



(10) **DE 10 2010 035 601 B4** 2012.10.04

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 035 601.8**
(22) Anmeldetag: **27.08.2010**
(43) Offenlegungstag: **01.03.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **04.10.2012**

(51) Int Cl.: **G01S 13/90 (2006.01)**
G01S 13/00 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686, München,
DE**

(74) Vertreter:
**Gagel, Roland, Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., 81241,
München, DE**

(72) Erfinder:
**Walterscheid, Ingo, Dr., 53819, Neunkirchen-
Seelscheid, DE; Espeter, Thomas, 53343,
Wachtberg, DE; Klare, Jens, Dr., 53343,
Wachtberg, DE; Maksymiuk, Oliver, 51105, Köln,
DE; Brenner, Andreas R., Dr., 53343, Wachtberg,
DE**

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

DE	40 07 611	C1
DE	197 05 795	A1
DE	199 27 395	A1
DE	10 2007 044 015	A1

**BALKE, J.: Zweidimensionale Zielauflösung
für vorwärtsblickende Radarempfängersysteme
mittels bistatischem SAR. Universität**

**der Bundeswehr München, Fakultät für
Elektrotechnik und Informationstechnik, 2008, S.
13, 17 – 44.**

**JUNJIE WU; JIANYU YANG; YULIN HUANG;
HAIGUANG YANG; HAOCHENG WANG: Bistatic
forward-looking SAR: Theory and challenges. In:
Radar Conference, 2009 IEEE, 4. -8. Mai 2009, S.
1 – 4, ISSN: 1097-5659, Print ISBN: 978-1-4244-
2870-0.**

**WALTERSCHEID, I.; ENDER, J.H.G.; BRENNER,
A.R.; LOFFELD, O.: Bistatic SAR Processing
and Experiments. In: Geoscience and Remote
Sensing, IEEE Transactions on, Oct. 2006, Vol. 44,
Nr.10, S. 2710 – 2717, ISSN : 0196-2892.**

**WALTERSCHEID, I.; ESPETER, T.; KLARE, J.;
BRENNER, A.R.; ENDER, J.H.G.: Potential and
limitations of forward-looking bistatic SAR. In:
Geoscience and Remote Sensing Symposium
(IGARSS), 2010 IEEE International Issue Date: 25-
30 July 2010, S. 216 – 219, ISSN: 2153-6996, E-
ISBN: 978-1-4244-9564-1, Print ISBN: 978-1-4244-
9565-8.**

**ZENGLIANG LI; DI YAO; TENG LONG: SPECAN
algorithm for forward-looking bistatic SAR,
IN: Signal Processing, 2008. ICSP 2008. 9th
International Conference on, 26. -29. Okt. 2008, S.
2517 – 2520, ISBN: 978-1-4244-2178-7**

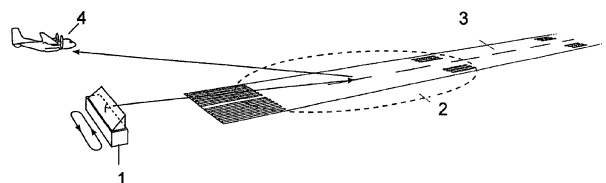
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Radarabbildung einer Szene in Voraussicht ausgehend von einer bewegten Plattform**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Radarabbildung einer Szene (2) ausgehend von einer relativ zur Szene (2) bewegten Plattform (4), bei dem

– eine getrennt von der Plattform (4) relativ zur Szene (2) stationär angeordnete Sendeeinrichtung (1) die Szene (2) mit einer oder mehreren Radarwellen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln beleuchtet,

– eine auf der bewegten Plattform (4) angeordnete und in Voraussicht ausgerichtete Empfangseinrichtung von der Szene (2) in Richtung der Plattform (4) reflektierte Radarsignale empfängt,

– und aus den empfangenen Radarsignalen SAR-Radarabbildungen der Szene (2) berechnet und angezeigt werden.



Beschreibung

Technisches Anwendungsgebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Radarabbildung einer Szene in Voraussicht ausgehend von einer relativ zur Szene bewegten Plattform.

[0002] Für die Navigation bewegter Plattformen, wie z. B. Raumfahrzeuge, Luftfahrzeuge, Schienenfahrzeuge, Radfahrzeuge, Kettenfahrzeuge oder Wasserfahrzeuge, die bemannt und unbemannt sein können, ist eine bildhafte Sicht in Bewegungsrichtung bzw. Voraussicht eine wichtige Voraussetzung für die Kollisionsvermeidung. Besonders deutlich wird dies bei einem landenden bemannten Flugzeug, bei dem der Pilot die Landebahn in Flugrichtung sicher erkennen muss. Gerade in der Luftfahrt kommt es bei der Landung unter schwierigen Sichtverhältnissen immer wieder zu schweren Unfällen, die nicht selten tödliche Folgen haben. Besonders betroffen sind hierbei sowohl kleinere Flughäfen, die oft nicht über ausreichende Landehilfen verfügen, als auch kleine Flugzeuge, die aus Kosten-, Platz- und Gewichtsgründen häufig nicht über entsprechende Hilfsmittel für Landungen unter schlechten Sichtverhältnissen verfügen.

[0003] Übliche optische Verfahren versagen bei Dunkelheit und unter extremen Wetterbedingungen wie z. B. bei Bodennebel. Um auch bei Nebel, Regen und Schneefall eine hinreichende Durchdringung der Atmosphäre zu gewährleisten, müssen zur Abbildung der Landebahn Radarverfahren eingesetzt werden, deren Wellenlänge um Zehnerpotenzen größer ist als für Verfahren im optischen Bereich.

Stand der Technik

[0004] Bei bekannten bildgebenden Radarverfahren, wie sie bspw. in Flugzeugen zur Fernerkundung und Aufklärung eingesetzt werden, befinden sich Sender und Empfänger auf derselben Trägerplattform – man spricht dann von monostatischen Systemen. Die Antennen sind in der Regel orthogonal zur Flugrichtung ausgerichtet. Die Querauflösung, d. h. die Auflösung in Flugrichtung, dieser Seitensicht- radare ist abhängig von der Breite der Antennenkeule in Azimutrichtung, die sich wiederum aus der Länge der Antennenapertur ergibt. Zur Erzielung einer hohen Azimutauflösung hat sich für viele Anwendungen das Verfahren des Radars mit synthetischer Apertur (engl.: Synthetic Aperture Radar, SAR) etabliert, bei welchem eine möglichst große Antennenapertur virtuell durch Auswertung einer Vielzahl von Radarechos erzeugt wird.

[0005] Das monostatische SAR-Verfahren ist jedoch aus mehreren Gründen nicht in Voraussicht angewend-

bar. So verringert sich der beim SAR-Prinzip zur Auflösung von Zielen in derselben Entfernungszelle mit unterschiedlicher Azimutposition ausgewertete Unterschied der Dopplerfrequenzverschiebung mit zunehmender Abweichung von der Querabrichtung. Die Dimensionen der Entfernungsauflösung (Auswertung der Signallaufzeit) und Dopplerauflösung (Auswertung der Dopplerfrequenzverschiebung) verlaufen in Flugrichtung parallel, so dass die Querauflösung nicht verbessert wird, sondern der der realen Antennenapertur entspricht. Ziele, die symmetrisch um die Flugrichtung herum angeordnet sind, weisen stets die gleiche Dopplerfrequenzverschiebung auf, so dass diese nicht unterschieden werden können. Aufgrund dieser Azimutmehrdeutigkeiten überlagern sich diese Ziele im Radarbild.

[0006] Zur Erzielung einer hohen Azimutauflösung kann das monostatische SAR-Prinzip aus diesen Gründen in Voraussicht nicht angewendet werden. Bisher eingesetzte vorausschauende Abbildungsverfahren arbeiten daher anstatt mit einer virtuell erzeugten mit der realen Antennenapertur. So wird beispielsweise eine längliche Antenne eingesetzt, die eine Rotations- oder Schwenkbewegung ausführt und Radarpulse in unterschiedliche Richtungen sendet, um so den Azimutbereich abzutasten. Die empfangenen Radarechos werden digitalisiert und ausgewertet oder direkt auf einem Sichtgerät dargestellt. Die Azimutauflösung ist abhängig von der Länge der Antenne und der Entfernung zum Zielgebiet. Sie erreicht damit nie die mit einem SAR-System erzielbaren Werte, so dass demgegenüber eine deutliche Verringerung des Auflösungsvermögens in Kauf genommen werden muss.

[0007] Zur Verbesserung der Azimutauflösung eines derartigen vorwärts schauenden Systems mit einer bewegten Antenne kann das Doppler-Beam-Sharpening-Verfahren eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren werden wie beim oben erwähnten SAR-Verfahren die unterschiedlichen Dopplerfrequenzen von Zielen mit unterschiedlicher Azimutposition ausgewertet. Dieses Verfahren weist jedoch in Voraussicht einen blinden Sektor auf, in welchem die Auflösung aufgrund der Dopplerfrequenz schlechter ist als die auf Basis der Strahlungscharakteristik der Antenne. In diesem Sektor erfolgt die Bildgebung üblicherweise mit der realen Antennenkeule. Durch eine spezielle Aperturbelegung oder durch den Einsatz mehrerer Antennen, wie dies bspw. in der DE 19705795A1 und der DE 19927395A1 beschrieben ist, kann die Azimutauflösung verbessert werden. Durch derartige Maßnahmen wird jedoch die mit einem SAR-System erzielbare sehr hohe Auflösung ebenfalls bei weitem nicht erreicht.

[0008] Die DE 4007611C1 beschreibt ein weiteres Verfahren zur Radarabbildung einer Szene in Voraussicht, bei dem die mechanische Bewegung der

Antenne durch eine digitale Strahlformung ersetzt wird. Das System besteht aus einer Sendeantenne und 56 quer zur Flugrichtung angeordneten Empfangsantennen. Auch dieses System weist in Voraussicht jedoch eine Auflösung auf, die deutlich schlechter ist, als die mit dem SAR-Prinzip erzielbare.

[0009] Die Veröffentlichungen von Zengliang Li et al., „SPECAN Algorithm for Forward-Looking Bistatic SAR“, in: Signal Processing 2008: ICSP2008, 9th Int. Conference 26 on, 26–29 Oct. 2008, S. 2517–2520, und Walterscheid, I. et al., „Potential and Limitations of Forward-Looking Bistatic Radar“, in: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International Issue Date: 25–30 July 2010, S. 216–219, befassen sich mit FL-BSAR-Systemen, bei denen sowohl die Sendeeinrichtung als auch die Empfangseinrichtung auf bewegten Plattformen wie Flugzeugen oder Satelliten angeordnet sind.

[0010] Junjie Wu et al., „Bistatic Forward-Looking SAR: Theory and challenges“, in: Radar Conference, 2009 IEEE, 4.–8. Mai 2009, S. 1–4, zeigen u. a. ein FL-BSAR mit stationärer Sendeeinrichtung, mit der eine Beleuchtung unter konstantem Winkel erfolgt. Diese stationäre Anordnung wird in der Veröffentlichung als nachteilig dargestellt.

[0011] J. Balke et al., „Zweidimensionale Zielauflösung für vorwärtsblickende Radarempfängersysteme mittels bistatischem SAR“, Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik 2008, S. 13, 17–44, zeigen ein FL-BSAR-System, bei dem eine bewegte Sendeeinrichtung und ein stationärer Empfänger eingesetzt werden. Die Druckschrift vergleicht dieses bistatische System mit einem monostatischen System und kommt zu dem Ergebnis, dass aufgrund des stationären Empfängers gegenüber einem monostatischen System in Querrichtung nur maximal die halbe Auflösung in der Isorange-Richtung erreicht werden kann.

[0012] Die DE 10 2007 044 015 A1 betrifft ein Radarbasiertes Prüfverfahren zur Inneneinsicht in nicht metallische geschlossene Behältnisse. Hierbei handelt es sich um ein monostatisches System. Es wird auch nicht in Vorwärtsrichtung beobachtet.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Radarabbildung einer Szene sowie eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, mit denen ausgehend von einer relativ zur Szene bewegten Plattform in Voraussicht Radarabbildungen hoher Auflösung erhalten werden können.

Darstellung der Erfindung

[0014] Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den Patentansprüchen 1, 2, 11 und 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des

Verfahrens sowie der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

[0015] Bei dem vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung, im Folgenden auch als System bezeichnet, wird ein bistatisches SAR-Prinzip eingesetzt. Eine getrennt von der Plattform angeordnete Sendeeinrichtung beleuchtet die Szene mit einer oder mehreren Radarwellen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln. Die Sendeeinrichtung sendet vorzugsweise gleichzeitig ein Synchronisationssignal aus, das eine Synchronisation einer Empfangseinrichtung mit der Sendeeinrichtung ermöglicht. Die Sendeeinrichtung ist relativ zur Szene stationär angeordnet. Die auf der bewegten Plattform befindliche Empfangseinrichtung empfängt von der Szene in Richtung der Plattform reflektierte Radarsignale (Radarechos) sowie ggf. das Synchronisationssignal zur Synchronisation mit der Sendeeinrichtung. Aus den empfangenen Radarechos werden dann SAR-Radarabbildungen der Szene berechnet und auf einem Bildschirm angezeigt.

[0016] Es können damit von einer bewegten Plattform für eine bestimmte Beobachtungsdauer in schneller, kontinuierlicher zeitlicher Abfolge in Voraussicht Radarabbildungen von einer Szene berechnet und auf einem Bildschirm dargestellt werden. Die Szene, bspw. die Landebahn eines Flughafens im Falle eines Flugzeugs als bewegte Plattform, wird dabei gezielt und von dieser unabhängig von der bodengestützten Sendeeinrichtung beleuchtet.

[0017] Hierbei wurde erkannt, dass für die Erzeugung einer Radarabbildung mit hoher geometrischer Auflösung aus einer bewegten Plattform in Voraussicht eine räumliche Trennung von Sender und Empfänger entsprechend dem bistatischen SAR-Prinzip einsetzbar ist. Eine Abbildung der Szene mit einem bistatischen SAR, dessen Empfänger die Radarechos von einer voraus liegenden Szene empfängt, wird durch die hier vorgeschlagene geeignete Geometrie zwischen Sender, Szene und Empfänger ermöglicht. Die für die Bildberechnung notwendige Phasenänderung des Empfangssignals wird zum größten Teil durch die Aspektwinkeländerung der ausgesendeten Radarwellen zur Szene gewährleistet. Der kleinere Anteil an der Phasenänderung resultiert aus der Bewegung des Empfängers mit der, im Falle eines Flugzeugs, vorzugsweise in Vorwärtsrichtung schräg auf den Boden ausgerichteten Empfangsantenne. Mit größer werdendem Depressionswinkel steigt dieser Anteil.

[0018] Mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung können kontinuierliche hochauflösende Radarabbildungen auf einer bewegten Plattform in Voraussicht erhalten werden. Das

eingesetzte Radarverfahren generiert unabhängig von der Tageszeit und unabhängig von Wettereinflüssen (Regen, Schneefall, Nebel, Rauch, Staub usw.) photoähnliche Abbildungen in einer kontinuierlichen Abfolge in Voraussicht der bewegten Plattform. Beim Einsatz in der Luffahrt erhält der Pilot dadurch eine bildgebende Landehilfe, um auch bei Dunkelheit und unter extremen Wetterbedingungen die Landebahn in Flugrichtung sicher erkennen zu können. Hierdurch wird die Sicherheit bei der Landung erheblich erhöht und Unfälle werden vermieden. Da das Flugzeug keine Sendeeinrichtung benötigt, können aufgrund der gegenüber einem monostatischen System verringerten Kosten, des geringeren Platzbedarfs sowie des geringeren Gewichts auch kleine Flugzeuge mit dem vorgeschlagenen System ausgestattet werden. Selbstverständlich ist auch der Einsatz in großen Verkehrsflugzeugen und auf großen Flughäfen sinnvoll, da das vorgeschlagene System bestehende Systeme sinnvoll ergänzen und die Sicherheit bei der Landung bei schlechtem Wetter und in der Nacht weiter erhöhen würde.

[0019] Ein Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung besteht darin, dass die Sendeeinrichtung von der Plattform räumlich getrennt ist und dadurch die abzubildende Szene bzw. das Zielgebiet, bspw. die Landebahn, gezielt und optimiert beleuchten kann. Die komplette Sendeelektronik und die Energieerzeugung für die Sendeeinrichtung können somit zentral und unabhängig von der Empfangseinrichtung bereitgestellt werden. Dies senkt deutlich die Kosten und den Energiebedarf für die Komponenten des Systems an Bord der bewegten Plattform. In bewegten Plattformen müssen lediglich kostengünstige Empfangseinrichtungen installiert werden, die zudem deutlich weniger Raum und Energie benötigen als Sendeeinrichtungen. Durch die Verwendung von Radarwellen ist das Verfahren zudem unabhängig von der Tageszeit, vom Wetter und von anderen sichtbehindernden Einflüssen in der Atmosphäre, wie beispielsweise Staub oder Rauch.

[0020] In einer Abwandlung des vorgeschlagenen Verfahrens können die Orte von Sendeeinrichtung und Empfangseinrichtung auch vertauscht werden, wobei dann allerdings einige der oben beschriebenen Vorteile wegfallen. So kann die Sendeeinrichtung zur Beleuchtung des Zielgebiets auf der bewegten Plattform installiert werden und die Empfangseinrichtung getrennt von der Plattform stationär zur Szene bzw. zum Zielgebiet. Die Empfangseinrichtung muss dabei derart ausgestaltet sein, dass sie Radarechos von der Szene unter unterschiedlichen Aspektwinkeln empfängt. Hierzu können die gleichen Ausgestaltungen herangezogen werden, die nachfolgend im Falle der getrennt von der Plattform angeordneten Sendeeinrichtung beschrieben sind, d. h. bspw. der Einsatz einer Gruppenantenne. In dieser Abwandlung müssen dann die empfangenen Daten

bzw. die daraus berechneten Radarabbildungen entweder an die bewegte Plattform übertragen werden, bspw. über einen geeigneten Funkkanal, oder können nur in mit der Empfangseinrichtung verbundenen Einrichtungen angezeigt werden.

[0021] Die mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung erhaltenen visuellen Abbildungen der Szene sind für den Menschen eine deutliche Hilfestellung, können jedoch auch für eine nachgeschaltete automatisierte Szenenauswertung, bspw. für unbemannte Plattformen, eingesetzt werden.

[0022] Neben der bereits beschriebenen Landehilfe für Flugzeuge können das Verfahren und die Vorrichtung auch für vielfältige andere Szenarien verwendet werden, bei denen bewegte Plattformen navigiert werden oder autonom navigieren müssen. Ein Beispiel hierfür sind Schiffe, die sich in Häfen bewegen oder durch enge Schifffahrtsstraßen fahren. Besonders die kontinuierliche Überwachung von Gefahrenbereichen, wie Kreuzungen und Knotenpunkte von Binnenschifffahrtswegen, kann von dem Verfahren profitieren. Die Empfangsantenne würde hierbei vorzugsweise am höchsten Punkt des Schiffes befestigt werden.

[0023] Ein weiteres Beispiel sind Landfahrzeuge, die gefährliche Streckenabschnitte, wie bspw. enge Serpentinien oder Kreuzungen, passieren. Weiterhin kann das Verfahren bspw. für Schienenfahrzeuge in besonders kritischen Bereichen eingesetzt werden, bspw. im Bereich von Steinschlaggebieten im Gebirge, so dass potentiell gefährliche Gegenstände auf den Gleisen in Voraussicht detektiert werden können. Auch die Überwachung von Streckenabschnitten mit vielen Weichen und Knotenpunkten kann von dem Verfahren profitieren. Beim Lastenabwurf aus Luffahrzeugen kann durch eine Empfangsantenne in Voraussicht das Gebiet für das Abwerfen der Last identifiziert und ggf. durch eine weitere Empfangsantenne in Rückwärtsrichtung (bzgl. der Flugrichtung des Luffahrzeugs) der Lastenabwurf beobachtet und überprüft werden. Die Empfangsantennen sind dabei am abwerfenden Luffahrzeug montiert. Die Beleuchtung könnte hier z. B. durch ein zweites Flugzeug erfolgen, das eine entsprechende Sendeeinrichtung trägt, oder durch eine im Abwurfgebiet temporär installierte Sendeeinrichtung.

[0024] Die Sendeeinrichtung muss bei der ersten Alternative des vorgeschlagenen Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung eine Beleuchtung des Zielgebietes mit Radarwellen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln ermöglichen. Dies kann bspw. mittels verteilter Sendeeinrichtungen (Gruppenantenne) erreicht werden, mit denen das Zielgebiet auch ohne eine mechanische Bewegung beleuchtet werden kann. Dazu werden entweder die Einzelstrahler sequentiell an-

gesteuert oder jedes Sendeelement bzw. jede Sendeanenne wird mit einem kodierten Sendesignal betrieben, so dass das von dem jeweiligen Sendeelement ausgesendete und reflektierte Signal im Empfänger extrahiert und diesem Sendeelement zugeordnet werden kann.

[0025] Eine Erzeugung mehrerer SAR-Abbildungen in zeitlicher Abfolge wird durch eine zyklische Bewegung des Phasenzentrums der Sendeeinrichtung erreicht. Während eines Zyklus werden mit einer bestimmten Pulswiederholrate entweder kurze frequenzmodulierte bzw. kodierte Wellenformen {Pulsradar} oder Wellenformen nach dem bekannten FMCW-Prinzip (FMCW: Frequency Modulated Continuous Wave) ausgesendet. Die Radarsignale treffen dadurch aus verschiedenen Aspekt Winkelrichtungen auf die Szene, werden dort reflektiert und durch die Empfangseinrichtung auf der bewegten Plattform empfangen, digitalisiert und gespeichert. Vorzugsweise sendet die Sendeeinrichtung zusätzlich ein Synchronisationssignal zum Empfänger, vorzugsweise über einen separaten Funkkanal, das dort empfangen und zur Synchronisation der beiden Teilsysteme Sender und Empfänger verwendet wird. Das Synchronisationssignal kann beispielsweise identisch mit jenem Signal sein, mit welchem die Szene beleuchtet wird. Dieses dient dann zum einen als Referenzsignal für die Pulskompression, einem zur Berechnung des SAR-Bildes benötigten Verarbeitungsschritt. Zum anderen können aus diesem Signal Informationen, wie bspw. der Frequenzversatz und der Phasenfehler der beim Sender und Empfänger eingesetzten Oszillatoren, gewonnen werden. Eine fehlende Synchronisation hätte einen Qualitätsverlust und Positionierungsfehler bei der Bildrekonstruktion zur Folge. Zur Synchronisation von Sender und Empfänger können aber auch andere bekannte Verfahren verwendet werden, wie sie bspw. bei den Globalen Navigationssatellitensystemen (GNSS) GPS, GLONASS, oder Galileo zum Einsatz kommen. Weitere Informationen, die ggf. zur Berechnung des SAR-Bildes benötigt werden, wie bspw. die Position, die Blickrichtung des Senders und die Sendewellenformen, können über diese Funkverbindung ebenfalls übertragen werden.

[0026] Eine derartige Bewegung des Phasenzentrums der Sendeeinrichtung kann mittels verteilter Sendeanennen (Gruppenantenne), bspw. durch eine sequentielle Ansteuerung der einzelnen Sendeelemente bzw. -antennen, erzeugt werden. Weiterhin kann auch bei gleichzeitiger Ausstrahlung durch alle Sendeelemente, bei der jedes Sendeelement ein dem jeweiligen Sendeelement zuordbares kodiertes Signal ausstrahlt, in der Empfangseinrichtung eine derartige zyklische Bewegung des Phasenzentrums der Sendeeinrichtung bei der Signalauswertung erreicht werden. Die ist auch mit mehreren verteilten Sendeanennen möglich, die mit Sendesignalen in unterschiedlichen Frequenzbändern parallel betrie-

ben werden, wobei dann die von der Empfangseinrichtung empfangenen Radarsignale aufgrund der unterschiedlichen Frequenzbänder den jeweiligen Sendeanennen zugeordnet werden.

[0027] Nach der Akquisition der Daten eines Zyklus berechnet der dafür vorgesehene Algorithmus, vorzugsweise mit Hilfe der gespeicherten Positionsdaten der Plattform und des Synchronisationssignals, die SAR-Abbildung der Szene. Um eine kohärente Signalverarbeitung zu gewährleisten, werden in einem Vorverarbeitungsschritt Synchronisationsfehler zwischen Sender und Empfänger korrigiert. Das Bildergebnis wird auf einem Bildschirm angezeigt. Nach der Berechnung des nächsten Bildes aus den Daten des darauf folgenden Scans wird das Bild auf dem Bildschirm durch das neue Ergebnis ersetzt. Zusätzliche Informationen, wie Entfernung zur Szene, Ausdehnung der Szene, Position der eigenen Plattform, usw. können ebenfalls auf dem Bildschirm angezeigt werden.

[0028] Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens umfasst in einer Ausgestaltung zumindest eine separat von der Plattform, stationär zum Zielgebiet angeordnete Sendeeinrichtung und eine an der bewegten Plattform angeordnete Empfangseinrichtung, die eine Datenverarbeitungs- bzw. Bilderzeugungseinrichtung zur Erzeugung einer SAR-Radarabbildung aus den empfangenen Radarechos aufweist. Vorzugsweise umfasst die Empfangseinrichtung auch eine Synchronisationseinheit zur Synchronisation der Empfangseinrichtung mit der Sendeeinrichtung, vorzugsweise über ein empfangenes Synchronisationssignal.

[0029] Die Sendeeinrichtung ist dafür ausgebildet, um Radarpulse aus einem definierten Aspektwinkelbereich auf eine gewünschte Szene auszusenden und diesen Vorgang periodisch zu wiederholen. Die Aspektwinkeländerung kann mittels unbewegter, verteilter Sendeanennen (Gruppenantenne) entweder durch sequentielle Ansteuerung der Einzelstrahler oder durch gleichzeitiges Senden kodierter Sendesignale mit mehreren Sendeelementen erfolgen. Eine vorzugsweise an der Sendeeinrichtung vorhandene zweite Sendeanenne sendet ein Synchronisationssignal und ggf. Informationen zur abzubildenden Szene, bspw. die Lage des Flugplatzes, und/oder zur Sendeeinrichtung, bspw. Position, Blickrichtung und Sendewellenform, in Richtung der Empfängers. Die Empfangseinrichtung ist zum Empfang der reflektierten Radarpulse sowie zur Digitalisierung und Abspeicherung der Daten ausgebildet.

[0030] Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung auf der bewegten Plattform noch ein System zur Erfassung von Informationen über die Position der bewegten Plattform, bspw. einen GNSS-Empfänger. Die Datenverarbeitungs- bzw. Bilderzeugungss-

einrichtung verwendet vorzugsweise einen bistatischen SAR-Algorithmus, der mit Hilfe der Positionsdaten der Plattform, des Synchronisationssignals und der akquirierten Daten nacheinander für jeden Zyklus eine SAR-Abbildung der Szene berechnet und auf einem Bildschirm anzeigt.

[0031] In einer zweiten Ausgestaltung der Vorrichtung sind Sendeeinrichtung und Empfangseinrichtung vertauscht, wobei dann die Empfangseinrichtung so ausgebildet ist, dass sie die von der Szene in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierten Radarsignale unter unterschiedlichen Aspektwinkeln empfangen kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0032] Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals kurz erläutert. Hierbei zeigen;

[0033] **Fig. 1** ein Beispiel für den Einsatz des vorgeschlagenen Verfahrens zur Radarabbildung einer Landebahn von einem landenden Flugzeug in Voraussicht;

[0034] **Fig. 2** ein Beispiel für den Aufbau der Sendeeinrichtung der vorgeschlagenen Vorrichtung; und

[0035] **Fig. 3** ein Beispiel für den Aufbau der Empfangseinrichtung der vorgeschlagenen Vorrichtung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

[0036] Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird eine Serie von Radarabbildungen aus akquirierten Radarechos erzeugt, wobei die Signale durch einen bodengestützten Sender ausgesendet, von der abzubildenden Szene am Boden reflektiert und durch eine schräg nach unten in Flugrichtung ausgerichtete Empfangsantenne der Empfangseinrichtung auf einer bewegten Plattform empfangen werden. Der Sender sendet periodisch Radarpulse aus, während sich das Phasenzentrum des Senders entlang einer Strecke bewegt, um das Zielgebiet aus einem definierten Aspektwinkelbereich zu beleuchten. Das Phasenzentrum des Senders bzw. der Sendeantenne legt die Strecke anschließend in entgegengesetzter Richtung zurück und wechselt danach wieder die Richtung usw., wobei pro Zyklus ein SAR-Bild in der Empfangseinrichtung erzeugt wird.

[0037] Die Änderung des Phasenzentrums kann mittels unbewegter, verteilter Sendeantennen erfolgen. Die reflektierten Echos werden auf der bewegten Plattform durch eine auf den Boden aber in Bewegungsrichtung ausgerichtete Empfangsantenne empfangen und in der Empfangseinrichtung digi-

talisiert und gespeichert. Eine Synchronisation von Sender und Empfänger bzw. Sende- und Empfangseinrichtung erfolgt mit Hilfe eines Synchronisationssignals, das über eine direkte Funkverbindung oder über einen Transponder an die Empfangseinrichtung übertragen werden kann. Aus den akquirierten Daten werden mit Hilfe von bekannten Methoden zur Fokussierung bistatischer SAR-Daten bistatische SAR-Abbildungen berechnet und visualisiert. Hier kann bspw. ein Verfahren eingesetzt werden, wie es aus Walterscheid, I.; Ender, J. H. G.; Brenner, A. R.; Loffeld, O.: "Bistatic SAR Processing and Experiments", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 10, pp. 2710–2717, Oct. 2006 bekannt ist.

[0038] Grundsätzlich können beim vorgeschlagenen Verfahren Sender und Empfänger auch vertauscht werden, so dass die Beleuchtung der Szene durch einen vorwärts schauenden Sender auf der bewegten Plattform erfolgt und sich die Empfangseinrichtung am Boden befindet. Das Phasenzentrum der Empfangsantenne wird dabei durch Einsatz von verteilten Empfangsantennen variiert.

[0039] **Fig. 1** zeigt den Einsatz des vorgeschlagenen Verfahrens beim Landeanflug eines Flugzeugs **4**. Der Sender **1** ist in der Nähe der Landebahn **3** angeordnet. Das Phasenzentrum wird abwechselnd in beide Richtungen bewegt, wie dies durch die Pfeile in **Fig. 1** angedeutet ist. Während dieser Bewegung sendet der Sender Radarpulse in Richtung der abzubildenden Szene **2**, eines Landeabschnittes der Landebahn **3**, aus. In der Figur befindet sich der Sender **1** am Anfang bzw. vor der Landebahn **3**. Ebenso könnte sich der Sender aber auch am seitlichen Rand der Landebahn **3** befinden.

[0040] **Fig. 2** zeigt ein Beispiel für den schematischen Aufbau des Senders **1**. Der Sender **1** erzeugt das Radarsignal **5**, das über die Antenne **6** in Richtung der Szene abgestrahlt wird. Der Sender kann weiterhin auch ein Synchronisationssignal **7** über eine separate Antenne **8** in Richtung des Empfängers abstrahlen.

[0041] Das Radarsignal wird abhängig von den Rückstreuungseigenschaften am Boden reflektiert und durch den Empfänger an Bord des Flugzeugs **4** empfangen. Bestimmte Abschnitte oder Positionen auf der Landebahn **3**, die für den Landeanflug eine besondere Bedeutung haben, könnten zusätzlich durch Reflektoren in diesem Bereich oder durch entsprechende Bodenbeläge, die Radarsignale unterschiedlich stark reflektieren oder absorbieren, im Radarbild besonders hervorgehoben werden.

[0042] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel für den schematischen Aufbau der Empfangseinrichtung auf der bewegten Plattform. Die Empfangsantenne **9** kann wäh-

rend des Landeanflugs ggf. nachgeführt werden, damit sie stets die Radarechos des vom Sender **1** beleuchteten Bereichs empfangen kann. Die Empfangssignale werden in einer Datenakquisitionseinheit **10** digitalisiert und abgespeichert, während die Synchronisationseinheit **11** (falls ein Synchronisationssignal gesendet wird) über das empfangene Synchronisationssignal die Synchronisation der Empfangseinrichtung mit dem Sender herstellt. Mit Hilfe der Positionsdaten der Plattform, die durch einen GNSS-Empfänger **12** erhalten werden, werden die Synchronisationseinheit **11**, die Datenverarbeitungseinheit bestehend aus einer Vorverarbeitungseinheit **13** und einer Bilderzeugungseinheit **14** und schließlich die Visualisierungseinheit **15** für die Darstellung der SAR-Abbildungen unterstützt. Die Bilderzeugungseinheit **14** verwendet einen bistatischen SAR-Algorithmus, der aus dem aufgezeichneten und vorverarbeiteten Datensatz eines Sendezyklus ein Radarbild zur Darstellung auf der Visualisierungseinheit **15**, einem Bildschirm, erzeugt. Die Prozessierungsdauer sollte nicht länger als die Dauer eines Sendezyklus sein. Abhängig von der Dauer eines Sendezyklus wird auf dem Bildschirm eine Abfolge von SAR-Bildern der Landebahn angezeigt. Zusatzinformationen, wie Positions- und Lageinformation der Plattform, Entfernung zum Aufsetzpunkt, usw. können ebenfalls am Bildschirm angezeigt werden.

Bezugszeichenliste

1	Sender
2	Szene
3	Landebahn
4	Flugzeug
5	Radarsignal
6	Antenne
7	Synchronisationssignal
8	separate Antenne
9	Empfangsantenne
10	Datenakquisitionseinheit
11	Synchronisationseinheit
12	GNSS-Empfänger (GNSS: Globales Navigationssatellitensystem)
13	Vorverarbeitungseinheit
14	Bilderzeugungseinheit
15	visualisierungseinheit

Patentansprüche

1. Verfahren zur Radarabbildung einer Szene (**2**) ausgehend von einer relativ zur Szene (**2**) bewegten Plattform (**4**), bei dem
 – eine getrennt von der Plattform (**4**) relativ zur Szene (**2**) stationär angeordnete Sendeeinrichtung (**1**) die Szene (**2**) mit einer oder mehreren Radarwellen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln beleuchtet,
 – eine auf der bewegten Plattform (**4**) angeordnete und in Voraussicht ausgerichtete Empfangseinrich-

tung von der Szene (**2**) in Richtung der Plattform (**4**) reflektierte Radarsignale empfängt,
 – und aus den empfangenen Radarsignalen SAR-Radarabbildungen der Szene (**2**) berechnet und angezeigt werden.

2. Verfahren zur Radarabbildung einer Szene (**2**) ausgehend von einer relativ zur Szene (**2**) bewegten Plattform (**4**), bei dem
 – eine auf der bewegten Plattform (**4**) angeordnete und in Voraussicht ausgerichtete Sendeeinrichtung (**1**) die Szene (**2**) mit einer oder mehreren Radarwellen beleuchtet,
 – eine getrennt von der Plattform (**4**) relativ zur Szene (**2**) stationär angeordnete Empfangseinrichtung von der Szene (**2**) in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierte Radarsignale unter unterschiedlichen Aspektwinkeln empfängt,
 – und aus den empfangenen Radarsignalen SAR-Radarabbildungen der Szene (**2**) berechnet und angezeigt werden.

3. verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (**1**) mehrere verteilte Sendeantennen umfasst, die zur Beleuchtung der Szene (**2**) unter den unterschiedlichen Aspektwinkeln zeitlich sequentiell angesteuert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (**1**) mehrere verteilte Sendeantennen umfasst, die mit kodierten Sendesignalen parallel betrieben werden, wobei die von der Empfangseinrichtung empfangenen Radarsignale aufgrund der Kodierung den jeweiligen Sendeantennen zugeordnet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (**1**) mehrere verteilte Sendeantennen umfasst, die mit Sendesignalen in unterschiedlichen Frequenzbändern parallel betrieben werden, wobei die von der Empfangseinrichtung empfangenen Radarsignale aufgrund der unterschiedlichen Frequenzbänder den jeweiligen Sendeantennen zugeordnet werden.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (**1**) mehrere verteilte Empfangsantennen umfasst, die zum Empfang der von der Szene (**2**) reflektierten Radarsignale unter den unterschiedlichen Aspektwinkeln zeitlich sequentiell angesteuert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinrichtung (**1**) mehrere verteilte Empfangsantennen umfasst, die auf unterschiedlichen Frequenzbändern eines breitbandig ausgestrahlten Sendesignals parallel empfangen, wobei die von der Empfangseinrichtung empfangenen Radarsignale aufgrund der unterschiedlichen

Frequenzbänder den jeweiligen Empfangsantennen zugeordnet werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (1) und/oder die Empfangseinrichtung so betrieben wird, dass sich ein Phasenzentrum der ausgesendeten Radarwellen oder der empfangenen Radarsignale auf einer definierten Bahn zyklisch hin und her bewegt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass nach jedem Zyklus der zyklischen Bewegung eine SAR-Radarabbildung der Szene (2) berechnet und angezeigt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass über eine separate Antenne (8) der Sendeeinrichtung (1) ein Synchronisationssignal (7) ausgestrahlt wird.

11. Vorrichtung zur Radarabbildung einer Szene (2) ausgehend von einer relativ zur Szene (2) bewegten Plattform (4), zumindest bestehend aus:

- einer getrennt von der Plattform (4) relativ zur Szene (2) stationär angeordneten Sendeeinrichtung (1), durch die die Szene (2) mit einer oder mehreren Radarwellen unter unterschiedlichen Aspektwinkeln beleuchtbar ist, und
- einer auf der bewegten Plattform (4) angeordneten und in Voraussicht ausgerichteten Empfangseinrichtung, durch die von der Szene (2) in Richtung der Plattform (4) reflektierte Radarsignale empfangbar sind, wobei die Empfangseinrichtung
- eine Bilderzeugungseinheit (14) aufweist, die aus den empfangenen Radarsignalen SAR-Radarabbildungen der Szene (2) berechnet und an einer Visualisierungseinheit (15) anzeigt.

12. Vorrichtung zur Radarabbildung einer Szene (2) ausgehend von einer relativ zur Szene (2) bewegten Plattform (4), zumindest bestehend aus:

- einer auf der bewegten Plattform (4) angeordneten und in Voraussicht ausgerichteten Sendeeinrichtung (1), durch die die Szene (2) mit einer oder mehreren Radarwellen beleuchtbar ist, und
- einer getrennt von der Plattform (4) relativ zur Szene (2) stationär angeordneten Empfangseinrichtung, durch die von der Szene (2) in Richtung der Empfangseinrichtung reflektierte Radarsignale unter unterschiedlichen Aspektwinkeln empfangbar sind, wobei die Empfangseinrichtung
- eine Bilderzeugungseinheit (14) aufweist, die aus den empfangenen Radarsignalen SAR-Radarabbildungen der Szene (2) berechnet und an einer Visualisierungseinheit (15) anzeigt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (1) und/oder die Empfangseinrichtung so aus-

gebildet sind, dass sich ein Phasenzentrum der ausgesendeten Radarwellen oder der empfangenen Radarsignale während des Betriebs auf einer definierten Bahn zyklisch hin und her bewegt.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendeeinrichtung (1) eine separate Antenne (8) für die Ausstrahlung eines Synchronisationssignals (7) aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

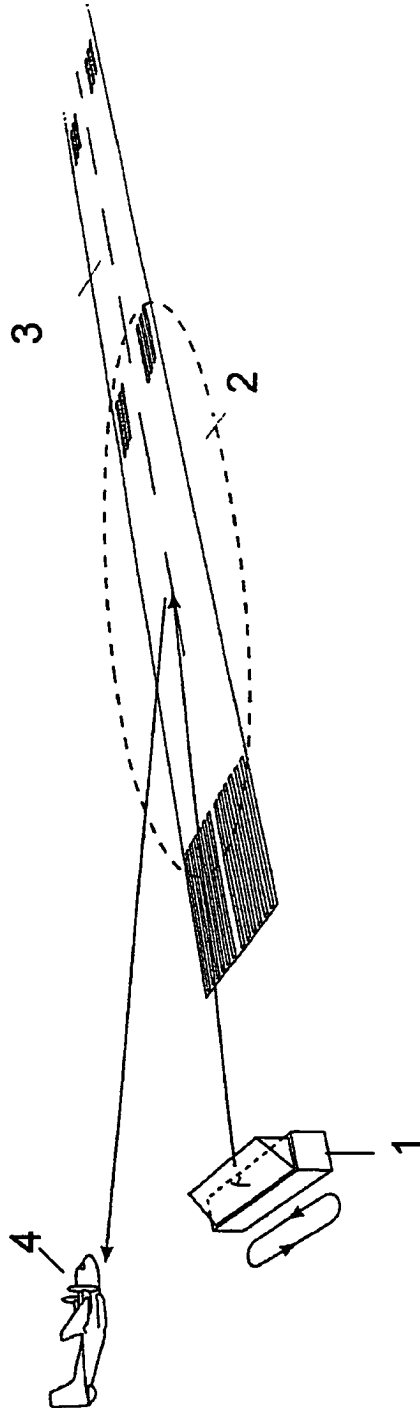


Fig. 1

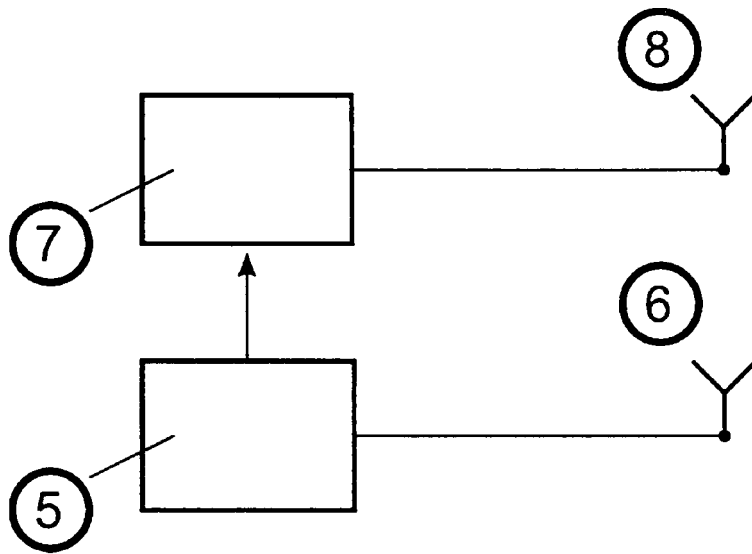


Fig. 2

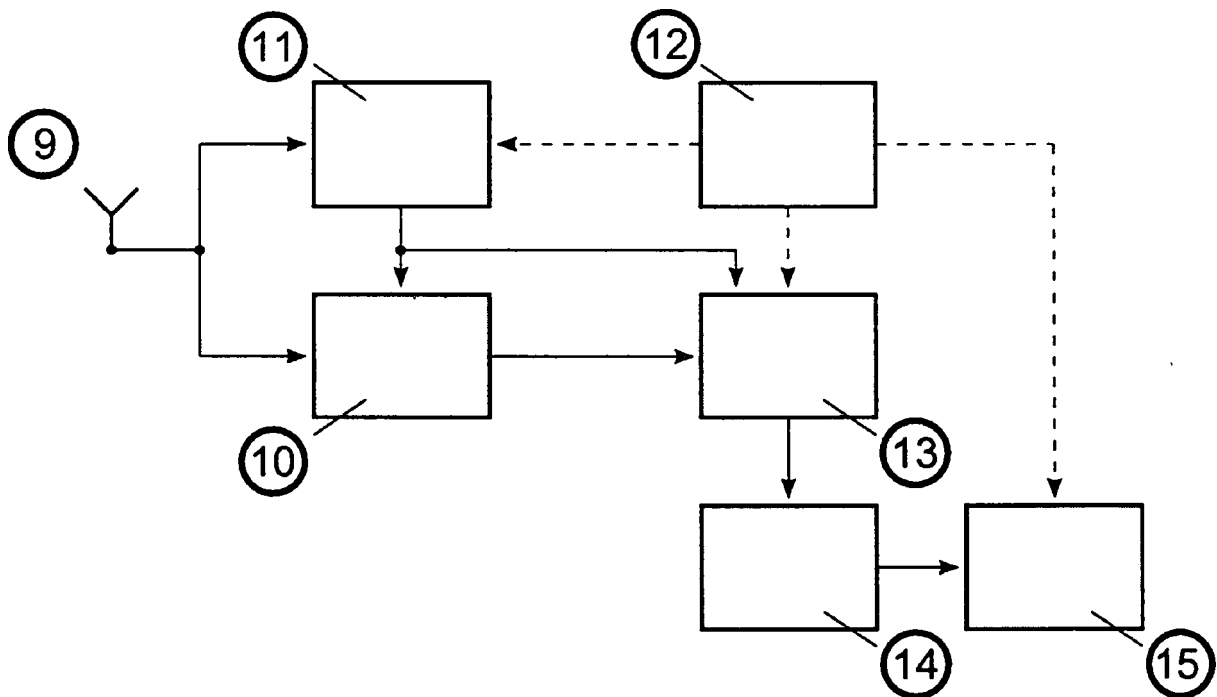


Fig. 3