



(11)

EP 2 634 860 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
19.12.2018 Patentblatt 2018/51

(51) Int Cl.:
H01Q 1/00 (2006.01) **H01Q 1/12** (2006.01)
H01Q 1/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12157565.8**

(22) Anmeldetag: **29.02.2012**

(54) Richtfunkstabilisierung für drahtlose Funkverbindungen im Millimeterwellen- und Terahertzfrequenz-Bereich

Directional radio stabilisation for wireless radio connections in millimetre wave and terahertz frequency range

Stabilisation de liaison hertzienne pour liaisons radio sans fil dans les zones d'ondes millimétriques et de fréquence térahertzienne

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.09.2013 Patentblatt 2013/36

(73) Patentinhaber: **Deutsche Telekom AG**
53113 Bonn (DE)

(72) Erfinder:
• **Schneider, Thomas**
14552 Michendorf OT Wilhelmshorst (DE)

• **Pederiva, Fabian**
04275 Leipzig (DE)

(74) Vertreter: **Vossius & Partner**
Patentanwälte Rechtsanwälte mbB
Siebertstrasse 3
81675 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 058 843 DE-A1- 1 498 041
US-A- 2 497 065 US-A- 4 696 053
US-A1- 2009 033 576

EP 2 634 860 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren für eine Funkverbindung mit Richtfunkstabilisierung, und insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren für eine Funkverbindung mit Richtfunkstabilisierung im Millimeterwellen- und Terahertzfrequenz-Bereich.

[0002] Für mobile Peil-, Ortungs- oder Richtfunkstationen müssen die Einflüsse von Nick-, Roll- bzw. Schlingerbewegungen zur Aufrechterhaltung der vorgegebenen Empfangs- und/oder Senderichtung in einem raumfesten Koordinatensystem stabilisiert werden (siehe DE-A-14 98 041). Daher sind solche Stabilisierungseinrichtungen für Schiffsradarsysteme, Zielsuchköpfe von Luftabwehrraketen und andere mobile Systeme, aber auch für mobile Satellitensysteme bekannt (siehe DE-A-14 98 041 und DE-A1-10 2008 008 387). Bei festen drahtlosen Funkverbindungen (Links), d.h. festen Richtfunkstrecken, war es hingegen bisher nicht nötig, Fluktuationen der Sende- und/oder Empfangsantenne auszugleichen. Schwingungen des Turmes oder Mastes durch Wind oder andere mechanische Einflüsse waren zu vernachlässigen oder wurden durch starre und verwindungssteife Mäste weitestgehend unterdrückt. Dies ist möglich, da bei niedrigen Frequenzen (üblicherweise bis höchstens 100 GHz) der Freiraum-Pfadverlust und die Dämpfung durch die Atmosphäre relativ gering sind. Daher müssen Sende- und Empfangsantenne keine sehr großen Gewinne aufweisen. Ein System zur Stabilisierung einer Richtfunkstrecke ist aus US 2009/0033576 A1 und aus US 4,696,053 bekannt.

[0003] Zur Übertragung hoher Datenraten (mehrere Gbps) benötigt man jedoch hohe Trägerfrequenzen im Millimeterwellen-Bereich (30 - 300 GHz, 3×10^{10} - 3×10^{11} Hz) und Terahertzwellen-Bereich (THz-Bereich; 0,3 - 30 THz, 3×10^{11} - 30×10^{12} Hz). Derartige drahtlose Funkverbindungen können z.B. zur Anbindung von Basisstationen des Mobilfunknetzes, zur Übertragung hochaufgelöster Fernsehbilder oder als hochbitratige Brücke in optischen Netzen eingesetzt werden.

[0004] Durch den Freiraumpfadverlust und Wettereinflüsse wie Nebel und Regen erfahren diese Frequenzen eine große Dämpfung bei der Übertragung. Diese führt zu einer drastischen Verringerung der mit diesen Links übertragbaren Datenrate bzw. zum Abbruch der Funkverbindung. Figur 1 zeigt die maximal übertragbaren Datenraten in Abhängigkeit von der Trägerfrequenz einer 1 km langen Richtfunkstrecke für Kanäle einer Bandbreite von 1 GHz. Für Sende- und Empfangsantennen mit einem Gewinn von 40 dBi liegt die maximal übertragbare Datenrate pro 1 GHz breitem Kanal ab 250 GHz Trägerfrequenz unter 1 Gbps. Für drahtlose Links lassen sich hohe Datenraten im Millimeterwellen- und THz-Bereich nur mit Sende- und Empfangsantennen mit einem sehr großen Gewinn erzielen. Bei einem Gewinn der Sende- und Empfangsantenne von jeweils 70 dBi können Datenraten von 17 Gbps in jedem GHz Bandbreite des ers-

ten Fensters (I in Fig. 1) und rund 15 Gbps im zweiten Fenster (II) übertragen werden. Dieser hohe Gewinn führt jedoch dazu, dass Sende- und Empfangsantennen eine sehr große Richtwirkung haben und daher kleinste Bewegungen der Sende- und/oder Empfangsantenne zu einer Unterbrechung der Übertragung führen können (siehe Fig. 2).

[0005] Eine Vor- Rückwärtsbewegung des Senders um einen Winkel im Bogenmaß $d\phi$ übersetzt sich in eine Schwankung des Strahls beim Empfänger von $d = r d\phi$. Hierbei ist r der Abstand zwischen Sender und Empfänger. Ein leichtes Schwanken des Senders durch Wind von 1° führt also dazu, dass der Funkstrahl an einem Empfänger, der sich in 1 km Entfernung befindet, eine Strecke von 17,45 m überstreicht. Ferner ist der Zusammenhang zwischen dem linearen Gewinn G einer Parabolantenne und der Halbwertsbreite b eines ausgehenden Funkstrahls im Abstand r zur Parabolantenne gegeben durch $b = r \cdot (4\pi / G)^{1/2}$, wobei der in der Einheit dBi angegebene (logarithmische) Gewinn der Antenne in den linearen Gewinn G gemäß $G = 10^{(\text{Gewinn [dBi]})/10}$ umzurechnen ist. Hat beispielsweise die Parabolantenne einen Gewinn von 40 dBi, so hat ihr Funkstrahl in 1 km Entfernung eine Halbwertsbreite von 35 m. Die Schwankung kann also vernachlässigt werden. Hat die Antenne hingegen einen Gewinn von 70 dBi, so beträgt die Halbwertsbreite nur noch 1,12 m. Die Funkverbindung würde also mit der Periode der Schwankung ausfallen.

[0006] Unter der Annahme, dass sich nur einer der Masten bewegt während der andere still steht, ergibt sich bei einem Gewinn der Sende- und Empfangsantenne von jeweils 10 dBi eine maximal tolerierbare Schwankung von 32° . Da die Schwankungen durch Wind meist kleiner sind, ist die Funkverbindung für diese Antennengewinne unproblematisch. Allerdings lassen sich bei Gewinnen im Bereich zwischen 10 dBi und 40 dBi nur Richtfunkstrecken mit Trägerfrequenzen im unteren GHz-Bereich (zwischen 1 GHz bis 100 GHz) aufbauen und auch nur Datenraten von mehreren Mbps übertragen. Dies entspricht dem Stand der Technik der heutigen drahtlosen Links.

[0007] Für zukünftige drahtlose Übertragungssysteme mit hohen Bitraten benötigt man hingegen höhere Trägerfrequenzen im Millimeterwellen-Bereich (30 - 300 GHz) oder Terahertzwellen-Bereich (0,3 - 30 THz) und damit höhere Antennengewinne (Fig. 1). Auf Grund physikalischer Bedingungen lassen sich derart hohe Frequenzen nur dann über eine größere Strecke übertragen, wenn Sende- und Empfangsantenne einen hohen Gewinn aufweisen: Da sich die Freiraumdämpfung bei steigender Frequenz erhöht, ist es nötig, die Richtwirkung der Antennen zu vergrößern und ihren Gewinn zu steigern. Dadurch verringern sich allerdings gleichermaßen der für den Empfang des Signals nutzbare Öffnungswinkel und daraus resultierend auch die nutzbare Öffnungsfläche. Hohe Gewinne machen die Funkverbindung also extrem anfällig für jede mechanische Fluktuation am Sende- oder Empfangsstandort. So beträgt beispielswei-

se bei einem Antennengewinn von 70 dBi die maximal tolerierbare Schwankung des Mastes nur noch 0,032°.

[0008] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung für eine Richtfunkstabilisierung für drahtlose Funkverbindungen im Millimeterwellen- und Terahertzfrequenz-Bereich sowie ein entsprechendes Verfahren dazu bereitzustellen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung sowie ein Verfahren mit den Merkmalen der vorliegenden Patentansprüche gelöst.

[0010] Die Grundidee der Erfindung ist folgende: Die erfindungsgemäße Richtfunkstabilisierung für drahtlose Funkverbindungen im Millimeterwellen- und Terahertzfrequenz-Bereich erfolgt durch eine schnelle Adaptation der Abstrahlcharakteristik der Antennen.

[0011] Die Verwendung der hier vorgeschlagenen Richtfunkstabilisierung macht es erst möglich, Richtfunkanlagen im Terahertzwellen- und Millimeterwellen-Bereich zu betreiben, da es ohne Korrektur auf Grund der sehr kleinen Signalöffnungsfläche zu Verbindungsabbrissen käme. Durch die Unabhängigkeit von Sender und Empfänger kann bei der Rekalibrierung des Winkels auf eine Verbindungskontrolle verzichtet werden, was zusätzlichen Datenaufwand (Overhead) im Nutzsignal erspart und generell einen Eingriff in den Inhalt des Nutzsignals unnötig macht. Das System ist durch die Unabhängigkeit von Sender- und Empfängerkalibrierung auch unidirektional einsetzbar.

[0012] Wird dabei beispielsweise eine Phased-Array-Antenne (Antenne mit phasengesteuertem Feld) eingesetzt, besteht der Vorteil, dass alle Bauteile, die zur Fluktuationskorrektur dienen, sich nicht durch Bewegung mechanisch abnutzen und dass Winkelabweichungen schneller korrigiert werden können, da es zu keiner Verzögerung bei der Rekalibrierung kommt. Zudem sinken mechanische Belastungen, wodurch eine Systemwartung der mechanischen Bauteile weitestgehend entfällt.

[0013] Je höher die Frequenz der Richtfunkanlage gewählt wird, desto höher muss der Antennengewinn ausfallen und desto kleiner sind die Winkeltoleranz und der Bereich, in dem das Signal empfangen werden kann. Dadurch steigt die Anfälligkeit des Systems für mechanische Fluktuationen und damit die Anforderung an den adaptiven Ausgleich.

[0014] Hier und im Folgenden soll unter "Ausrichtung einer Richtfunkantenne" die Richtung verstanden werden, in der die Hauptkeule der Abstrahlcharakteristik der Richtfunkantenne das Leistungsmaximum besitzt. Ferner sei durch den Begriff "Sollrichtung" die Richtung bezeichnet, in der die Richtfunkantenne idealerweise ausgerichtet sein soll. Unter "Richtungsabweichung" soll der Unterschied zwischen der tatsächlichen Ausrichtung einer Antenne und der Sollrichtung verstanden werden. Beispielsweise wird man die Richtungsabweichung zweckmäßig durch einen Polar- und/oder einen Azimutwinkel beschreiben; es sind jedoch andere gleichwertige Beschreibungen für die Richtungsabweichung möglich. Unter "Korrigieren der Abstrahlcharakteristik" oder "Kor-

rektur der Abstrahlcharakteristik" soll verstanden werden, dass die Ausrichtung einer Antenne, die nicht in die Sollrichtung ausgerichtet ist, so geändert/korrigiert wird, dass die Antenne nach der Korrektur in die Sollrichtung ausgerichtet ist. Schließlich soll unter der "Breite" oder dem "Querschnitt" eines Funkstrahls hier und im Folgenden immer die Halbwertsbreite des Leistungsprofils des Funkstrahls in der gemessenen Ebene bzw. Empfangsebene verstanden werden.

[0015] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit:

einer Richtfunkantenne, die an einer ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist;

einem Sensor, geeignet zum Erfassen einer Ausrichtung oder einer Änderung der Ausrichtung der Richtfunkantenne relativ zu einem Koordinatensystem, vorzugsweise einem raumfesten Koordinatensystem, und zum Ausgeben von Positionssignalen entsprechend der erfassten Ausrichtung oder Änderung der Ausrichtung der Richtfunkantenne;

einer Verarbeitungseinheit, konfiguriert zum Auswerten der vom Sensor ausgegebenen Positionssignale und zum Generieren und Ausgeben von Korrektursignalen, wobei das Auswerten das Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist; und

einer Korrektureinheit, geeignet zum Korrigieren der Abstrahlcharakteristik der Richtfunkantenne entsprechend den Korrekturdaten, wobei die Korrektureinheit in der Richtfunkantenne integriert sein kann.

[0016] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens ein Fasergyroskop aufweist.

[0017] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens ein Lasergyroskop aufweist.

[0018] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen Neigungssensor aufweist.

[0019] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor einen Laser, beispielsweise eine Laserdiode, und einen CCD-Chip auf. Der Laser ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf das Zentrum des CCD-Chips ausgerichtet.

[0020] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Da-

bei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor einen Laser, beispielsweise eine Laserdiode, und mehrere Photodetektoren auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise entlang einer gekrümmten Linie, angebracht. Der Laser ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0021] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor einen Laser, beispielsweise eine Laserdiode, und mehrere Photodetektoren auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise entlang einer geraden Linie, angebracht. Der Laser ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0022] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor einen Laser, beispielsweise eine Laserdiode, und mehrere Photodetektoren auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise in einem Feld, angebracht. Der Laser ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0023] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor eine Photodiode und einen CCD-Chip auf. Die Photodiode ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf das Zentrum des CCD-Chips ausgerichtet.

[0024] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor eine Photodiode und mehrere Photodetektoren auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise entlang einer gekrümmten Linie, angebracht. Die Photodiode ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0025] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor eine Photodiode und mehrere Photodetektoren, auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise entlang einer geraden Linie, angebracht. Die Photodiode ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

fest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0026] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei der Sensor mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist. Dabei weist vorzugsweise der mindestens eine hochempfindliche Lagesensor eine Photodiode und mehrere Photodetektoren auf. Ferner sind die Photodetektoren an der Befestigungseinrichtung, vorzugsweise in einem Feld, angebracht. Die Photodiode ist ortsfest, beispielsweise am Boden, angebracht und im Ruhezustand der Befestigungseinrichtung auf einen der Photodetektoren ausgerichtet.

[0027] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei die Verarbeitungseinheit ein digitaler Signalprozessor ist.

[0028] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei die Verarbeitungseinheit ein Mikrocontroller ist.

[0029] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei:

die Richtfunkantenne eine Phased-Array-Antenne ist;
die Korrekturereinheit die Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne aufweist; und
die Verarbeitungseinheit ferner konfiguriert ist zum linearen Verstärken der Richtungsabweichung und zum Ermitteln und Bereitstellen von Winkeldifferenzen für Phasenverschiebungen für die Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne.

[0030] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Richtfunkstabilisierungsvorrichtung, wobei:

die Richtfunkantenne an der ortsfesten Befestigungseinrichtung drehbar angebracht ist;
die Korrekturereinheit mindestens einen Servomotor aufweist, der zum Drehen der Richtfunkantenne konfiguriert ist; und
die Verarbeitungseinheit ferner konfiguriert ist zum Ermitteln einer Ausgleichsdrehung der Richtfunkantenne aus den vom Sensor bereitgestellten Positionssignalen und zum Ansteuern des mindestens einen Servomotors.

[0031] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein System mit Richtfunkstabilisierung für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, wobei das System zwei oder mehr erfindungsgemäße Richtfunkstabilisierungsvorrichtungen aufweist, wobei die Richtfunkantennen jeweils aufeinander ausgerichtet sind.

[0032] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis

1 THz, mit den Schritten:

Erfassen einer Ausrichtung oder einer Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne relativ zu einem Koordinatensystem, vorzugsweise einem raumfesten Koordinatensystem, mit einem Sensor, der beispielsweise mindestens einem Fasergyroskop aufweist;

Ausgeben von Positionssignalen durch den Sensor an eine Verarbeitungseinheit, wobei die Positionssignale der erfassten Ausrichtung oder der Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne entsprechen;

Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten das Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist;

Generieren von Korrektursignalen für eine Ausgleichsbewegung der Richtfunkantenne;

Ausgeben der Korrektursignale an die Korrektуреinheit;

Korrigieren der Richtungsabweichung der Richtfunkantenne entsprechend den Korrektursignalen durch die Korrektуреinheit.

[0033] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit den Schritten:

Erfassen einer Ausrichtung oder einer Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne relativ zu einem Koordinatensystem, vorzugsweise einem raumfesten Koordinatensystem, mit einem Sensor, der beispielsweise mindestens ein Lasergyroskop aufweist;

Ausgeben von Positionssignalen durch den Sensor an eine Verarbeitungseinheit, wobei die Positionssignale der erfassten Ausrichtung oder der Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne entsprechen;

Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten das Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist;

Generieren von Korrektursignalen für eine Ausgleichsbewegung der Richtfunkantenne;

Ausgeben der Korrektursignale an die Korrektуреinheit;

Korrigieren der Richtungsabweichung der Richtfunkantenne entsprechend den Korrektursignalen durch die Korrektуреinheit.

[0034] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz

bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit den Schritten:

Erfassen einer Ausrichtung oder einer Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne relativ zu einem Koordinatensystem, vorzugsweise einem raumfesten Koordinatensystem, mit einem Sensor, der beispielsweise mindestens einen Neigungssensor aufweist;

Ausgeben von Positionssignalen durch den Sensor an eine Verarbeitungseinheit, wobei die Positionssignale der erfassten Ausrichtung oder der Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne entsprechen;

Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten das Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist;

Generieren von Korrektursignalen für eine Ausgleichsbewegung der Richtfunkantenne;

Ausgeben der Korrektursignale an die Korrektуреinheit;

Korrigieren der Richtungsabweichung der Richtfunkantenne entsprechend den Korrektursignalen durch die Korrektуреinheit.

[0035] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit den Schritten:

Erfassen einer Ausrichtung oder einer Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne relativ zu einem Koordinatensystem, vorzugsweise einem raumfesten Koordinatensystem, mit einem Sensor, der beispielsweise mindestens einen hochempfindlichen Lagesensor aufweist;

Ausgeben von Positionssignalen durch den Sensor an eine Verarbeitungseinheit, wobei die Positionssignale der erfassten Ausrichtung oder der Änderung der Ausrichtung einer Richtfunkantenne entsprechen;

Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten das Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist;

Generieren von Korrektursignalen für eine Ausgleichsbewegung der Richtfunkantenne;

Ausgeben der Korrektursignale an die Korrektуреinheit;

Korrigieren der Richtungsabweichung der Richtfunkantenne entsprechend den Korrektursignalen durch die Korrektуреinheit.

[0036] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunk-

stabilisierungssystem für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit:

(1) einer Sendestation, die aufweist:

(1a) eine Richtfunkantenne zum Senden von Funksignalen, wobei die Richtfunkantenne an einer ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist;

(1b) eine Korrekturereinheit, geeignet zum Korrigieren der Abstrahlcharakteristik der Richtfunkantenne, wobei die Korrekturereinheit in der Richtfunkantenne integriert sein kann;

(1c) eine Rückkanalempfangseinrichtung zum Empfangen von Rückkanalfunksignalen zur Steuerung der Korrekturereinheit;

(2) einer Empfangsstation, die aufweist:

(2a) eine Empfangseinrichtung, die an einer zweiten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist, wobei die Empfangseinrichtung geeignet ist zum orts aufgelösten Erfassen der Leistung eines empfangenen Funksignals und zum Ausgeben von Positionssignalen entsprechend der erfassten orts aufgelösten Leistung des empfangenen Funksignals; und

(2b) eine Verarbeitungseinheit, wobei die Verarbeitungseinheit konfiguriert ist, aus den Positionssignalen Korrektursignale zu generieren, die zur Steuerung der Korrekturereinheit geeignet sind;

(2c) eine Rückkanalsendeeinrichtung zum Senden von Rückkanalfunksignalen entsprechend den von der Verarbeitungseinheit generierten Korrektursignalen;

wobei die Richtfunkantenne und die Empfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Funkverbindung möglich ist; und

die Rückkanalsendeeinrichtung und die Rückkanalempfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Übertragung von Rückkanalfunksignalen möglich ist.

[0037] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei die Verarbeitungseinheit ein digitaler Signalprozessor ist.

[0038] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei die Verarbeitungseinheit ein Mikrocontroller ist.

[0039] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei die Empfangseinrichtung eine Phased-Array-Antenne aufweist, wobei die Abmessung der Phased-Array-Antenne in vertikaler Richtung,

vorzugsweise auch in horizontaler Richtung, größer ist als der Querschnitt des empfangenen Funksignals.

[0040] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei die Empfangseinrichtung drei in verschiedenen Höhen angeordnete Parabolantennen aufweist, wobei:

die drei Parabolantennen entlang einer vertikalen Geraden angeordnet sind oder entlang eines Bogens, der bezüglich der Empfangsrichtung konvex gekrümmt ist, angeordnet sind; und

vorzugsweise die in mittlerer Höhe positionierte Parabolantenne einen größeren Gewinn aufweist als die darüber positionierte Parabolantenne und/oder die darunter positionierte Parabolantenne.

[0041] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei die Empfangseinrichtung eine Parabolantenne aufweist, wobei die Parabolantenne einen Parabolspiegel und drei in vertikaler Richtung vor dem Parabolspiegel angeordnete rauscharme Signalumsetzer (LNB's) aufweist.

[0042] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei:

die Richtfunkantenne eine Phased-Array-Antenne ist; und

die Korrekturereinheit die Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne aufweist.

[0043] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungssystem, wobei:

die Richtfunkantenne an der ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung drehbar angebracht ist; und die Korrekturereinheit mindestens einen Servomotor aufweist, der zum Drehen der Richtfunkantenne konfiguriert ist.

[0044] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren für ein Richtfunkstabilisierungssystem für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, wobei das Richtfunkstabilisierungssystem aufweist:

eine Sendestation mit:

einer Richtfunkantenne zum Senden von Funksignalen, wobei die Richtfunkantenne an einer ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist;

eine Korrekturereinheit, wobei die Korrekturereinheit in der Richtfunkantenne integriert sein kann;

eine Rückkanalempfangseinrichtung;

eine Empfangsstation mit:

einer Empfangseinrichtung, die an einer zweiten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist;
einer Verarbeitungseinheit;
einer Rückkanalsendeinrichtung;

wobei die Richtfunkantenne und die Empfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Funkverbindung möglich ist; und die Rückkanalsendeinrichtung und die Rückkanalempfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Übertragung von Rückkanalfunksignalen möglich ist;

mit den Schritten:

- (a) orts aufgelöstes Erfassen der Leistung eines empfangenen Funksignals mit der Empfangseinrichtung;
- (b) Ausgeben von Positionssignalen entsprechend der orts aufgelöst erfassten Leistung des empfangenen Funksignals an die Verarbeitungseinheit;
- (c) Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten ein Ermitteln der Richtungsabweichung der Ausrichtung der Richtfunkantenne von einer Sollrichtung aufweist;
- (d) Generieren von Korrektursignalen, die zur Steuerung der Korrekturereinheit geeignet sind, aus den Positionssignalen durch die Verarbeitungseinheit;
- (e) Senden der Korrektursignale mittels geeigneter Rückkanalfunksignale durch die Rückkanalsendeinrichtung an die Rückkanalempfangseinrichtung;
- (f) Empfangen der Korrektursignale durch die Rückkanalempfangseinrichtung;
- (g) Korrigieren der Abstrahlcharakteristik der Richtfunkantenne entsprechend den empfangenen Korrektursignalen durch die Korrekturereinheit.

[0045] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren, wobei die Empfangseinrichtung eine Phased-Array-Antenne aufweist, wobei die Abmessung der Phased-Array-Antenne in vertikaler Richtung, vorzugsweise auch in horizontaler Richtung, größer ist als der Querschnitt des empfangenen Funksignals; und wobei:

das orts aufgelöstes Erfassen der Leistung folgenden Schritt aufweist:

Messen der Leistung eines empfangenen Funksignals an jedem der Elemente der Phased-Array-Antenne; und

das Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit folgende Schritte aufweist:

Bestimmung der Position der maximalen Leistung des empfangenen Funksignals aus den Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position der maximalen Leistung zu einer Sollposition, wobei

die Sollposition durch die Position der maximalen Leistung eines Funkstrahls in Sollrichtung gegeben ist.

5 **[0046]** Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren, wobei die Empfangseinrichtung drei in verschiedenen Höhen angeordnete Parabolantennen aufweist; und wobei:

10 das orts aufgelöstes Erfassen der Leistung folgenden Schritt aufweist:

Messen der Leistung eines empfangenen Funksignals an jeder der Parabolantennen; und

das Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit folgende Schritte aufweist:

Bestimmung der Position der maximalen Leistung des empfangenen Funksignals aus den Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position der maximalen Leistung zu einer Sollposition, wobei die Sollposition durch die Position der maximalen Leistung eines Funkstrahls in Sollrichtung gegeben ist.

20 **[0047]** Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren, wobei die Empfangseinrichtung eine Parabolantenne aufweist, wobei die Parabolantenne einen Parabolspiegel und drei in vertikaler Richtung vor dem Parabolspiegel angeordnete rauscharme Signalumsetzer (LNB's) aufweist; und wobei:

das orts aufgelöstes Erfassen der Leistung folgenden Schritt aufweist:

Messen der Leistung eines empfangenen Funksignals an jedem der rauscharmen Signalumsetzer; und

das Auswerten der Positionssignale durch die Verarbeitungseinheit folgende Schritte aufweist:

Bestimmung der Position der maximalen Leistung des empfangenen Funksignals aus den Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position der maximalen Leistung zu einer Sollposition, wobei die Sollposition durch die Position der maximalen Leistung eines Funkstrahls in Sollrichtung gegeben ist.

40 **[0048]** Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren, wobei:

die Richtfunkantenne eine Phased-Array-Antenne ist;

die Korrekturereinheit die Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne aufweist; und

das Generieren der Korrektursignale folgende Schritte aufweist:

lineares Verstärken der Richtungsabweichung;

und
Ermitteln von Winkeldifferenzen für Phasenverschiebungen für die Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne.

[0049] Ein Aspekt der Erfindung betrifft ein Richtfunkstabilisierungsverfahren, wobei:

die Richtfunkantenne an der ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung drehbar angebracht ist;
die Korrekturereinheit mindestens einen Servomotor aufweist;
das Auswerten durch die Verarbeitungseinheit den folgenden Schritt aufweist:
Ermitteln einer Ausgleichsdrehung der Richtfunkantenne aus den Positionssignalen; und
das Korrigieren durch die Korrekturereinheit folgenden Schritt aufweist: Drehen der Richtfunkantenne entsprechend der ermittelten Ausgleichsdrehung.

[0050] Es zeigen:

Fig. 1: Maximal übertragbare Datenrate in Gbps pro GHz Kanalbandbreite als Funktion der Frequenz für eine Richtfunkstrecke einer Länge von 1 km, Regen einer Stärke von 50 mm/h und Sende- und Empfangsantennen mit verschiedenen Gewinnen zwischen 40 und 70 dBi, einer Sendeleistung von 10 dBm, einer Rauschzahl des Empfängers von 10 dB und einer Umgebungstemperatur von 300 K (26.85°C).

Fig. 2: Zulässige Winkeltoleranz der Senderhalterung (hin und zurück) als Funktion des Antennengewinns für einen 1 km Link, unter Annahme die Empfängerhalterung sei fixiert.

Fig. 3: Drei Parabolantennen mit hohem Gewinn und ankommender Strahl (schraffiert). A: für drei Antennen mit demselben Gewinn. B: Anordnung der drei Antennen zum Ausgleich kleiner Schwankungen. C: drei Antennen mit unterschiedlichem Gewinn.

Fig. 4: Phased-Array-Antenne aus Dipolelementen und ankommender Funkstrahl (schraffiert), der sich nach oben links bewegt. Auf Grund der Phasen- und Amplitudenunterschiede des Stromes den die einzelnen Elemente liefern, lässt sich diese Bewegung durch die Empfangsantenne erkennen.

Fig. 5: Drahtlose Terahertzwellen-Funkverbindung ohne Rückkanal.

Fig. 6 zeigt eine Sende- bzw. Empfangseinheit mit adaptiver Steuerung. In unmittelbarer Nähe z.B. an die Befestigungsstange der Antenne ist zusätzlich eine Sensoreinheit (1) und eine Verarbeitungseinheit (2) montiert.

Fig. 7: Schema des Zusammenwirkens der Komponenten "Sensorik" [A], "Verarbeitungseinheit" [B] und "Korrekturereinheit" [C].

Fig. 8: Winkelsensor mit Lasers- oder Diodensteuerung innerhalb (A) bzw. außerhalb des Mastes (B).

[0051] Die Erfindung wird nachstehend anhand von Beispielen und der Zeichnung erläutert.

[0052] Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung können sowohl als System mit Rückkanal als auch als System ohne Rückkanal ausgestaltet sein. Zunächst seien Ausführungsformen beschrieben, die als System mit Rückkanal ausgestaltet sind:

Durch mechanische Einflüsse wie z.B. Wind, die Ausdehnung durch Sonneneinstrahlung oder die Bewegung der Erdkruste usw. kann sich sowohl der Sende- als auch der Empfangsmast bewegen. Während eine seitliche Bewegung der Masten relativ unproblematisch ist, führt eine Vor-Rückbewegung, oder eine Drehung um die Längsachse des Mastes zu einem periodischen Ausfall einer hochbitratigen Funkverbindung. Um einen derartigen Ausfall zu verhindern, müssen diese Schwankungen gemessen und adaptiv ausgeglichen werden. Im Folgenden wird nur auf eine mögliche Vor-Rückbewegung des Mastes eingegangen. Für eine seitliche Verdrehung gilt allerdings dasselbe. Das heißt, dass dafür dieselben Lösungen verwendet werden können. Auf Grund der hohen Richtwirkung, den drahtlosen Funkverbindungen im Millimeterwellen- und Terahertzwellen-Bereich haben müssen, konzentriert sich die abgestrahlte Leistung auch nach einer Entfernung von einem Kilometer auf eine relativ geringe Fläche. Gleichzeitig sind die Abmaße eines einzelnen Antennenelements auf Grund der hohen Frequenzen relativ gering. Beispielsweise ist bei einem Gewinn von 70 dBi der Durchmesser des Bereichs, in dem die Leistung größer ist als die Hälfte ihres Maximalwertes, 1,12 m. Der Durchmesser einer idealen (ohne Verluste) Parabolantenne mit 70 dBi Gewinn liegt bei Trägerfrequenzen zwischen 300 und 900 GHz im Bereich von 1 m bis 0,33 m. Daher lassen sich sowohl beim Sender als auch beim Empfänger auch 3 Antennen übereinander anbringen wie Fig. 3(A) zeigt.

[0053] Im Folgenden soll angenommen werden, dass Fig. 3 die Empfängerseite zeigt. Dasselbe gilt natürlich auch für den Sender. Wenn der Sendemast beginnt, sich durch Windenfluss nach hinten zu neigen, so wird der ankommende Funkstrahl beim Empfänger nach oben wandern, wie in Fig. 3(A) dargestellt. In diesem Fall verringert sich die Leistung die durch die Antenne A1 empfangen wird, gleichzeitig steigt die Leistung an Antenne A3. Neigt sich der Sendemast hingegen nach vorn, so wird die Leistung an A3 kleiner, während die Leistung an A1 größer wird. Am Empfänger lässt sich also die Richtung der Schwankung des Sendemastes bestimmen. Durch einen Rückkanal kann nun die Abstrahlrichtung der Sendeantenne so gesteuert werden, dass die Leistung an A1 und A3, unabhängig von der Bewegung des Mastes, immer gleich ist und der Strahl zentral auf A2 gerichtet ist. Die Abstrahlcharakteristik der Sendeantenne muss dabei unabhängig von der Bewegung des Mastes beeinflusst werden können. Dies kann z.B. mit einer mechanischen Bewegung der Antenne durch einen Motor geschehen. Neigt sich der Mast nach hinten, wandert der Funkstrahl am Empfänger nach oben. Durch den

Rückkanal wird die mechanische Steuerung der Sendeantenne so beeinflusst, dass sie sich nach vorn neigt bis die Empfangsleistung an A1 und A3 wieder gleich ist. Dieser Rückkanal kann beispielsweise eine zweite Richtfunkstrecke mit geringer Datenrate und niedriger Trägerfrequenz sein.

[0054] Bringt man die drei Antennen in einem gekrümmten Bogen an wie in der Fig. 3(B) gezeigt, so lassen sich kleine Fluktuationen des Sendemastes ohne Steuerung ausgleichen. An Stelle der drei unabhängigen Parabolantennen kann man auch eine einzelne Antenne mit drei unabhängigen in vertikaler Richtung angeordneten rauscharmen Signalumsetzern (LNB's, Low Noise Block Converter) verwenden. Trifft der Strahl nicht senkrecht auf den Parabolspiegel, so verschiebt sich der Fokuspunkt in den anderen LNB. Auch diese Anordnung lässt sich zur Messung der Schwankung einsetzen.

[0055] Da die Elemente A1 und A3 nur dazu dienen die Richtung des Funkstrahls zu bestimmen, können beide auch einen viel niedrigeren Gewinn haben und damit viel kleiner gebaut werden als die zentrale Antenne A2, wie Fig. 3(C) zeigt.

[0056] Eine mechanische Steuerung könnte für viele Anwendungen zu langsam bzw. zu störanfällig sein. Eine Alternative bietet daher eine schnelle elektronische Steuerung, die durch den Einsatz von Phased-Array-Antennen (siehe in Robert C. Hansen, "Phased Array Antennas (Wiley Series in Microwave and Optical Engineering)", John Wiley & Sons, 2. Auflage (12. Januar 2010)) möglich ist. Bei diesen besteht die einzelne Antenne aus einer Vielzahl von Elementen. Ihr Gewinn bzw. ihre Richtwirkung steigt mit der Anzahl der Elemente, und die Richtung der Abstrahlung einer Sendeantenne wird durch eine Phasenänderung des Ansteuerstroms der einzelnen Elemente erzielt. Im Empfangsfall kann eine Phased-Array-Antenne aber durch Auswertung der Phasen der einzelnen Elemente auch feststellen aus welcher Richtung der Funkstrahl kommt. Wenn das einzelne Element z.B. ein Dipol ist, so liegen seine Abmessungen für Trägerfrequenzen zwischen 300 und 900 GHz im Bereich von 1/6 bis 1/2 mm. Für Funkverbindungen im Terahertz-Bereich lassen sich demnach relativ kleine Phased-Array-Antennen mit hohem Gewinn aufbauen.

[0057] Da die Phased-Array-Antenne im Empfangsfall die Richtung aus der der Funkstrahl kommt bestimmen kann, erübrigt sich das Anbringen mehrerer Antennen. Allerdings muss die Antenne in der Ebene, die gemessen werden soll, größer als die Breite des Funkstrahls sein. Unter der "Breite" eines Funkstrahls soll hier und im Folgenden immer die Halbwertsbreite des Leistungsprofils des Funkstrahls in der gemessenen Ebene bzw. Empfangsebene verstanden werden. Sollen nur Vor-Rückbewegungen des Mastes ausgeglichen werden (vertikale Ebene), so kommen Antennen in Frage, die in der vertikalen Ebene größer sind. Ist die Antenne hingegen auch in der horizontalen Ebene größer, so lassen sich sowohl Fluktuationen in der vertikalen als auch in der horizonta-

len Ebene ausgleichen, wie Figur 4 zeigt.

[0058] Kleine Fluktuationen des Sendemastes müssen nicht korrigiert werden, solange der Funkstrahl vollständig auf die Antenne trifft. Erst wenn die Abweichung größer wird, sind Korrekturen notwendig.

[0059] Im Folgenden werden nun Ausführungsformen beschrieben, die als System ohne Rückkanal ausgestaltet sind:

Verfügt der drahtlose Link über keinen Rückkanal so müssen Sende- und Empfangsantenne so gesteuert werden, dass sie ihren Funkstrahl immer auf einen virtuellen Punkt im Unendlichen richten, wie Fig. 5 zeigt. Der virtuelle Punkt der Sendeantenne liegt dabei auf derselben Linie wie der virtuelle Punkt der Empfangsantenne.

[0060] Die adaptive Steuerung beider Antennen arbeitet so, dass der Funkstrahl immer auf den jeweiligen virtuellen Punkt im Unendlichen zeigt. Bei einem mechanischen Ausgleich wird die Schwankung des Mastes nach vorn oder hinten durch eine Drehung der Antenne nach hinten bzw. vorn ausgeglichen. Bei Phased-Array-Antennen wird die Richtung des ausgesendeten Funkstrahls verändert.

[0061] Figur 6 zeigt eine Sende- bzw. Empfangseinheit mit adaptiver Steuerung. In unmittelbarer Nähe, beispielsweise an der Befestigungsstange der Antenne, muss zusätzlich eine Sensoreinheit (1) und eine Verarbeitungseinheit (2) montiert werden. Die erfassten und verarbeiteten Daten aus der Sensorik und der Verarbeitungseinheit werden dann für eine Korrektur der Abstrahlcharakteristik bereitgestellt (3). Die Korrektur der Abstrahlcharakteristik erfolgt dann durch die Antenne selbst, entweder mechanisch oder elektronisch.

[0062] Die Sensorik (Block A in Fig. 7) muss in der Lage sein, die Winkeländerungen des Vertikalwinkels (des Drehwinkels der Auslenkung der Antenne um eine horizontale Achse) zu erfassen. Zur Erfassung des Horizontalwinkels (des Drehwinkels der Auslenkung der Antenne um eine vertikale Achse) kann eine zweite Sensoreinheit eingesetzt werden. Zur Verwendung kommen demnach fein auflösende Sensoren, welche einachsige Winkeländerungen erfassen und ausgeben können, z.B. Faser-, Lasergyroskope oder hochempfindliche Lage-sensoren.

[0063] Einen einfachen, preiswerten aber gleichzeitig hochgenauen Sensor zeigt Fig. 8. Am Fuß des Antennenmastes befindet sich ein Laser, z.B. eine preiswerte Laserdiode, oder eine Photodiode deren Strahl senkrecht nach oben gerichtet ist (gestrichelt). Oben sind einzelne Photodetektoren in einer gekrümmten oder geraden Linie angebracht (gepunktet). Dabei ist einer der Photodetektoren in bezüglich der genannten Linie zentral angebracht, wobei die zentrale Lage so gewählt ist, dass der zentral angebrachte Photodetektor vom Laserstrahl getroffen wird, wenn sich der Mast im nicht-ausgelenkten Zustand (Ruhezustand ohne Schwingungen und ohne Krafteinwirkung auf den Mast) befindet. Fängt der Mast an sich zu bewegen, so wird ein anderer Pho-

todetektor als der zentral angebrachte Photodetektor vom Laserstrahl getroffen. Daher kann man mit diesem System sehr genau die Auslenkung des Mastes messen. Diese Messung ist umso genauer, je schmaler der Strahl, je enger die Anbringung der Photodetektoren und je höher der Mast ist. Mit einem Feld (Array) aus Photodetektoren, oder einem Chip, vorzugsweise einem CCD-Chip (CCD: charged coupled device), lässt sich die Auslenkung des Mastes in allen Richtungen bestimmen.

[0064] Sollte innerhalb des Mastes kein Platz sein, so lässt sich das System auch direkt an der Antenne anbringen, wie Abb. 8 (B) zeigt.

[0065] Die Verarbeitungseinheit (Block B in Fig. 7) nimmt die Signale der Sensoreinheit auf und stellt für die Korrekturereinheit angepasste Daten bereit. Unter Verwendung einer Phased-Array-Antenne bedeutet dies, dass der von der Sensorik erfasste Winkel aufgenommen und linear verstärkt wird, um die Winkeldifferenz für eine Phasenverschiebung den Phasenschiebern der Phased-Array-Antenne bereit zu stellen.

[0066] Zusätzlich muss die Verarbeitungseinheit schnell genug arbeiten, um Korrekturdaten innerhalb der Aktualisierungszeit bereit zu stellen. Für eine Antenne mit einem Gewinn von 40 dBi und einem Öffnungswinkel von 1° , die auf einem 50 m hohen Mast montiert ist, welcher an seiner Spitze um 50 cm mit einer Frequenz von 5 Hz (also einer Schwingungsdauer von $T = 0,2$ s) schwankt, ergibt sich, dass die Verarbeitungseinheit nach spätestens 0,11 Sekunden erneut Korrekturdaten bereitstellen muss, damit das Signal beim Empfänger nicht abreißt. Technisch sind noch viel kleinere Aktualisierungszeiten realisierbar. Allgemein ergibt sich für Schwingungen des Mastes, dass die Aktualisierungszeit (also die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Aktualisierungen) gleich oder kleiner als $t_{akt} = \beta / \omega_{max}$ sein muss, wobei β den nutzbaren Öffnungswinkel der Hauptkeule der Abstrahlung der Antenne und ω_{max} die maximale Winkelgeschwindigkeit bezeichnen, und $\omega_{max} = (s \cdot 180^\circ) / (h \cdot T)$ gilt mit der maximalen Schwankbreite s im Bogen, der Masthöhe h und der Schwingungsdauer T .

[0067] Die durch Wind hervorgerufenen Fluktuationen an der Sendeeinrichtung sind in den meisten Szenarien als dynamische Last zu betrachten. Treten durch Resonanzschwingungen in weniger steifen Masten dynamisch zu betrachtende Lageänderungen der Anlage auf, sind diese Schwingungen aufgrund der Trägheit der Konstruktion aber eher langsam und liegen im mehrstelligen Millisekunden-Bereich bzw. im einstelligen Hertz-Bereich. Einsetzbare Verarbeitungseinheiten sind z.B. digitale Signalprozessoren oder Mikrocontroller.

[0068] Die Korrekturereinheit (Block C in Fig. 7) nimmt die von der Verarbeitungseinheit bereitgestellten Korrekturdaten entgegen und korrigiert mithilfe dieser Daten die Abstrahlcharakteristik der Antenne. Unter Verwendung einer Phased-Array-Antenne wird die Phasenwinkeldifferenz, welche zuvor von der Verarbeitungseinheit berechnet wurde, entgegengenommen und auf den Phasenschiebern gemäß dem Prinzip einer Phased-Array-

Antenne eingestellt.

[0069] Im Folgenden sei eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens für eine Funkverbindung mit Richtfunkstabilisierung im Millimeterwellen- und Terahertzfrequenz-Bereich beschrieben: Um Winkeländerungen zu ermitteln, die durch Bewegung von Sender und Empfänger ausgelöst werden, wird ein Gyroskop, ein Neigungssensor oder ein anderer Sensor eingesetzt (vgl. auch Block A in Fig. 7). Dieser misst Lageänderungen und gibt sie an eine Verarbeitungseinheit weiter. Die Verarbeitungseinheit (z.B. DSP, Mikrocontroller) wertet die Lageänderung aus und generiert daraus den Wert der Verschiebung des Phasenwinkels (vgl. auch Block B in Fig. 7), der für die Phasenschieber der Phased-Array-Antenne bereitgestellt wird. Bei der Verwendung eines Servomotors wird alternativ der Wert für die nötige Ausgleichbewegung ermittelt und der Korrekturereinheit (Block C in Fig. 7), welche den Servomotor aufweist, übergeben. Anschließend wird der ermittelte Phasenwinkel an den Phasenschiebern für jedes Element des Antennenarrays nach dem Prinzip der Phased-Array-Antenne angepasst, bzw. eine Ansteuerung des Servomotors vorgenommen. Wird die beschriebene Vorgehensweise vor Ablauf der Aktualisierungszeit wiederholt, wird die Bewegung des Mastes, des Turmes oder der Plattform dynamisch ausgeglichen.

[0070] Sowohl Empfänger als auch Sender arbeiten bei diesem Verfahren unabhängig voneinander. Für die Korrektur ist demnach keine Kommunikation zwischen ihnen nötig, wodurch sich dieses Verfahren auch für unidirektionale Übertragungssysteme einsetzen lässt.

[0071] Obwohl die Erfindung mittels der Figuren und der zugehörigen Beschreibung dargestellt und detailliert beschrieben ist, sind diese Darstellung und diese detaillierte Beschreibung illustrativ und beispielhaft zu verstehen und nicht als die Erfindung einschränkend. Es versteht sich, dass Fachleute Änderungen und Abwandlungen machen können, ohne den Umfang der folgenden Ansprüche zu verlassen. Insbesondere umfasst die Erfindung ebenfalls Ausführungsformen mit jeglicher Kombination von Merkmalen, die vorstehend zu verschiedenen Aspekten und/oder Ausführungsformen genannt oder gezeigt sind.

[0072] Die Erfindung umfasst ebenfalls einzelne Merkmale in den Figuren auch wenn sie dort im Zusammenhang mit anderen Merkmalen gezeigt sind und/oder vorstehend nicht genannt sind.

[0073] Im Weiteren schließt der Ausdruck "umfassen" und Ableitungen davon andere Elemente oder Schritte nicht aus. Ebenfalls schließt der unbestimmte Artikel "ein" bzw. "eine" und Ableitungen davon eine Vielzahl nicht aus. Die Funktionen mehrerer in den Ansprüchen aufgeführter Merkmale können durch eine Einheit erfüllt sein. Die Begriffe "im Wesentlichen", "etwa", "ungefähr" und dergleichen in Verbindung mit einer Eigenschaft beziehungsweise einem Wert definieren insbesondere auch genau die Eigenschaft beziehungsweise genau den Wert. Alle Bezugszeichen in den Ansprüchen sind

nicht als den Umfang der Ansprüche einschränkend zu verstehen.

Patentansprüche

1. Richtfunkstabilisierungssystem für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, mit:

(1) einer Sendestation, die aufweist:

(1a) eine Richtfunkantenne zum Senden von Funksignalen, wobei die Richtfunkantenne an einer ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist und eine Phased-Array-Antenne ist;

(1b) eine Korrekturereinheit, geeignet zum Korrigieren der Abstrahlcharakteristik der Richtfunkantenne, wobei die Korrekturereinheit Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne aufweist;

(1c) eine Rückkanalempfangseinrichtung zum Empfangen von Rückkanalfunksignalen zur Steuerung der Korrekturereinheit;

(2) einer Empfangsstation, die aufweist:

(2a) eine Empfangseinrichtung, die an einer zweiten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist, wobei die Empfangseinrichtung geeignet ist zum orts aufgelösten Erfassen der Leistung eines empfangenen Funksignals und zum Ausgeben von Positionssignalen entsprechend der erfassten orts aufgelösten Leistung des empfangenen Funksignals; und

(2b) eine Verarbeitungseinheit, wobei die Verarbeitungseinheit konfiguriert ist, aus den Positionssignalen Korrektursignale zu generieren, die zur Steuerung der Korrekturereinheit geeignet sind;

(2c) eine Rückkanalsendeeinrichtung zum Senden von Rückkanalfunksignalen entsprechend den von der Verarbeitungseinheit generierten Korrektursignalen;

wobei die Richtfunkantenne und die Empfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Funkverbindung möglich ist; und die Rückkanalsendeeinrichtung und die Rückkanalempfangseinrichtung so ausgerichtet sind, dass eine Übertragung von Rückkanalfunksignalen möglich ist.

2. Richtfunkstabilisierungssystem nach Anspruch 1,

wobei die Verarbeitungseinheit ein digitaler Signalprozessor oder ein Mikrocontroller ist.

3. Richtfunkstabilisierungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Empfangseinrichtung eine Phased-Array-Antenne aufweist, wobei die Abmessung der Phased-Array-Antenne in vertikaler Richtung, vorzugsweise auch in horizontaler Richtung, größer ist als der Querschnitt des empfangenen Funksignals.

4. Richtfunkstabilisierungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Empfangseinrichtung drei in verschiedenen Höhen angeordnete Parabolantennen aufweist, wobei:

die drei Parabolantennen entlang einer vertikalen Geraden angeordnet sind oder entlang eines Bogens, der bezüglich der Empfangsrichtung konvex gekrümmt ist, angeordnet sind; und vorzugsweise die in mittlerer Höhe positionierte Parabolantenne einen größeren Gewinn aufweist als die darüber positionierte Parabolantenne und/oder die darunter positionierte Parabolantenne.

5. Richtfunkstabilisierungssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Empfangseinrichtung eine Parabolantenne aufweist, wobei die Parabolantenne einen Parabolspiegel und drei in vertikaler Richtung vor dem Parabolspiegel angeordnete rauscharme Signalumsetzer (LNB's) aufweist.

6. Richtfunkstabilisierungsverfahren für ein Richtfunkstabilisierungssystem für eine ortsfeste drahtlose Funkverbindung, insbesondere im Bereich von 30 GHz bis 30 THz, vorzugsweise im Bereich von 30 GHz bis 3 THz, besonders bevorzugt im Bereich von 100 GHz bis 1 THz, wobei das Richtfunkstabilisierungssystem aufweist:

eine Sendestation mit:

einer Richtfunkantenne zum Senden von Funksignalen, wobei die Richtfunkantenne an einer ersten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist und eine Phased-Array-Antenne ist;

eine Korrekturereinheit, wobei die Korrekturereinheit Phasenverschieber der Phased-Array-Antenne aufweist;

eine Rückkanalempfangseinrichtung;

eine Empfangsstation mit:

einer Empfangseinrichtung, die an einer zweiten ortsfesten Befestigungseinrichtung angebracht ist;

einer Verarbeitungseinheit;
einer Rückkanalsendeeinrichtung;

wobei die Richtfunkantenne und die Empfangs-
einrichtung so ausgerichtet sind, dass eine
Funkverbindung möglich ist; und die Rückkanal-
sendeeinrichtung und die Rückkanalempfangs-
einrichtung so ausgerichtet sind, dass eine
Übertragung von Rückkanalfunksignalen mög-
lich ist;

mit den Schritten:

(a) orts aufgelöstes Erfassen der Leistung eines
empfangenen Funksignals mit der Empfangs-
einrichtung;
(b) Ausgeben von Positionssignalen entspre-
chend der orts aufgelöst erfassten Leistung des
empfangenen Funksignals an die Verarbei-
tungseinheit;
(c) Auswerten der Positionssignale durch die
Verarbeitungseinheit, wobei das Auswerten ein
Ermitteln der Richtungsabweichung der Aus-
richtung der Richtfunkantenne von einer Soll-
richtung aufweist;
(d) Generieren von Korrektursignalen, die zur
Steuerung der Korrekturereinheit geeignet sind,
aus den Positionssignalen durch die Verarbei-
tungseinheit;
(e) Senden der Korrektursignale mittels geeig-
neter Rückkanalfunksignale durch die Rückka-
nalsendeeinrichtung an die Rückkanalemp-
fangseinrichtung;
(f) Empfangen der Korrektursignale durch die
Rückkanalempfangseinrichtung;
(g) Korrigieren der Abstrahlcharakteristik der
Richtfunkantenne entsprechend den empfan-
genen Korrektursignalen durch die Korrektur-
einheit.

7. Richtfunkstabilisierungsverfahren nach Anspruch 6,
wobei die Empfangseinrichtung eine Phased-Array-
Antenne aufweist, wobei die Abmessung der
Phased-Array-Antenne in vertikaler Richtung, vor-
zugsweise auch in horizontaler Richtung, größer ist
als der Querschnitt des empfangenen Funksignals;
und wobei:

das orts aufgelöste Erfassen der Leistung fol-
genden Schritt aufweist:
Messen der Leistung eines empfangenen Funk-
signals an jedem der Elemente der Phased-Ar-
ray-Antenne; und
das Auswerten der Positionssignale durch die
Verarbeitungseinheit folgende Schritte auf-
weist:

Bestimmung der Position der maximalen

Leistung des empfangenen Funksignals
aus den Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position
der maximalen Leistung zu einer Sollposi-
tion, wobei die Sollposition durch die Posi-
tion der maximalen Leistung eines Funk-
strahls in Sollrichtung gegeben ist.

8. Richtfunkstabilisierungsverfahren nach Anspruch 6,
wobei die Empfangseinrichtung drei in verschiede-
nen Höhen angeordnete Parabolantennen aufweist;
und wobei:

das orts aufgelöste Erfassen der Leistung fol-
genden Schritt aufweist:
Messen der Leistung eines empfangenen Funk-
signals an jeder der Parabolantennen; und
das Auswerten der Positionssignale durch die
Verarbeitungseinheit folgende Schritte auf-
weist:

Bestimmung der Position der maximalen
Leistung des empfangenen Funksignals
aus den Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position
der maximalen Leistung zu einer Sollposi-
tion, wobei die Sollposition durch die Posi-
tion der maximalen Leistung eines Funk-
strahls in Sollrichtung gegeben ist.

9. Richtfunkstabilisierungsverfahren nach Anspruch 6,
wobei die Empfangseinrichtung eine Parabolanten-
ne aufweist, wobei die Parabolantenne einen Para-
bolspiegel und drei in vertikaler Richtung vor dem
Parabolspiegel angeordnete rauscharme Signalum-
setzer (LNB's) aufweist; und wobei:

das orts aufgelöste Erfassen der Leistung fol-
genden Schritt aufweist:

Messen der Leistung eines empfangenen Funk-
signals an jedem der rauscharmen Signalum-
setzer; und

das Auswerten der Positionssignale durch die
Verarbeitungseinheit folgende Schritte auf-
weist:

Bestimmung der Position der maximalen Lei-
stung des empfangenen Funksignals aus den
Positionssignalen;

Bestimmung der Abweichung der Position der
maximalen Leistung zu einer Sollposition, wobei
die Sollposition durch die Position der maxima-
len Leistung eines Funkstrahls in Sollrichtung
gegeben ist.

10. Richtfunkstabilisierungsverfahren nach einem der
Ansprüche 6 bis 9, wobei:
das Generieren der Korrektursignale folgende
Schritte aufweist:

lineares Verstärken der Richtungsabweichung;
und
Ermitteln von Winkeldifferenzen für Phasenver-
schiebungen für die Phasenverschieber der
Phased-Array-Antenne.

Claims

1. A directional radio stabilisation system for a station-
ary wireless radio connection, in particular in the
range of 30 GHz to 30 THz, preferably in the range
of 30 GHz to 3 THz, particularly preferably in the
range of 100 GHz to 1 THz, comprising:

(1) a transmitting station comprising:

- (1a) a directional radio antenna for trans-
mitting radio signals, wherein the directional
radio antenna is attached to a first stationary
fixing means and is a phased array antenna;
- (1b) a correcting unit suitable for correcting
the radiation characteristics of the direction-
al radio antenna, wherein the correcting unit
comprises phase shifters of the phased ar-
ray antenna;
- (1c) a reverse channel receiving means for
receiving reverse channel radio signals for
controlling the correcting unit;

(2) a receiving station comprising:

- (2a) a receiving means which is attached to
a second stationary fixing means, wherein
the receiving means is suitable for detecting
the power of a received radio signal in a
space-resolved manner and for outputting
position signals corresponding to the de-
tected space-resolved power of the re-
ceived radio signal; and
- (2b) a processing unit, wherein the process-
ing unit is configured to generate, from the
position signals, correction signals suitable
for controlling the correcting unit;
- (2c) a reverse channel transmitting means
for transmitting reverse channel radio sig-
nals corresponding to the correction signals
generated by the processing unit;

wherein the directional radio antenna and the
receiving means are aligned such that a radio
connection is possible; and
the reverse channel transmitting means and the
reverse channel receiving means are aligned
such that a transmission of return channel radio
signals is possible.

2. The directional radio stabilisation system according

to claim 1, wherein the processing unit is a digital
signal processor or a microcontroller.

3. The directional radio stabilisation system according
to claim 1 or 2, wherein the receiving means com-
prises a phased array antenna, wherein the dimen-
sions of the phased array antenna in the vertical di-
rection, preferably also in the horizontal direction, is
larger than the cross-section of the received radio
signal.

4. The directional radio stabilisation system according
to claim 1 or 2, wherein the receiving means com-
prises three parabolic antennae arranged in different
heights, wherein:

the three parabolic antennae are arranged along
a vertical straight line or along a curve which is
convexly bent relative to the receiving direction;
and
preferably the parabolic antenna positioned in
the middle height has a larger gain than the par-
abolic antenna position above and/or the para-
bolic antenna positioned below.

5. The directional radio stabilisation system according
to claim 1 or 2, wherein the receiving means com-
prises a parabolic antenna, wherein the parabolic
antenna comprises a parabolic mirror and three low-
noise signal converters (LNBs) arranged in the ver-
tical direction before the parabolic mirror.

6. A directional radio stabilisation method for a direc-
tional radio stabilisation system for a stationary wire-
less radio connection, in particular in the range of 30
GHz to 30 THz, preferably in the range of 30 GHz to
3 THz, particularly preferably in the range of 100 GHz
to 1 THz,
wherein the directional radio stabilisation system
comprises:

a transmitting station comprising:

- a directional radio antenna for transmitting
radio signals, wherein the directional radio
antenna is attached to a first stationary fix-
ing means and is a phased array antenna;
- a correcting unit, wherein the correcting unit
comprises phase shifters of the phased ar-
ray antenna;
- a reverse channel receiving means;

a receiving station comprising:

- a receiving means which is attached to a
second stationary fixing means,
- a processing unit,
- a reverse channel transmitting means;

wherein the directional radio antenna and the receiving means are aligned such that a radio connection is possible; and the reverse channel transmitting means and the reverse channel receiving means are aligned such that a transmission of return channel radio signals is possible;
comprising the steps of:

- (a) detecting the power of a received radio signal in a space-resolved manner by means of the receiving unit;
- (b) outputting position signals corresponding to the power of the received radio signal detected in a space-resolved manner to the processing means;
- (c) evaluating the position signals by the processing unit, wherein the evaluation comprises detecting the direction deviation of the alignment of the directional radio antenna from a desired direction;
- (d) generating correction signals suitable for controlling the correcting unit from the position signals by the processing unit;
- (e) transmitting the correction signals by means of suitable reverse channel radio signals by the reverse channel transmitting means to the reverse channel receiving means;
- (f) receiving the correction signals by the reverse channel receiving means;
- (g) correcting the radiation characteristics of the directional radio antenna corresponding to the received correction signals by the correcting unit.

7. The directional radio stabilisation method according to claim 6, wherein the receiving means comprises a phased array antenna, wherein the dimensions of the phased array antenna in the vertical direction, preferably also in the horizontal direction, is larger than the cross-section of the received radio signal; and wherein the space-resolved detection of the power comprises the following step:
measuring the power of the received radio signal at each of the elements of the phased array antenna; and
the evaluation of the position signals by the processing means comprises the following steps:

- determining the position of the maximum power of the received radio signal from the position signals;
- determining the deviation of the position of the maximum power relative to a desired position, wherein the desired position is given by the position of the maximum power of a radio beam in the desired direction.

8. The directional radio stabilisation method according to claim 6, wherein the receiving means comprises three parabolic antennae arranged in different heights; and wherein the space-resolved detection of the power comprises the following step:
measuring the power of a received radio signal at each of the parabolic antennae; and
the evaluation of the position signals by the processing means comprises the following steps:

- determining the position of the maximum power of the received radio signal from the position signals;
- determining the deviation of the position of the maximum power relative to a desired position, wherein the desired position is given by the position of the maximum power of a radio beam in the desired direction.

9. The directional radio stabilisation method according to claim 6, wherein the receiving means comprises a parabolic antenna, wherein the parabolic antenna comprises a parabolic mirror and three low-noise signal converters (LNBs) arranged in the vertical direction before the parabolic mirror; and wherein the space-resolved detection of the power comprises the following step:
measuring the power of a received radio signal at each of the low-noise signal converters; and
the evaluation of the position signals by the processing means comprises the following steps:

- determining the position of the maximum power of the received radio signal from the position signals;
- determining the deviation of the position of the maximum power relative to a desired position, wherein the desired position is given by the position of the maximum power of a radio beam in the desired direction.

10. The directional radio stabilisation method according to any one of claims 6 to 9, wherein:
the generation of the correction signals comprises the following steps:

- linear amplification of the direction deviation;
- and
- detecting angular differences for phase shifts for the phase shifters of the phased array antenna.

Revendications

1. Système de stabilisation de faisceau hertzien pour une liaison radio fixe sans fil, en particulier dans la plage entre 30 GHz et 30 THz, avantageusement

dans la plage entre 30 GHz et 3 THz, préférentiellement dans la plage entre 100 GHz et 1 THz, avec :

(1) une station émettrice, qui comporte :

- (1a) une antenne à faisceaux hertziens pour l'émission de signaux radio, ladite antenne à faisceaux hertziens étant montée sur un dispositif de fixation fixe et étant une antenne réseau à commande de phase ;
- (1b) une unité correctrice, apte à corriger le diagramme de rayonnement de l'antenne à faisceaux hertziens, ladite unité correctrice comportant un déphaseur de l'antenne réseau à commande de phase ;
- (1c) un dispositif de réception de canal de retour pour la réception de signaux radio de canal de retour pour la commande de l'unité correctrice ;

(2) une station réceptrice, qui comporte :

- (2a) un dispositif de réception, monté sur un deuxième dispositif de fixation fixe, ledit dispositif de réception étant apte à détecter localement la puissance d'un signal radio reçu et à émettre des signaux de position en fonction de la puissance localement détectée du signal radio reçu ; et
- (2b) une unité de traitement, ladite unité de traitement étant prévue pour générer des signaux de correction aptes à commander l'unité correctrice à partir des signaux de position ;
- (2c) un dispositif émetteur de canal de retour pour l'émission de signaux radio de canal de retour en fonction des signaux de correction générés par l'unité de traitement ;

où l'antenne à faisceaux hertziens et le dispositif de réception sont orientés de manière à permettre une liaison radio ; et

le dispositif émetteur de canal de retour et le dispositif de réception de canal de retour sont orientés de manière à permettre une transmission de signaux radio de canal de retour.

2. Système de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 1, où l'unité de traitement est un processeur de signal numérique ou un microcontrôleur.

3. Système de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 1 ou la revendication 2, où le dispositif de réception comprend une antenne réseau à commande de phase, les dimensions de l'antenne réseau à commande de phase en direction verticale, avantageusement également en direction horizon-

tales, étant supérieures à la section du signal radio reçu.

4. Système de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 1 ou la revendication 2, où le dispositif de réception comprend trois antennes paraboliques disposées à des hauteurs différentes, où :

les trois antennes paraboliques sont disposées le long d'une droite verticale ou le long d'un arc à courbure convexe par rapport à la direction de réception ; et l'antenne parabolique positionnée à mi-hauteur présentant avantageusement un gain supérieur à celui de l'antenne parabolique qui lui est supérieure et/ou à celui de l'antenne parabolique qui lui est inférieure.

5. Système de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 1 ou la revendication 2, où le dispositif de réception comprend une antenne parabolique, ladite antenne parabolique présentant un miroir parabolique et trois convertisseurs de signaux à faible bruit (LNB) disposés devant le miroir parabolique en direction verticale.

6. Procédé de stabilisation de faisceau hertzien pour un système de stabilisation de faisceau hertzien pour une liaison radio fixe sans fil, en particulier dans la plage entre 30 GHz et 30 THz, avantageusement dans la plage entre 30 GHz et 3 THz, préférentiellement dans la plage entre 100 GHz et 1 THz, où le système de stabilisation de faisceau hertzien comprend :

une station émettrice, avec :

une antenne à faisceaux hertziens pour l'émission de signaux radio, ladite antenne à faisceaux hertziens étant montée sur un dispositif de fixation fixe et étant une antenne réseau à commande de phase ; une unité correctrice, ladite unité correctrice comportant un déphaseur de l'antenne réseau à commande de phase ; un dispositif de réception de canal de retour ; une station réceptrice mit :

un dispositif de réception, monté sur un deuxième dispositif de fixation fixe ; une unité de traitement ; un dispositif émetteur de canal de retour ; où l'antenne à faisceaux hertziens et le dispositif de réception sont orientés de manière à permettre une liaison radio ; et le dispositif émetteur de canal de retour et le dispositif de réception de canal de retour sont orientés de manière à permettre une transmission de signaux radio de canal de

retour ;
ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- (a) détection locale de la puissance d'un signal radio reçu par le dispositif de réception ; 5
- (b) sortie vers l'unité de traitement de signaux de position en fonction de la puissance localement détectée du signal radio reçu ; 10
- (c) analyse des signaux de position par l'unité de traitement, ladite analyse comprenant une détermination de l'écart directionnel d'orientation de l'antenne à faisceaux hertziens par rapport à direction de consigne ; 15
- (d) génération par l'unité de traitement de signaux de correction aptes à commander l'unité correctrice à partir des signaux de position ; 20
- (e) émission des signaux de correction au moyen de signaux radio de canal de retour appropriés, par le dispositif émetteur de canal de retour vers le dispositif de réception de canal de retour ; 25
- (f) réception des signaux de correction par le dispositif de réception de canal de retour ;
- (g) correction du diagramme de rayonnement de l'antenne à faisceaux hertziens en fonction des signaux de correction reçus par l'unité correctrice. 30

7. Procédé de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 6, où le dispositif de réception comprend une antenne réseau à commande de phase, les dimensions de l'antenne réseau à commande de phase en direction verticale, avantageusement également en direction horizontale, étant supérieures à la section du signal radio reçu ; et où : la détection locale de puissance comprend l'étape suivante : 35

mesure de la puissance d'un signal radio reçu sur chacun des éléments de l'antenne réseau à commande de phase ; et où 45
l'analyse des signaux de position par l'unité de traitement comprend les étapes suivantes :

- détermination de position de la puissance maximale du signal radio reçu à partir des signaux de position ; 50
- détermination de l'écart de position de la puissance maximale par rapport à une position de consigne, ladite position de consigne étant donnée par la position de la puissance maximale d'un faisceau radio dans la direction de consigne. 55

8. Procédé de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 6, où le dispositif de réception comprend trois antennes paraboliques disposées à des hauteurs différentes ; et où :
la détection locale de puissance comprend l'étape suivante :

mesure de la puissance d'un signal radio reçu sur chacune des antennes paraboliques ; et où l'analyse des signaux de position par l'unité de traitement comprend les étapes suivantes :

- détermination de position de la puissance maximale du signal radio reçu à partir des signaux de position ;
- détermination de l'écart de position de la puissance maximale par rapport à une position de consigne, ladite position de consigne étant donnée par la position de la puissance maximale d'un faisceau radio dans la direction de consigne.

9. Procédé de stabilisation de faisceau hertzien selon la revendication 6, où le dispositif de réception comprend une antenne parabolique, où l'antenne parabolique présente un miroir parabolique et trois convertisseurs de signaux à faible bruit (LNB) disposés devant le miroir parabolique en direction verticale ; et où :
la détection locale de puissance comprend l'étape suivante :

mesure de la puissance d'un signal radio reçu sur chacun des convertisseurs de signaux à faible bruit ; et où
l'analyse des signaux de position par l'unité de traitement comprend les étapes suivantes :

- détermination de position de la puissance maximale du signal radio reçu à partir des signaux de position ;
- détermination de l'écart de position de la puissance maximale par rapport à une position de consigne, ladite position de consigne étant donnée par la position de la puissance maximale d'un faisceau radio dans la direction de consigne.

10. Procédé de stabilisation de faisceau hertzien selon l'une des revendications 6 à 9, où :
la génération des signaux de correction comprend les étapes suivantes :

amplification linéaire de l'écart directionnel ; et détermination des différences angulaires pour des déphasages pour le déphaseur de l'antenne réseau à commande de phase.

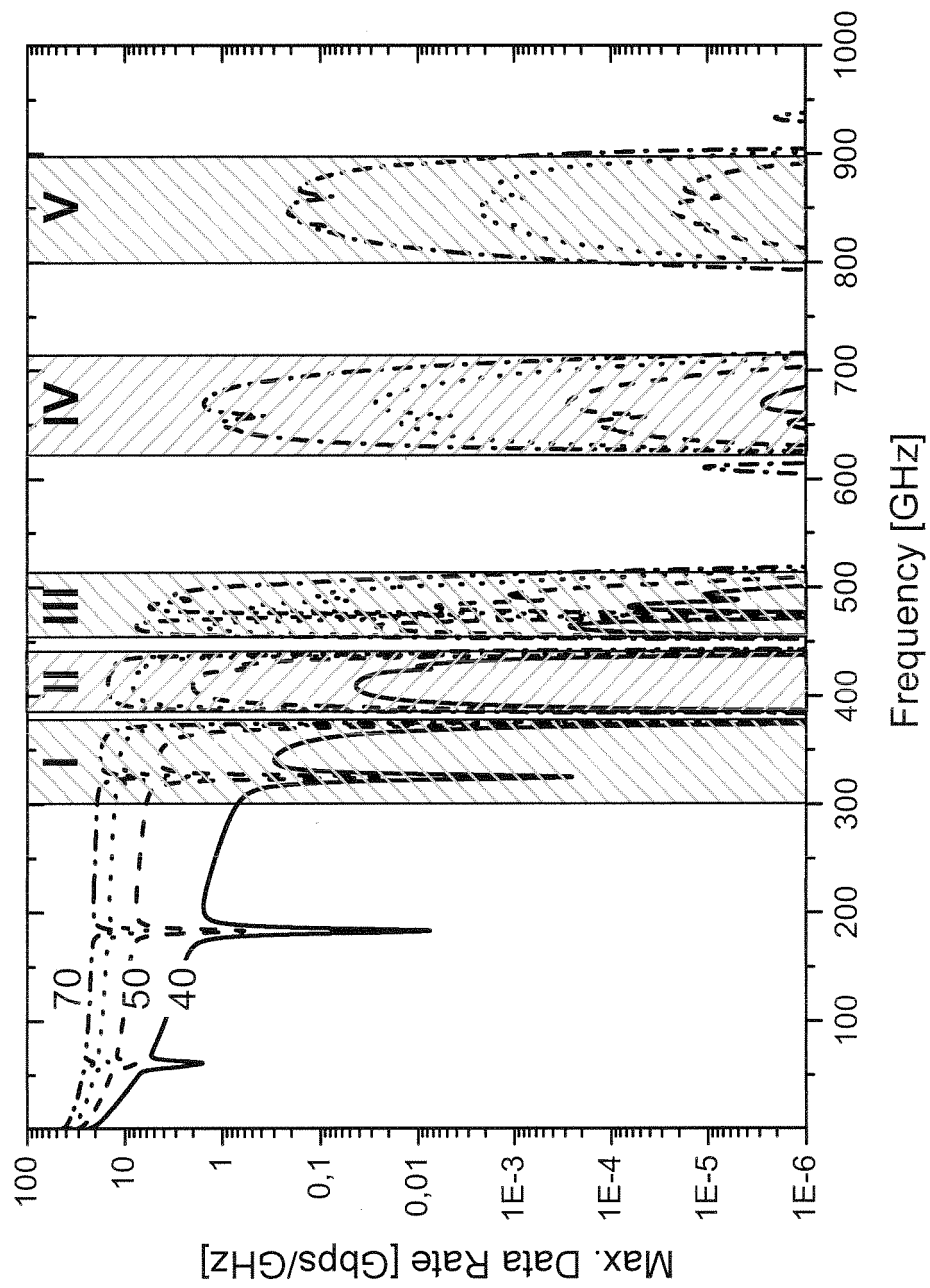


Fig. 1

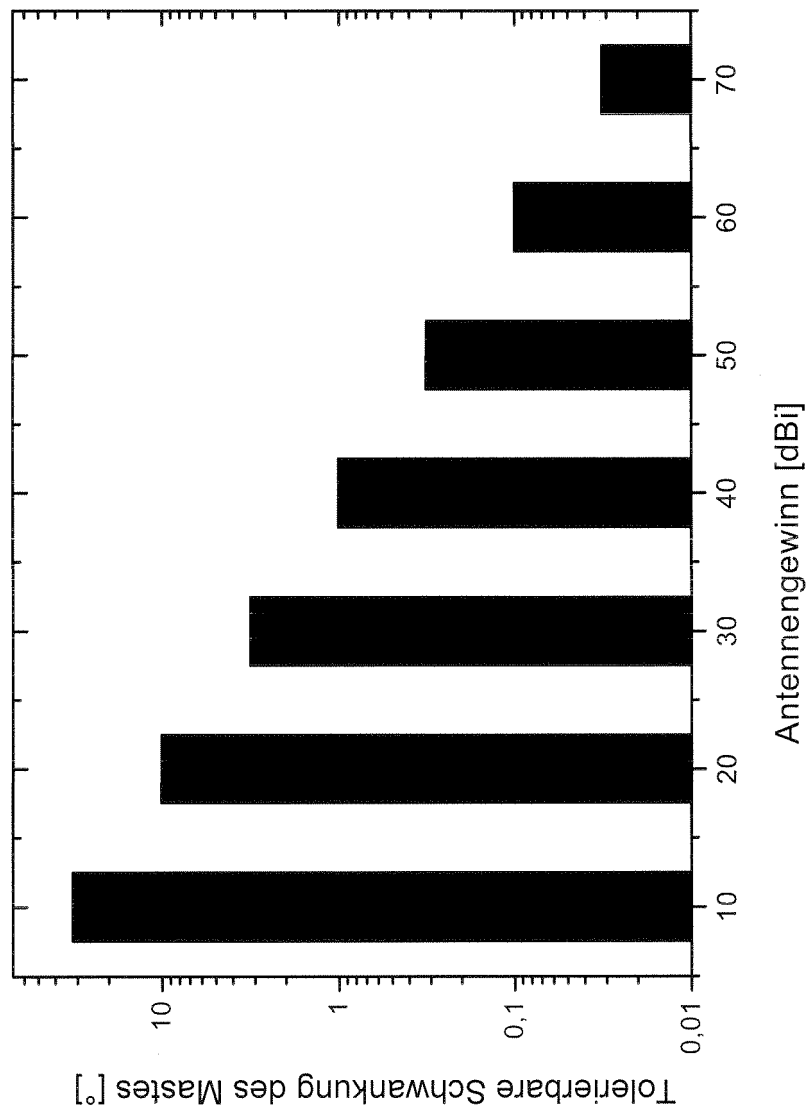
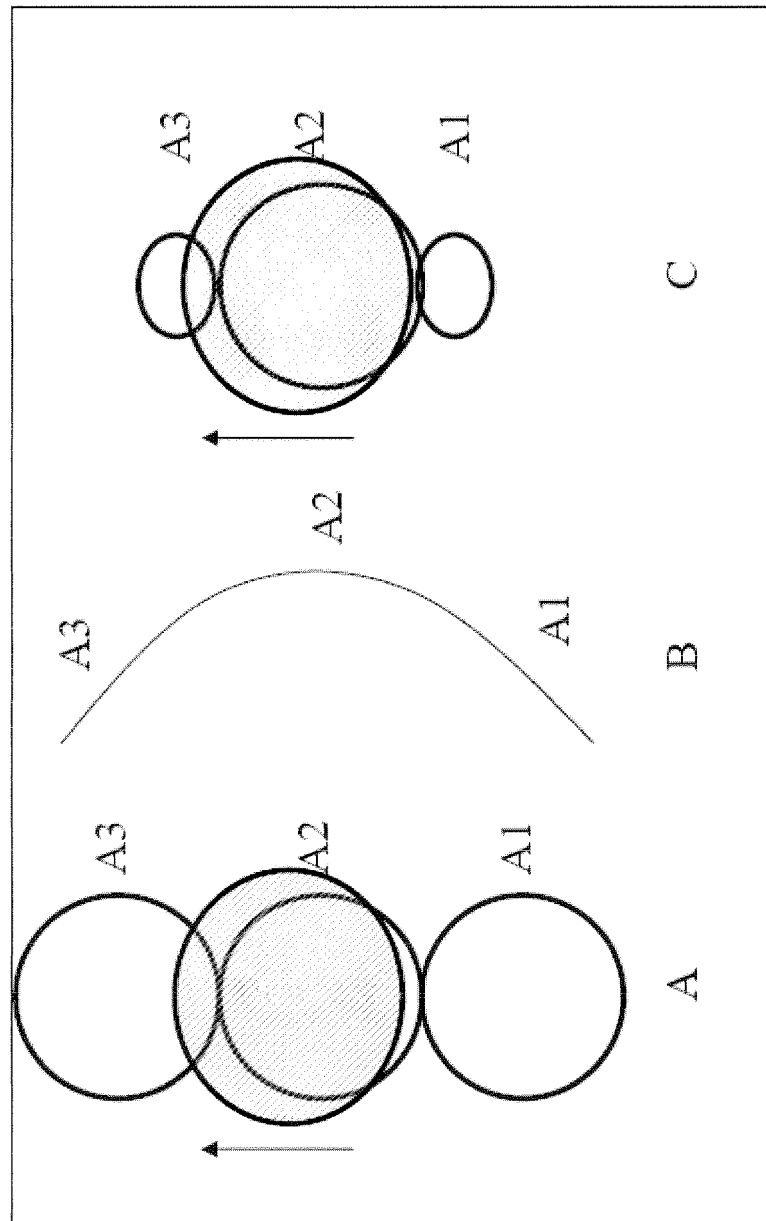


Fig. 2

Fig. 3



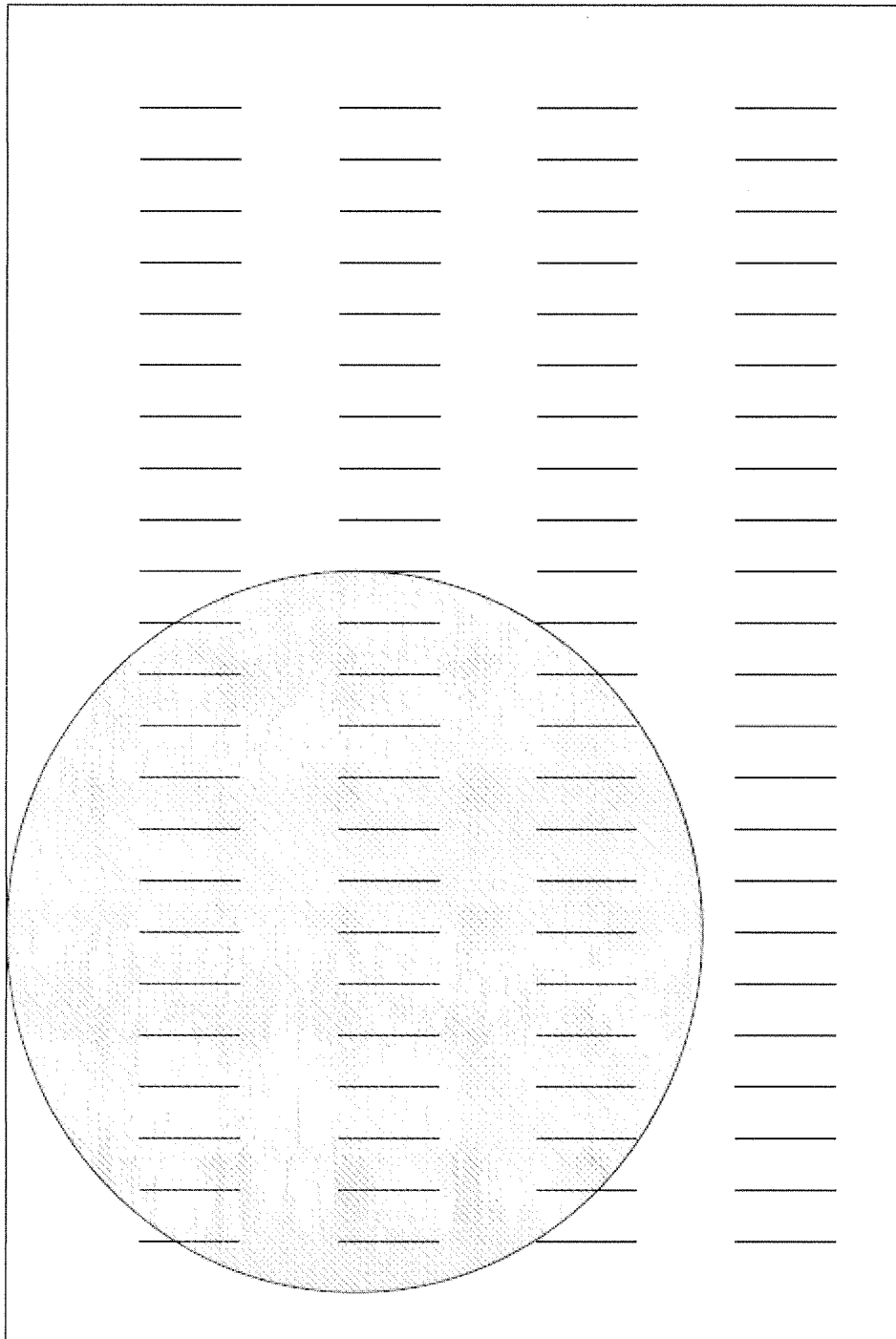


Fig. 4

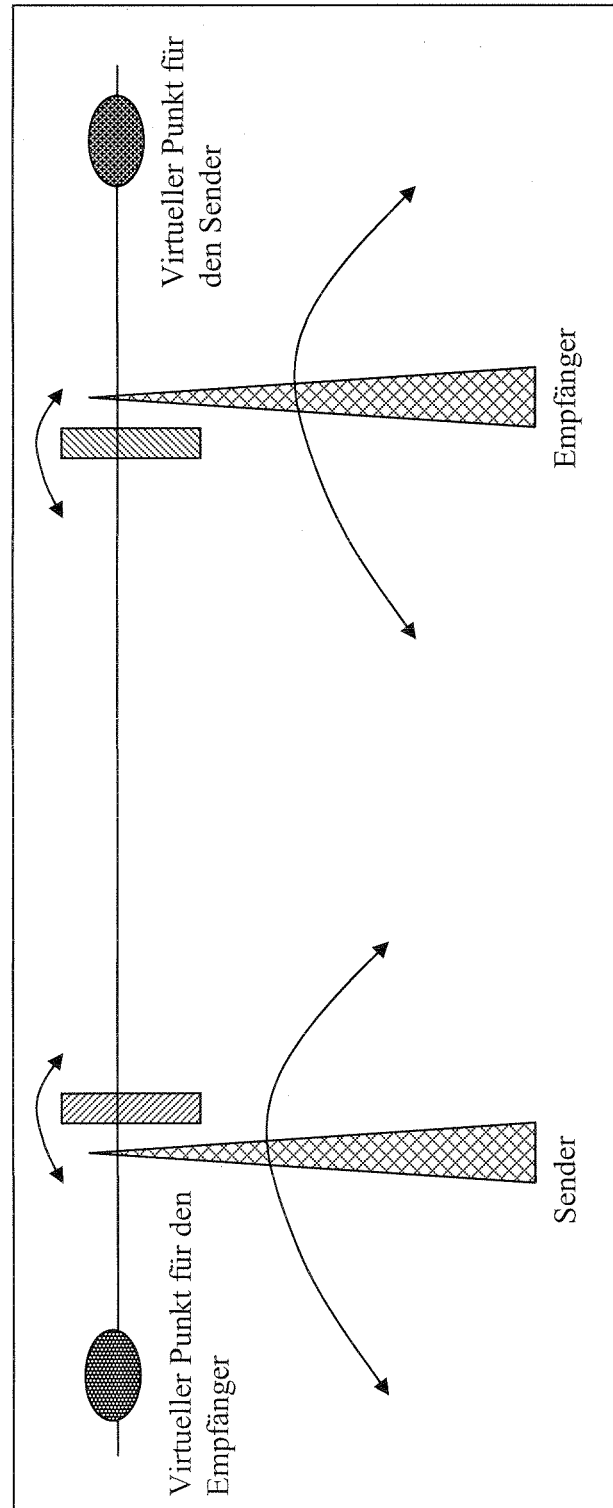


Fig. 5

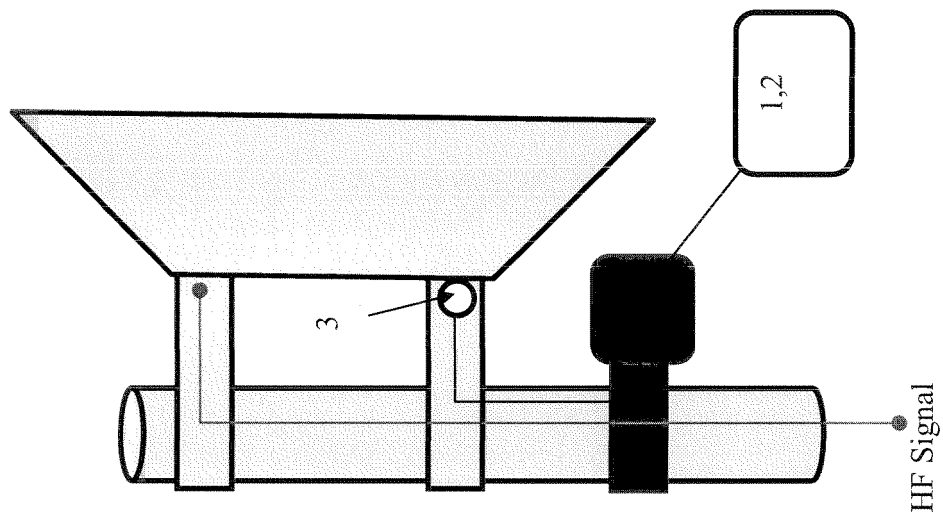


Fig. 6

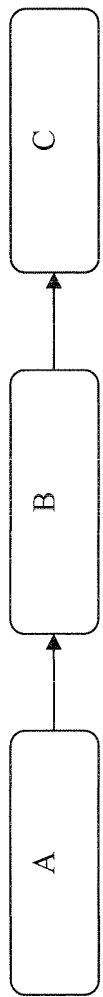


Fig. 7

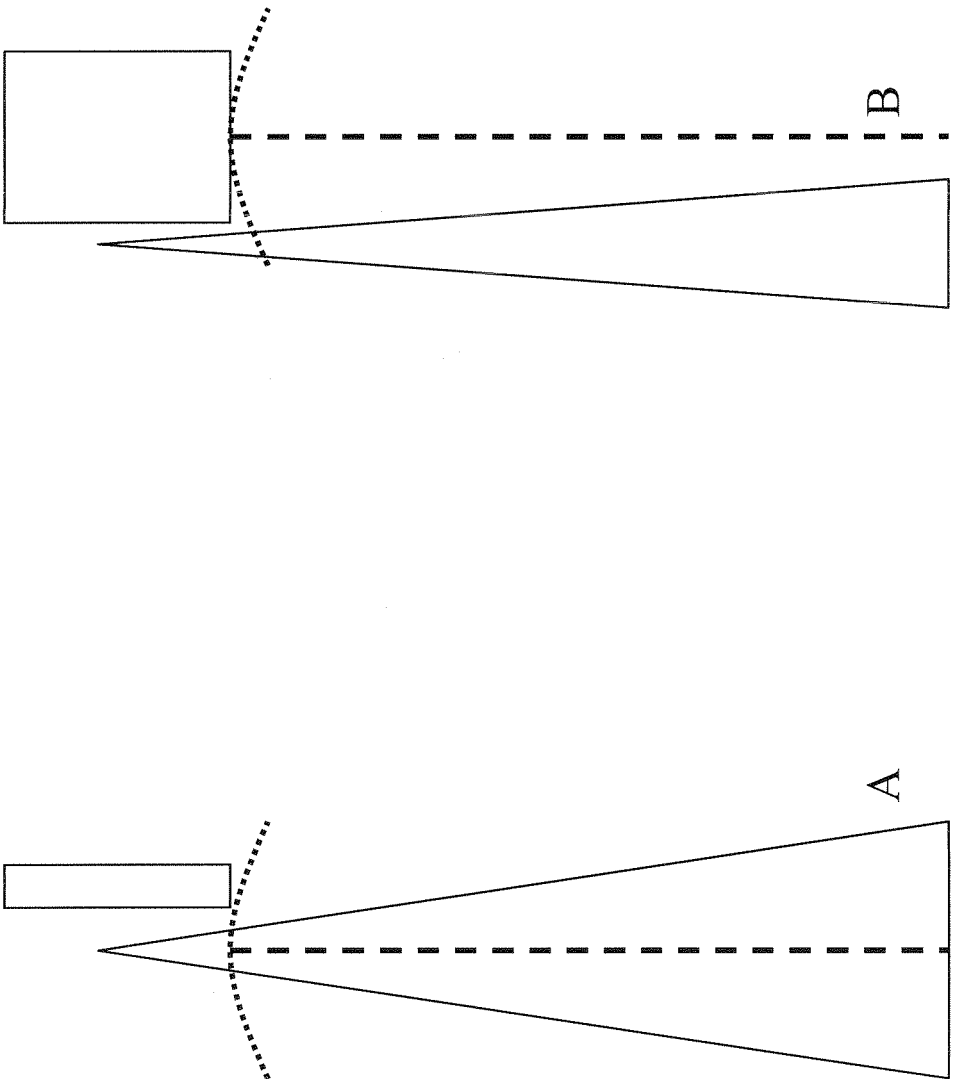


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 1498041 A [0002]
- DE 102008008387 A1 [0002]
- US 20090033576 A1 [0002]
- US 4696053 A [0002]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Phased Array Antennas (Wiley Series. **ROBERT C. HANSEN**. Microwave and Optical Engineering. John Wiley & Sons, 12. Januar 2010 [0056])