

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50153/2022
(22) Anmeldetag: 10.03.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2023

(51) Int. Cl.: **G01S 19/02** (2010.01)
G01S 19/03 (2010.01)
G01S 19/39 (2010.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2011234454 A1
CN 207301335 U
US 2013265193 A1

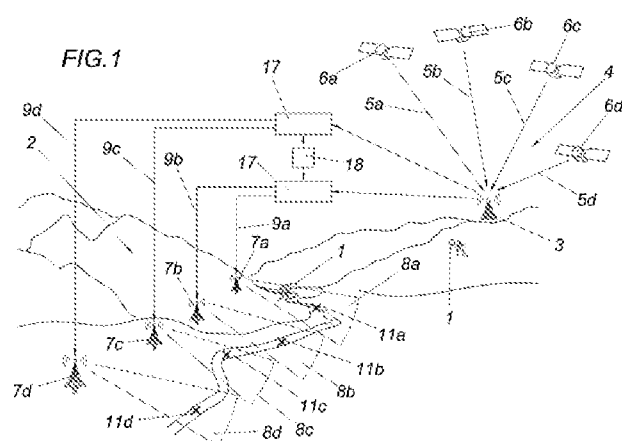
(71) Patentanmelder:
IGASPIN GmbH
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH
4020 Linz (AT)

(54) Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts

(57) Es wird ein Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts (1) in einem Versorgungsgebiet (2) mit unzureichender Qualität eines Satellitensignals (5a,5b,5c,5d) eines Satelliten (6a,6b,6c,6d) beschrieben. Um eine hinreichend genaue Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts (1) in empfangsschwachen Versorgungsgebieten (2), sowie am Übergangsbereich zwischen dem Versorgungsgebiet (2) und dem empfangsstarken Gebiet (4) zu ermöglichen, ohne dass hierfür aus dem Stand der Technik bekannte Ortungsgeräte (1) angepasst werden müssten, wird vorgeschlagen, dass das Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) außerhalb des Versorgungsgebiets (2) von einer Referenzantenne (3) empfangen und aus dem Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) ein sich wiederholendes Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, wonach für mehrere Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) im Versorgungsgebiet (2) je ein Replikasignal (10a,10b,10c,10d) erzeugt wird, wobei die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich (9a,9b,9c,9d) der jeweiligen Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne (3) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) als Verschiebungsparameter Δt bestimmt und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter Δt verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei das Satellitensignal

(5a,5b,5c,5d) und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) im Randbereich des Versorgungsgebietes (2) soweit übereinstimmen, dass sie vom Ortungsgerät (1) nicht unterschieden werden.



Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts (1) in einem Versorgungsgebiet (2) mit unzureichender Qualität eines Satellitensignals (5a,5b,5c,5d) eines Satelliten (6a,6b,6c,6d) beschrieben. Um eine hinreichend genaue Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts (1) in empfangsschwachen Versorgungsgebieten (2), sowie am Übergangsbereich zwischen dem Versorgungsgebiet (2) und dem empfangsstarken Gebiet (4) zu ermöglichen, ohne dass hierfür aus dem Stand der Technik bekannte Ortungsgeräte (1) angepasst werden müssten, wird vorgeschlagen, dass das Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) außerhalb des Versorgungsgebiets (2) von einer Referenzantenne (3) empfangen und aus dem Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) ein sich wiederholendes Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, wonach für mehrere Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) im Versorgungsgebiet (2) je ein Replikasignal (10a,10b,10c,10d) erzeugt wird, wobei die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich (9a,9b,9c,9d) der jeweiligen Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne (3) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) als Verschiebungsparameter Δt bestimmt und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter Δt verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei das Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) im Randbereich des Versorgungsgebietes (2) soweit übereinstimmen, dass sie vom Ortungsgerät (1) nicht unterschieden werden.

(Fig. 1)

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts in einem Versorgungsgebiet mit unzureichender Qualität eines Satellitensignals eines Satelliten.

Zur Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts ist es aus dem Stand der Technik bekannt, dass das Ortungsgerät Satellitensignale (GNSS-Signale) mit sich wiederholenden Signalmustern und Satellitenpositionsdaten empfängt und über die Laufzeit der Satellitensignale den Abstand vom Ortungsgerät zum jeweiligen Satelliten bestimmt. Grundsätzlich kann auf diese Weise anhand von drei verschiedenen Satellitensignalen unterschiedlicher Satelliten die Position des Ortungsgeräts bestimmt werden. Da jedoch das Ortungsgerät üblicherweise keine ausreichend genaue Uhr zur korrekten Laufzeitbestimmung der Satellitensignale aufweist, wird das Satellitensignal eines vierten Satelliten verwendet, um eine ausreichend genaue Positionsbestimmung zu ermöglichen. Diese aus dem Stand der Technik bekannte Positionsbestimmung wird auch Pseudorange-Verfahren bezeichnet und hat den Nachteil, dass für eine ausreichend genaue Positionsbestimmung das Ortungsgerät das Satellitensignal von wenigstens 4 Satelliten empfangen werden muss.

Um auch empfangsschwache Versorgungsgebiete wie Tunnel mit einem Satellitensignal zu versorgen, ist es daher aus der CN207301335U bekannt, im Tunnel Sendeantennen anzuordnen, die von einem Generator erzeugte Versorgungssignale aussenden, welche von einem Ortungsgerät eines Zuges empfangen werden können. Nachteilig am aus der CN207301335U bekannten Verfahren ist aber, dass die vom Generator erzeugten Versorgungssignale von den

tatsächlichen Satellitensignalen der Satelliten außerhalb des empfangsschwachen Versorgungsgebiets abweichen, sodass die vom Generator erzeugten Versorgungssignale vom Ortungsgerät als Störung wahrgenommen werden und lediglich dann zur Positionsbestimmung verwendet werden, wenn deren Signal vielfach (40-50 dB) stärker ist als die Satellitensignale, was eine verhältnismäßig ressourcenaufwendige Signalerzeugen für die Sendeantennen bedeutet. Darüber hinaus weisen diverse aus dem Stand der Technik bekannte Ortungsgeräte Algorithmen auf, um solche künstlich verstärkten Signale zu erkennen und diese nicht zur Positionsbestimmung zu verwenden. Selbst wenn diese erzeugten Versorgungssignale zur Positionsbestimmung verwendet werden, ergibt sich am Übergang vom empfangsstarken Gebiet zum empfangsschwachen Versorgungsgebiet eine unpräzise Positionsbestimmung aufgrund der sprunghaften Umstellung des Ortungsgeräts von den tatsächlichen Satellitensignalen der Satelliten zum erzeugten Versorgungssignal des Generators.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Versorgen eines Versorgungsgebietes mit einem Satellitensignal vorzuschlagen, das einen ressourcenschonenden Betrieb mehrerer Sendeantennen erlaubt und eine hinreichend genaue Positionsbestimmung in empfangsschwachen Versorgungsgebieten, sowie am Übergangsbereich zwischen dem Versorgungsgebiet und dem empfangsstarken Gebiet ermöglicht, ohne dass hierfür aus dem Stand der Technik bekannte Ortungsgeräte angepasst werden müssten.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass das Satellitensignal außerhalb des Versorgungsgebiets von einer Referenzantenne empfangen und aus dem Satellitensignal ein sich wiederholendes Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, wonach für mehrere Sendeantennen im Versorgungsgebiet je ein Replikasignal erzeugt wird, wobei die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich der jeweiligen Sendeantenne und dem Satelliten und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne und dem Satelliten als Verschiebungsparameter bestimmt und das Replikasignal aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter

verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei das Satellitensignal und das Replikasignal im Randbereich des Versorgungsgebietes soweit übereinstimmen, dass sie vom Ortungsgerät nicht unterschieden werden. Zuzufolge der erfindungsgemäßen Maßnahmen kann ein nahtloser Übergang der Ortung des Ortungsgeräts am Übergangsbereich zwischen einem Bereich, in dem das Ortungsgerät das Satellitensignal empfangen kann und daher dieses Satellitensignal zur Positionsbestimmung verwendet, und dem Sendebereich im Versorgungsgebiet erreicht werden. Damit das Ortungsgerät das Satellitensignal und das Replikasignal im Randbereich des Versorgungsgebiets nicht unterscheidet bzw. nicht unterscheiden kann, ist das im Randbereich des Versorgungsgebiets über die jeweilige Sendeantenne abgestrahlte Replikasignal grundsätzlich mit dem Satellitensignal synchronisiert bzw. kohärent zum Satellitensignal und lediglich um den Verschiebungsparameter geringfügig verschoben. Das Ortungsgerät erkennt daher am Übergangsbereich zwischen Sendebereich im Versorgungsgebiet und dem empfangsstarken Bereich keinen Unterschied zwischen dem tatsächlichen Satellitensignal und dem erzeugten Replikasignal. Dadurch werden Fehler bei der Positionsbestimmung im empfangsschwachen Versorgungsgebiet vermieden, ohne die aus dem Stand der Technik bekannte Funktionsweise des Ortungsgeräts in empfangsstarken Gebieten zu beeinträchtigen. Für die Erfindung ist es lediglich erforderlich, dass die Satellitensignale in Echtzeit verarbeitet und die daraus erzeugten Replikasignale in Echtzeit an die Sendeantennen übertragen werden.

Im erfindungsgemäßen Verfahren wird zunächst ein Satellitensignal außerhalb des Versorgungsgebiets von einer Referenzantenne empfangen. Die Referenzantenne ist hierzu in einem empfangsstarken Gebiet angeordnet, also in einem Gebiet, in dem Satellitensignale von Satelliten empfangen werden können. Zur Positionsbestimmung des Ortungsgeräts kann die Referenzantenne wenigstens Satellitensignale vier unterschiedlicher Satelliten empfangen.

Das Satellitensignal weist in aus dem Stand der Technik bekannter Weise eine Trägerphase, ein sich wiederholendes, pseudozufälliges Signalmuster und eine Navigationsnachricht mit Satellitenpositionsdaten auf. Aus dem empfangenen

Satellitensignal werden das sich wiederholende Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert und daraus das Replikasignal erzeugt. Hierzu wird das Satellitensignal erfasst, gegebenenfalls von einer Trägerwelle demoduliert und getrackt. Das Tracking kann über die aus dem Stand der Technik bekannten DLL- (Delay Lock Loop) und/oder PLL- (Phase Lock Loop) und/oder FLL- (Frequency Lock Loop) Verfahren erfolgen. Das Tracking gibt in aus dem Stand der Technik bekannter Weise Aufschluss über die Laufzeit des Satellitensignals vom Satelliten zur Referenzantenne, sodass mit der bekannten Formel

$$\rho = t * c \quad (t = \text{Laufzeit [s]}, c = \text{Lichtgeschwindigkeit [m/s]}, \rho = \text{Pseudorange [m]})$$

die Pseudorange zwischen Satelliten und Referenzantenne und in weiterer Folge die Position der Referenzantenne bestimmt werden kann. Zur eindeutigen Positionsbestimmung gemäß dem aus dem Stand der Technik bekannten Pseudorange-Verfahren müssen vier Pseudoranges zwischen der Referenzantenne und vier verschiedenen Satelliten bekannt sein.

Da sich jedoch die Positionen der Sendebereiche der im Versorgungsgebiet angeordneten Sendeantennen von der Position der Referenzantenne unterscheiden, wird für jede Sendeantenne ein eigenes Replikasignal erzeugt, in dem das getrackte Satellitensignal für jede Sendeantenne eigens um einen Verschiebungsparameter Δt^i verändert wird. Dieser Verschiebungsparameter Δt^i entspricht der Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich der jeweiligen Sendeantenne und dem Satelliten t_{ZS}^i und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne und diesem Satelliten t_{RS}^i . Der erfindungsgemäße Verschiebungsparameter Δt^i berechnet sich durch:

$$\Delta t^i = t_{RS}^i - t_{ZS}^i$$

Mit

$$t = \frac{\rho}{c}$$

ergibt sich

$$\Delta t^i = \frac{\hat{\rho}_{int}^i - \hat{\rho}_{ref}^i}{c}$$

$\hat{\rho}_{int}^i$ ist die Pseudorange zwischen Zielposition und Satelliten i

$\hat{\rho}_{ref}^i$ ist die Pseudorange zwischen Referenzantenne und Satelliten i

Erfindungsgemäß wird das Versorgungsgebiet in Sendebereiche von mehreren Sendeantennen unterteilt, wobei in jedem Sendebereich eine Zielposition X_{int} vorgegeben wird, die das Ortungsgerät als seine eigene Position übernehmen soll, wenn es sich im jeweiligen Sendebereich befindet.

Mit

$$\hat{\rho}_{int}^i = \|X_{int} - X^i\| + b^i$$

X_{int} ist die vorgebbare Zielposition (bekannt)

X^i ist die Satellitenposition (bekannt)

b^i sind diverse Pseudorange-Fehler (Satellitenuhrfehler, Ionosphärenverzögerung, Troposphärenverzögerung, Empfängertaktabweichung etc.) bezüglich des Satellitensignals i

Und mit

$$\hat{\rho}_{ref}^i = \|X_{ref} - X^i\| + b^i$$

X_{ref} ist die Referenzposition der Referenzantenne (bestimmt)

Ergibt sich

$$\Delta t^i = \frac{\hat{\rho}_{int}^i - \hat{\rho}_{ref}^i}{c} = \frac{\|X_{int} - X^i\|}{c} - \frac{\|X_{ref} - X^i\|}{c} + \Delta B_{MK-ctrl}^i$$

$\Delta B_{MK-ctrl}^i$ sind Fehler bezüglich der Verarbeitungs- und Regelungszeit des erfindungsgemäßen Verfahrens

Ist dieser Verschiebungsparameter Δt^i bekannt, so kann aus dem Satellitensignal das Replikasignal für eine Sendeantenne abgeleitet werden, in dem das sich wiederholende Signalmuster des Satellitensignals um den Verschiebungsparameter Δt^i verschoben wird und das verschobene Signalmuster gemeinsam mit den Satellitenpositionsdaten beziehungsweise mit der Navigationsnachricht zum Replikasignal rekombiniert wird, das dann in weiterer Folge wieder auf eine Trägerwelle aufmoduliert wird, bevor es in dieser Form an die jeweilige Sendeantenne übertragen wird. Da sowohl die Referenzantenne als auch die Zielposition im Sendebereich der Sendeantenne konstant sind, hängt eine etwaige Dopplerverschiebung im Wesentlichen von der Bewegung des jeweiligen Satelliten ab, wobei aufgrund des vergleichsweise geringen Abstands zwischen der Referenzantenne und der Zielposition diese Dopplerverschiebung zwischen dem Satellitensignal und dem Replikasignal gleichbleiben kann.

Damit das Satellitensignal und das Replikasignal im Randbereich des Versorgungsgebietes soweit übereinstimmen, dass sie vom Ortungsgerät nicht unterschieden werden können, wird vorgeschlagen, dass für den Sendebereich einer Sendeantenne im Randbereich des Versorgungsgebiets die Differenz der Laufzeit zwischen dem Satelliten und dem Ortungsgerät im Sendebereich und der Laufzeit zwischen dem Satelliten und der vorgegebenen Zielposition im Sendebereich kleiner als die halbe Dauer des Signalmusters ist. Bei kommerziell üblichen Satellitennavigationssysteme wiederholt sich das Signalmuster beispielsweise jede Millisekunde (GPS L1), sodass die geforderte halbe Dauer des Signalmusters 0,5 Millisekunden entspricht. Dies bedeutet, dass die Zielposition in einem Randbereich des Versorgungsgebiets in diesem Beispiel nicht weiter als 150 m vom Rand des Versorgungsgebiets entfernt liegen kann.

Um nicht nur einen nahtlosen Übergang des Ortungsverfahrens des Ortungsgeräts im Randbereich des Versorgungsgebiets zu ermöglichen, sondern auch ebenfalls einen nahtlosen Übergang zwischen Sendebereiche unterschiedlicher

Sendeantennen, wird vorgeschlagen, dass die Differenz der Verschiebungsparameter für Replikasignale aneinander angrenzender Sendebereiche kleiner als die halbe Dauer des Signalmusters ist.

Zwar kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Erzeugen von Repiklasignalen für nur einzelne Satelliten verwendet werden, während andere Satelliten im Versorgungsgebiet störungsfrei empfangen werden, üblicherweise können in einem Versorgungsgebiet aber nur wenige oder gar keine Satellitensignale empfangen werden, sodass eine Positionsbestimmung nur mit Hilfe von Repiklasignalen ermöglicht werden kann. Zu diesem Zweck wird vorgeschlagen, dass die Satellitensignale mehrerer Satelliten von der Referenzantenne empfangen werden, wobei für jeden Satelliten aus dem Satellitensignal das sich wiederholende Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich der jeweiligen Sendeantenne und dem Satelliten und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne und dem Satelliten als Verschiebungsparameter bestimmt und das Replikasignal aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei aus den Replikasignalen für den Sendebereich einer Sendeantenne ein Versorgungssignal gebildet und an die Sendeantenne übertragen wird. Ein Versorgungssignal umfasst daher wenigstens vier Replikasignale, welche je um einen spezifischen Verschiebungsparameter verschoben sind, sodass diese abgesehen von geringen Abweichungen, die sich durch die Verarbeitung ergeben, mit den am Zielort des Sendebereichs theoretisch empfangenen Satellitensignalen übereinstimmen, sofern am Zielort ein ungestörter Empfang möglich wäre.

Befindet sich ein Ortungsgerät in einem empfangsstarken Bereich erfolgt die Ortung mit den tatsächlichen Satellitensignalen. Betritt das Ortungsgerät einen Empfangsbereich einer Sendeantenne im Versorgungsgebiet, empfängt das Ortungsgerät über die Sendeantenne das Versorgungssignal umfassend wenigstens vier Replikasignale. Die Replikasignale stimmen durch das erfindungsgemäße Verfahren mit den Satellitensignalen abgesehen von geringen Abweichungen überein, sodass das Ortungsgerät die Replikasignale nicht als

Störsignale wahrnimmt und daher insbesondere im Übergangsbereich zwischen dem empfangsstarke Gebiet und dem Versorgungsgebiet ein nahtloser Übergang des Trackingprozesses des Ortungsgeräts erfolgt. Im Sendebereich der jeweiligen Sendeantenne empfängt das Ortungsgerät die mit dem Verschiebungsparameter bearbeiteten Replikasignale und errechnet sich aus diesen Replikasignalen die jeweiligen Pseudoranges $\hat{\rho}_{int}^i$ und bestimmt mit wenigstens vier Pseudoranges $\hat{\rho}_{int}^i$ die vorgebbare Zielposition.

Erfindungsgemäß erfolgt die Erzeugung der Replikasignale bzw. der Versorgungssignale umfassend wenigstens vier Replikasignale für alle Sendebereiche der Sendeantennen.

Die Erfindung bezieht sich auch auf eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einer Referenzantenne zum Empfangen eines Satellitensignals, einer Empfangseinheit zum Extrahieren des sich wiederholenden Signalmusters und der Satellitenpositionsdaten aus dem Satellitensignal, einem Generator zum Erzeugen von Versorgungssignalen und mehreren Sendeantennen zum Aussenden dieser Versorgungssignale in einem jeweiligen Sendebereich eines Versorgungsgebiets, wobei der Generator für jede Sendeantenne eine Verarbeitungseinheit aufweist, der eine Zielpositionsvorgabeeinheit zugeordnet ist.

Die Referenzantenne ist in einem empfangsstarke Gebiet außerhalb des Versorgungsgebiets angeordnet und empfängt ein Satellitensignal, bzw. Satellitensignale vier unterschiedlicher Satelliten, um eine Positionsbestimmung zu erzielen. Um Interferenzen zwischen einem handelsüblichen Ortungsgerät und der Vorrichtung zu vermeiden, ist es vorteilhaft, wenn der Referenzantenne die gleichen Satellitensignale oder wenigstens ein großer Anteil der gleichen Satellitensignale wie dem Ortungsgerät, wenn es sich noch im Randbereich zwischen dem empfangsstarke Gebiet und dem Versorgungsgebiet befindet, zugänglich sind. Dies bedeutet, dass die Laufzeitabweichungen der Satellitensignale zwischen der Referenzantenne und der ersten Sendeantenne im Versorgungsgebiet, in deren Empfangsbereich das Ortungsgerät eintritt, gering ausfallen soll.

Die empfangenen GNSS-Satellitensignale werden von der Referenzantenne an eine Empfangseinheit weitergeleitet. Vorzugsweise umfasst die Empfangseinheit eine Vorverarbeitungseinheit, welche das von der Referenzantenne übermittelte Hochfrequenzsignal in ein Zwischenfrequenzsignal konvertiert und digitalisiert.

In der Empfangseinheit erfolgen die Erfassung (Acquisition) und das Tracking der digitalisierten Satellitensignale. Darüber hinaus kann die Positionsbestimmung der Referenzantenne über das aus dem Stand der Technik bekannte Pseudorange-Verfahren erfolgen.

Der erfindungsgemäße Generator erzeugt die Replikasignale, in dem das sich wiederholende Signalmuster des Satellitensignals i um den Verschiebungsparameter Δt^i verschoben wird und das verschobene Signalmuster gemeinsam mit den Satellitenpositionsdaten beziehungsweise mit der Navigationsnachricht zum Replikasignal rekombiniert wird. Hierzu weist der Generator für jede Sendeantenne eine eigene Verarbeitungseinheit auf, wobei jeder Verarbeitungseinheit die Zielposition X_{int} der zugehörigen Sendeantenne vorgegeben wird. Die Zielposition wird der Verarbeitungseinheit von einer Zielpositionsvorgabeeinheit aufgegeben, welche einen Speicher umfassen kann, auf dem die jeweilige Zielposition im Sendebereich der jeweiligen Sendeantenne, beispielsweise beim Installieren der Sendeantenne, hinterlegt werden kann. Auf diese Weise wird in jeder Verarbeitungseinheit ein spezifischer Verschiebungsparameter Δt^i je Satellitensignal i errechnet, um den das Signalmuster zur Erzeugung des Replikasignals verschoben werden muss, damit ein Ortungsgerät die gewünschte Pseudorange errechnet. Die spezifischen Verschiebungsparameter Δt^i unterschiedlicher Verarbeitungseinheiten ergeben sich daher aufgrund der unterschiedlichen Zielpositionen X_{int} .

$$\Delta t^i = \frac{\hat{\rho}_{int}^i - \hat{\rho}_{ref}^i}{c} = \frac{\|X_{int} - X^i\|}{c} - \frac{\|X_{ref} - X^i\|}{c} + \Delta B_{MK-ctrl}^i$$

Zur exakten Positionsbestimmung sind wenigstens vier Satellitensignale i notwendig. Dies bedeutet, dass jede Verarbeitungseinheit wenigstens vier Kanaleinheiten aufweisen kann. In jeder Kanaleinheit kann ein spezifischer Verschiebungsparameter Δt^i zu Erzeugung des Replikasignals errechnet werden. Die spezifischen Verschiebungsparameter Δt^i in den unterschiedlichen Kanaleinheiten innerhalb einer Verarbeitungseinheit ergeben sich somit aufgrund der unterschiedlichen Satellitenpositionen X^i bei gleichbleibender Position der Referenzantenne X_{ref} und gleichbleibender Zielposition X_{int} . Die Position der Referenzantenne X_{ref} stimmt dabei für alle Verarbeitungseinheiten des Generators überein, während die Zielposition X_{int} für jede Verarbeitungseinheit spezifisch vorgegeben wird.

Erfindungsgemäß errechnet demnach der Generator für alle Sendeantennen und alle Satellitensignale einen spezifischen Verschiebungsparameter und erzeugt durch Verschiebung der Signalmuster jene Replikasignale, die vom Ortungsgerät im jeweiligen Sendebereich einer Sendeantenne zur Ortung der gewünschten Zielposition führt. Durch die erfindungsgemäße Ausbildung des Generators kann die Berechnung der benötigten Verschiebungsparameter für alle Sendeantennen und alle Satellitensignale parallel erfolgen.

Nach Erzeugung der Replikasignale wird dieses bzw. ein Versorgungssignal umfassend die Replikasignale je Verarbeitungseinheit der zugehörigen Sendeantenne übermittelt. Das Übermitteln kann über eine Sendeeinheit des Generators erfolgen, welche die einzelne Replikasignale auf eine Trägerwelle aufmoduliert und zu einem Versorgungssignal kombiniert. Das Versorgungssignal der jeweiligen Verarbeitungseinheit wird an die der Verarbeitungseinheit zugeordnete Sendeantenne übermittelt, die wiederum das Versorgungssignal an das Ortungsgerät überträgt, sobald dieses den Sendebereich der Sendeantenne betritt.

Befindet sich also ein Ortungsgerät zunächst im empfangsstarken Gebiet, so kann die Positionsbestimmung mithilfe der Satellitensignale erfolgen. Betritt das Ortungsgerät einen Sendebereich einer Sendeantenne, so wird dem Ortungsgerät

das Versorgungssignal, erzeugt von der zu diesem Sendebereich zugehörigen Verarbeitungseinheit des Generators, aufgezwungen. Da die Replikasignale des Versorgungssignals im Wesentlichen bis auf kleine Abweichungen mit den Satellitensignalen übereinstimmen, kennt das Ortungsgerät das Versorgungssignal vor allem im Übergangsbereich zwischen dem empfangsstarken Gebiet und dem Sendebereich keinen Unterschied zwischen den Signalen und verwendet das Versorgungssignal zur Positionsbestimmung ohne eine sprunghafte Veränderung bei der Acquisition und beim Tracking durchführen zu müssen.

Damit eine exakte Ortung in einem großen, mit vielen Sendeantennen ausgestatteten Versorgungsgebiet erfolgen kann, ohne dass es zu gegenseitigen Störsignalen kommt, wird vorgeschlagen, dass die Sendeantennen Richtantennen sind. Insbesondere sind die Sendeantennen im Versorgungsgebiet so angeordnet, dass sich deren Sendebereiche nicht überlagern. Die Richtantennen zeichnen sich durch eine enge Strahlbreite aus, sodass eine Überlagerung der unterschiedlichen Sendebereiche verhindert wird.

Um auch eine unerwünschte Überlagerung der Sendeantennen mit den Satellitensignalen der Satelliten im Grenzgebiet zwischen Versorgungsgebiet und dem empfangsstarken Gebiet zu vermeiden, kann das von den Sendeantennen gesendete Versorgungssignal im Versorgungsgebiet eine höhere Signalstärke als die Satellitensignale der Satelliten aufweisen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung einen Mehrkanalsendeempfänger auf, der eine Empfangseinheit und einen Generator umfasst und der eingangsseitig mit der Referenzantenne und ausgangssseitig mit Sendeantennen verbunden ist. Die Empfangseinheit kann dabei eine Vorverarbeitungseinheit und einen Software-Defined-Radio-Receiver (SDRR) umfassen. Der Generator kann einen Software-Defined-Radio-Transmitter (SDRT) umfassen, der anhand zuvor bestimmter Verschiebungsparameter die Replikasignale und die daraus resultierenden Versorgungssignale erzeugt.

Zur Abdeckung eines größeren Versorgungsgebietes kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung mehrere Mehrkanalsendeempfänger aufweisen, die mit einer gemeinsamen Zeit- und Frequenzbasis verbunden sind.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Versorgung eines Versorgungsgebiets mit einem Satellitensignal und

Fig. 2 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens, sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Wie Fig. 1 zu entnehmen ist, wird in einem erfindungsgemäßen Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts 1 in einem Versorgungsgebiet 2 eine Referenzantenne 3 eingesetzt, welche in einem empfangsstarken Gebiet 4 außerhalb des Versorgungsgebiets 2 angeordnet ist. Während dem empfangsstarken Gebiet Satellitensignale 5a,5b,5c,5d von Satelliten 6a,6b,6c,6d zugänglich sind, sind diese dem Versorgungsgebiet 2 nicht bzw. nur beschränkt zugänglich. Im Versorgungsgebiet 2 sind Sendeantennen 7a,7b,7c,7d angeordnet, welche über ihren jeweiligen Sendebereich 8a,8b,8c,8d Versorgungssignale 9a,9b,9c,9d umfassend vorzugsweise wenigstens vier Replikasignale 10a,10b,10c,10d (Fig. 2) aussenden. Befindet sich ein aus dem Stand der Technik bekanntes Ortungsgerät 1 in einem empfangsstarken Gebiet 4, so kann die Positionsbestimmung in bekannter Weise mithilfe der Satellitensignale 5a,5b,5c,5d der Satelliten 6a,6b,6c,6d erfolgen. Im Versorgungsgebiet 2 sind diese Satellitensignale 5a,5b,5c,5d dem Ortungsgerät 1 nicht mehr bzw. nur mehr eingeschränkt zugänglich. Betritt demnach das Ortungsgerät 1 einen Sendebereich 8a,8b,8c,8d so empfängt dieses das Versorgungssignal 9a. Da das Versorgungssignal 9a im Wesentlichen bis auf kleine Abweichungen mit den Satellitensignalen 5a,5b,5c,5d übereinstimmt, kennt das Ortungsgerät 1 das Versorgungssignal 9a vor allem im Übergangsbereich zwischen dem empfangsstarken Gebiet 4 und dem Sendebereich 9a keinen Unterschied zwischen

den Signalen und verwendet das Versorgungssignal 9a zur Positionsbestimmung, ohne eine sprunghafte Veränderung bei der Acquisition und beim Tracking durchführen zu müssen. Für eine repräsentative Positionsbestimmung des Ortungsgeräts 1 müssen die Versorgungssignale 9a,9b,9c,9d einen anderen Informationsgehalt aufweisen, als die Satellitensignale 5a,5b,5c,5d an der Position der Referenzantenne 3, da andernfalls das Ortungsgerät 1 in den Sendebereichen 8a,8b,8c,8d die Position der Referenzantenne 3 als seine eigene bestimmen würde, wenn lediglich die Satellitensignale 5a,5b,5c,5d von den Sendeantennen 7a,7b,7c,7d an das Ortungsgerät 1 übergeben werden. Die Versorgungssignale 9a,9b,9c,9d werden daher erfindungsgemäß dahingehend verarbeitet, dass das Ortungsgerät 1 eine vorgebbare Zielposition 11a,11b,11c,11d in den Sendebereichen 8a,8b,8c,8d aus den jeweiligen Versorgungssignalen 9a,9b,9c,9d bestimmt.

Die erfindungsgemäße Verarbeitung wird anhand der Fig. 2, welche eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur satellitengestützten Positionsbestimmung in einem Versorgungsgebiet 2 zeigt, näher erklärt. Eine erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Referenzantenne 3 auf, welche in einem empfangsstarken Gebiet 4 angeordnet ist und dadurch Satellitensignale 5a,5b,5c,5d von wenigstens vier Satelliten 6a,6b,6c,6d empfängt. Die empfangenen Satellitensignale 5a,5b,5c,5d werden einer Empfangseinheit 12 übergeben. In der Empfangseinheit 12 erfolgen die Erfassung und das Tracking der Satellitensignale 5a,5b,5c,5d und die Positionsbestimmung der Referenzantenne 3 in aus dem Stand der Technik bekannter Weise. Vorzugsweise umfasst die Empfangseinheit 12 eine Vorverarbeitungseinheit zum Umwandeln und Digitalisieren der Satellitensignale 5a,5b,5c,5d. In der Empfangseinheit 12 wird für jedes Satellitensignal 5a,5b,5c,5d dessen sich wiederholendes Signalmuster und Satellitenpositionsdaten extrahiert und daraus die Position der Referenzantenne 3 über das aus dem Stand der Technik bekannte Pseudorange-Verfahren bestimmt.

Aus den extrahierten Signalmustern und den Satellitenpositionsdaten erzeugt ein Generator 13 die Replikasignale 10a,10b,10c,10d, in dem das sich wiederholende

Signalmuster des Satellitensignals 5a,5b,5c,5d um einen Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ verschoben wird und das verschobene Signalmuster gemeinsam mit den Satellitenpositionsdaten beziehungsweise mit der Navigationsnachricht zum Replikasignal 10a,10b,10c,10d rekombiniert wird. Über den Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ wird daher das Replikasignal 10a,10b,10c,10d so geändert, dass ein Ortungsgerät 1 nicht die Position der Referenzantenne 3 bestimmt, sondern eine gewünschte Zielposition 11a,11b,11c,11d. Der Generator 13 weist daher für jede Sendeantenne 7a,7b,7c,7d eine eigene Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d auf. Jeder Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d ist eine Zielpositionsvorgabeeinheit 15a,15b,15c zugeordnet, die der Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d die gewünschte und bekannte Zielposition 11a,11b,11c,11d im Sendebereich 8a,8b,8c,8d der jeweiligen Sendeantenne 7a,7b,7c,7d vorgibt. Auf diese Weise wird in jeder Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d ein spezifischer Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ je Satellitensignal 5a,5b,5c,5d berechnet, um den das Signalmuster zur Erzeugung des Replikasignals 10a,10b,10c,10d verschoben werden muss, damit ein Ortungsgerät 1 die gewünschte Pseudorange errechnet.

Da zur Positionsbestimmung mittels Pseudorangeverfahren wenigstens vier Satellitensignale 5a,5b,5c,5d vorgegeben sein müssen, kann jede Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d wenigstens vier Replikasignale 10a,10b,10c,10d erzeugen, die zu einem Versorgungssignal 9a,9b,9c,9d kombiniert werden können. Hierzu kann jede Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d für jedes zu erzeugende Replikasignal 10a,10b,10c,10d eine eigene Kanaleinheit 16a,16b,16c,16d, also wenigstens vier Kanaleinheiten 16a,16b,16c,16d aufweisen. In jeder Kanaleinheit 16a,16b,16c,16d kann ein spezifischer Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ zur Erzeugung des Replikasignals 10a,10b,10c,10d errechnet werden. Während sich die spezifischen Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ unterschiedlicher Verarbeitungseinheiten 14a,14b,14c,14d aufgrund der unterschiedlichen über die Zielpositionsvorgabeeinheiten 15a,15b,15c vorgebbaren Zielpositionen 11a,11b,11c,11d (X_{int}) ergeben, resultieren die spezifischen

Verschiebungsparameter $\Delta t^{5a,5b,5c,5d}$ unterschiedlicher Kanaleinheiten 16a,16b,16c,16d innerhalb einer Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d aufgrund der unterschiedlichen Satellitenpositionen (X^i) bei gleichbleibender Position der Referenzantenne 3 (X_{ref}) und gleichbleibender Zielposition 11a,11b,11c,11d (X_{int}).

$$\Delta t^i = \frac{\hat{\rho}_{int}^i - \hat{\rho}_{ref}^i}{c} = \frac{\|X_{int} - X^i\|}{c} - \frac{\|X_{ref} - X^i\|}{c} + \Delta B_{MK-ctrl}^i$$

Die Replikasignale 10a,10b,10c,10d werden je Verarbeitungseinheit 14a,14b,14c,14d zu Versorgungssignalen 9a,9b,9c,9d kombiniert, wobei jedes Versorgungssignal 9a,9b,9c,9d der jeweiligen Sendeantenne 7a,7b,7c,7d übergeben wird, die, wie in Fig. 1 angedeutet, die Versorgungssignale 9a,9b,9c,9d im Sendebereich 8a,8b,8c,8d aussendet. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Fig. 2 nur drei Sendeantennen 7a,7b,7c und in Fig. 1 vier dargestellt. Naturgemäß können auch mehr Sendeantennen 7a,7b,7c,7d vorgesehen sein.

Je mehr Sendeantennen 7a,7b,7c,7d im Versorgungsgebiet 2 aufgestellt werden, desto genauer kann die Positionsbestimmung erfolgen. Damit viele Sendeantennen 7a,7b,7c,7d störungsfrei in engem Raum nebeneinander angeordnet werden können, können Richtantennen eingesetzt werden, da diese eine engen Sendebereich 8a,8b,8c,8d aufweisen.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, sind die Sendeantennen 7a,7b,7c,7d im Versorgungsgebiet 2 so angeordnet, dass sich deren Sendebereiche 8a,8b,8c,8d nicht überlagern.

Um einen störungsfreien Übergang für das Ortungsgerät 15 vom empfangsstarken Gebiet zum Versorgungsgebiet 2 zu ermöglichen, kann das von den Sendeantennen 7a,7b,7c,7d gesendete Versorgungssignal 9a,9b,9c,9d im Versorgungsgebiet 2 eine höhere Signalstärke als die Satellitensignale 5a,5b,5c,5d der Satelliten 6a,6b,6c,6d aufweisen.

Zur ressourcensparenden Verarbeitung der Satellitensignale 5a,5b,5c,5d zu mehreren Versorgungssignalen 9a,9b,9c,9d kann wenigstens ein Mehrkanalsendeempfänger 17 vorgesehen sein der eine Empfangseinheit 12 und einen Generator 13 umfasst und der eingangsseitig mit der Referenzantenne 3 und ausgangsseitig mit Sendeantennen 7a,7b,7c,7d verbunden ist. Da Mehrkanalsendeempfänger 17 üblicherweise nur über eine begrenzte Anzahl von Verarbeitungseinheiten 14a,14b,14c und damit auch Ein- bzw. Ausgängen verfügen, können zur Abdeckung eines größeren Versorgungsgebietes 2 mehrere Mehrkanalsendeempfänger 17 vorgesehen sein, die mit einer gemeinsamen Zeit- und Frequenzbasis 18 verbunden sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur satellitengestützten Positionsbestimmung eines Ortungsgeräts (1) in einem Versorgungsgebiet (2) mit unzureichender Qualität eines Satellitensignals (5a,5b,5c,5d) eines Satelliten (6a,6b,6c,6d), wobei das Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) außerhalb des Versorgungsgebiets (2) von einer Referenzantenne (3) empfangen und aus dem Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) ein sich wiederholendes Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, wonach für mehrere Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) im Versorgungsgebiet (2) je ein Replikasignal (10a,10b,10c,10d) erzeugt wird, wobei die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition im Sendebereich (9a,9b,9c,9d) der jeweiligen Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne (3) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) als Verschiebungsparameter Δt bestimmt und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter Δt verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei das Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) im Randbereich des Versorgungsgebietes (2) soweit übereinstimmen, dass sie vom Ortungsgerät (1) nicht unterschieden werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für den Sendebereich (8a,8b,8c,8d) einer Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) im Randbereich des Versorgungsgebiets (2) die Differenz der Laufzeit zwischen dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und dem Ortungsgerät (1) im Sendebereich (8a,8b,8c,8d) und der Laufzeit zwischen dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und der vorgegebenen Zielposition (11a,11b,11c,11d) im Sendebereich (8a,8b,8c,8d) kleiner als die halbe Dauer des Signalmusters ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Differenz der Verschiebungsparameter Δt für Replikasignale (10a,10b,10c,10d) aneinander angrenzender Sendebereiche (8a,8b,8c,8d) kleiner als die halbe Dauer des Signalmusters ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Satellitensignale (5a,5b,5c,5d) mehrerer Satelliten (6a,6b,6c,6d) von der Referenzantenne (3) empfangen werden, wobei für jeden Satelliten (6a,6b,6c,6d) aus dem Satellitensignal (5a,5b,5c,5d) das sich wiederholende Signalmuster und die Satellitenpositionsdaten extrahiert werden, die Differenz zwischen der Laufzeit zwischen einer vorgegeben Zielposition (11a,11b,11c,11d) im Sendebereich (8a,8b,8c,8d) der jeweiligen Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) und der Laufzeit zwischen der Referenzantenne (3) und dem Satelliten (6a,6b,6c,6d) als Verschiebungsparameter Δt bestimmt und das Replikasignal (10a,10b,10c,10d) aus den Satellitenpositionsdaten und dem zeitlich um den Verschiebungsparameter Δt verschobenen Signalmuster erzeugt wird, wobei aus den Replikasignalen (10a,10b,10c,10d) für den Sendebereich (8a,8b,8c,8d) einer Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) ein Versorgungssignal (9a,9b,9c,9d) gebildet und an die Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) übertragen wird.

5. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 mit einer Referenzantenne (3) zum Empfangen eines Satellitensignals (5a,5b,5c,5d), einer Empfangseinheit (12) zum Extrahieren des sich wiederholenden Signalmusters und der Satellitenpositionsdaten aus dem Satellitensignal (5a,5b,5c,5d), einem Generator (13) zum Erzeugen von Versorgungssignalen (9a,9b,9c,9d) und mehreren Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) zum Aussenden dieser Versorgungssignale (9a,9b,9c,9d) in einem jeweiligen Sendebereich (8a,8b,8c,8d) eines Versorgungsgebiets (2), dadurch gekennzeichnet, dass der Generator (13) für jede Sendeantenne (7a,7b,7c,7d) eine Verarbeitungseinheit (14a,14b,14c,14d) aufweist, der eine Zielpositionsvorgabeeinheit (15a,15b,15c) zugeordnet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungssignale (9a,9b,9c) Replikasignale (10a,10b,10c,10d) umfassen, wobei

die Verarbeitungseinheiten (14a,14b,14c) für jedes Replikasignal (10a,10b,10c,10d) eine Kanaleinheit (16a,16b,16c,16d) zur parallelen Erzeugung der Replikasignale (10a,10b,10c,10d) umfasst.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) Richtantennen sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) im Versorgungsgebiet (2) so angeordnet sind, dass sich deren Sendebereiche (8a,8b,8c,8d) nicht überlagern.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass von den Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) gesendeten Versorgungssignale (9a,9b,9c,9d) im Versorgungsgebiet (2) eine höhere Signalstärke als die Satellitensignale (5a,5b,5c,5d) der Satelliten (6a,6b,6c,6d) aufweisen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9 gekennzeichnet durch wenigstens einen Mehrkanalsendeempfänger, der eine Empfangseinheit (12) und einen Generator (13) umfasst und der eingangsseitig mit der Referenzantenne (3) und ausgangsseitig mit Sendeantennen (7a,7b,7c,7d) verbunden ist.

FIG.1

