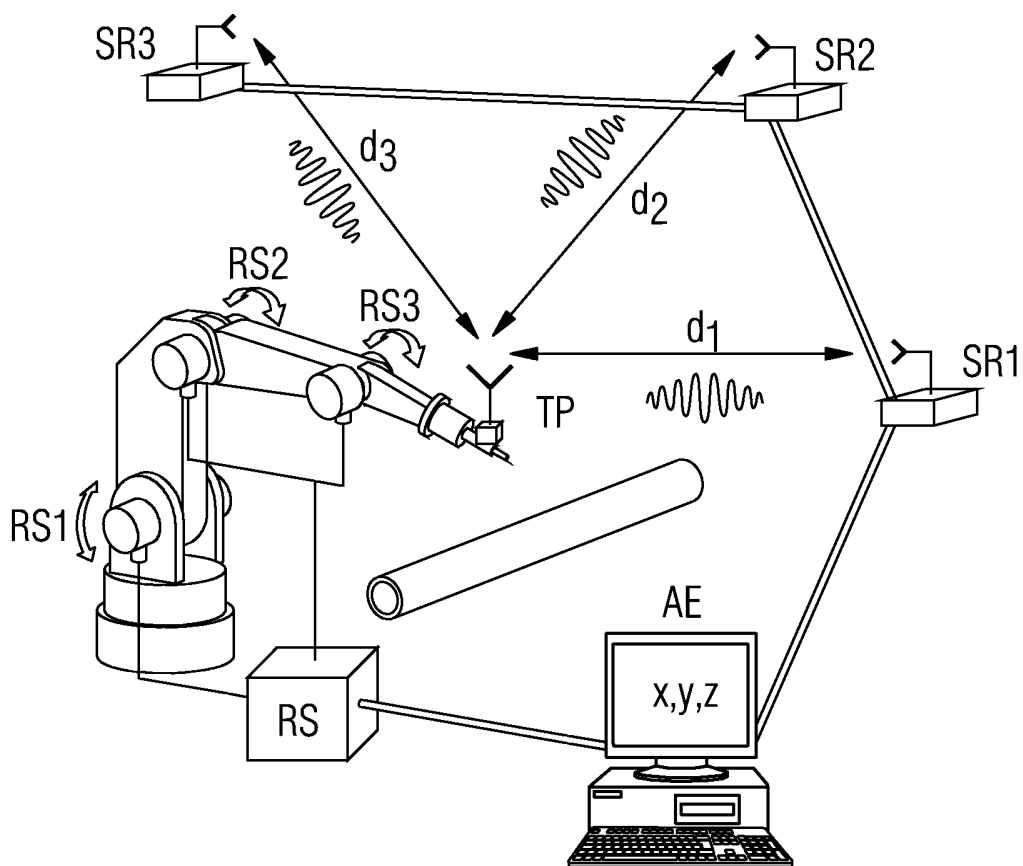


FIG 5

