



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 106 958.1**
(22) Anmeldetag: **31.07.2012**
(43) Offenlegungstag: **13.08.2015**

(51) Int Cl.: **H04B 7/26 (2006.01)**
H01Q 3/02 (2006.01)
H01Q 3/26 (2006.01)
H01Q 1/32 (2006.01)

(71) Anmelder:
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

(74) Vertreter:
**Braun-Dullaeus Pannen Patent- und
Rechtsanwälte, 40476 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:
**Preußler, Stefan, Dipl.-Ing., 01612 Nünchritz,
DE; Schneider, Thomas, Prof. Dr. rer. nat., 14552
Michendorf, DE; Wiatrek, Andrzej, Dipl.-Ing.,
04613 Lucka, DE; Braun, Ralf-Peter, Dr., 12305
Berlin, DE; Grigat, Michael, Dipl.-Ing., 64372 Ober-
Ramstadt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

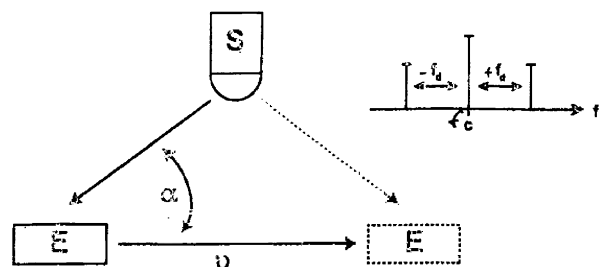
US	2010 / 0 317 293	A1
WO	99/ 16 276	A2
JP	2003- 309 517	A
JP	2006- 345 427	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kompensation des Dopplereffektes bei der Datenübertragung im Millimeter- und Terahertzbereich**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Kompensation von Übertragungsstörungen, die bei einer Datenübertragung über eine Funkstrecke zwischen einem Sender und einem relativ zum Sender bewegten Empfänger durch eine durch den Dopplereffekt erzeugte Frequenzverschiebung hervorgerufen werden, wobei zur Datenübertragung eine Trägerfrequenz im Bereich zwischen 30 GHz und 30 THz genutzt wird, wobei dem Sender die Relativbewegung des Empfängers kennzeichnende Bewegungsdaten zur Verfügung gestellt werden, wobei anhand der Bewegungsdaten die für die Zeit der Datenübertragung zu erwartende Frequenzverschiebung ermittelt wird und wobei die Trägerfrequenz seitens des Senders um die zu erwartende Frequenzverschiebung korrigiert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Übertragungsstörungen, die bei einer Datenübertragung über eine Funkstrecke zwischen einem Sender und einem relativ zum Sender bewegten Empfänger durch eine durch den Dopplereffekt erzeugte Frequenzverschiebung hervorgerufen werden, wobei zur Datenübertragung insbesondere eine Trägerfrequenz im Bereich zwischen 30 GHz und 30 THz genutzt wird.

[0002] Bekanntermaßen wird die Qualität der Übertragung auf Funkstrecken durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Beispielsweise werden die Signale auf Richtfunkstrecken mit konstanter Entfernung durch die Atmosphäre gedämpft oder gestreut. Auf Funkstrecken, bei denen sich Sender und Empfänger schnell gegeneinander bewegen, kommt das physikalische Phänomen des Dopplereffektes hinzu. Dabei führt der Dopplereffekt zu einer Frequenzänderung, die als Dopplerverschiebung oder Dopplerspreizung bezeichnet wird und die eine zeitliche Änderung des Signals hervorruft. Die Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt ist abhängig von der Richtung der Bewegung und der relativen Geschwindigkeit zwischen Empfänger und Sender.

[0003] Bekanntermaßen wirkt sich der Dopplereffekt so aus, dass die Frequenz ansteigt, wenn sich Sender und Empfänger aufeinander zu bewegen. Im umgekehrten Fall nimmt die Frequenz ab. Der Dopplereffekt führt dabei zu einer Frequenzmodulation, durch die das gesendete Spektrum gespreizt wird und sich die einzelnen frequenzverschobenen Anteile am Empfänger überlagern. Dies kann zu Signaleintrüben und Verzerrungen führen, die von der Dopplerverschiebung im Kanal abhängen.

[0004] Dabei geht der IEEE-Standard 802.16 für den Frequenzbereich zwischen 10 GHz und 63 GHz von folgenden Schätzwerten aus: Bis zu einer relativen Geschwindigkeit von 100 km/h ist der Einfluss des Dopplereffektes vernachlässigbar; bis zu einer Geschwindigkeit von 200 km/h ist mit einer tolerierbaren Reduzierung der Signalqualität zu rechnen; hingegen gewinnt der Dopplereffekt oberhalb einer Geschwindigkeit von 200 km/h zunehmend an Bedeutung und verringert die Signalqualität signifikant. Bei Geschwindigkeiten von über 400 km/h, die künftige Hochgeschwindigkeitszüge erreichen werden, ist eine Kompensation des Dopplereffektes zwingend erforderlich. Da die Dopplerverschiebung jedoch proportional zur Frequenz ist, hat sie bei Systemen im Frequenzbereich der Millimeterwellen zwischen 30 GHz und 300 GHz und im THz-Frequenzbereich (300 GHz–30 THz) einen erheblichen Einfluss, so dass in diesen Frequenzbereichen schon bei relativen Geschwindigkeiten von weniger als 100 km/h kompensiert werden muss.

[0005] Zum Ausgleich des Dopplereffektes in drahtlosen Kommunikationssystemen gibt es verschiedene Ansätze. So ist aus der DE 42 22 236 A1 eine Empfangsvorrichtung für eine durch den Dopplereffekt gestörte Funkübertragung bekannt. Diese Empfangsvorrichtung umfasst eine Antenne, einen Empfangsteil mit Mischerstufe und eine Schaltung zur Ermittlung der Änderung der Signallaufzeit des Mobilfunksignals, aus welcher der Eintrittszeitpunkt und der Betrag des Dopplersprungs berechnet werden kann, um durch Änderung der Mischfrequenz die Frequenzverschiebung zu kompensieren.

[0006] Aus der EP 1 460 780 B1 ist ein Antennenarray am mobilen Empfänger zur Kompensation des Dopplereffektes bekannt, bei dem jede einzelne Antenne mit einem Schalter verbunden ist. Ein Computer steuert diese Schalter in Relation zu der Richtung und der Geschwindigkeit, mit der sich das Fahrzeug relativ zur Ausbreitungsrichtung des empfangenen Signals bewegt, wobei diese Informationen aus der bekannten Position des Senders und der mittels GPS ermittelten aktuellen Fahrzeugposition berechnet wird. Auf diese Weise kann die Auswirkung des Dopplereffektes kompensiert werden.

[0007] Außerdem kann das empfangene Signal durch Filter, analoge Schaltungen oder digitale Signalprozessierung bearbeitet werden. Dabei wird zunächst die Signalqualität analysiert und anschließend ein entsprechender Korrekturfaktor berechnet. Alternativ können Interpolatoren, Equalizer oder Kombinationen aus verschiedenen Algorithmen insbesondere der schnellen Fourier Transformation („FFT“) verwendet werden.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, ein Verfahren zur Kompensation von Übertragungsstörungen, die durch den Dopplereffekt hervorgerufen werden, vorzuschlagen, das sich einfach und kostengünstig umsetzen lässt und das bei großer Toleranz bezüglich der tatsächlichen Gegebenheiten zu einer effektiven Kompensation führt.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruch 1 gelöst.

[0010] Der wesentliche Gedanke der erfindungsgemäßen Vorgehensweise liegt darin, dass dem Sender Daten bezüglich der Relativbewegung zur Verfügung stehen und er die aus diesen Daten ableitbare Dopplerverschiebung der Trägerfrequenz nutzt, um die Trägerfrequenz entsprechend zu kompensieren. Anspruchsgemäß werden dem Sender Bewegungsdaten zur Verfügung gestellt, die für die Relativbewegung des Empfängers kennzeichnend sind. Anhand dieser Bewegungsdaten wird die für die Zeit der Datenübertragung zu erwartende und durch den Dopplereffekt verursachte Frequenzverschiebung ermittelt und seitens des Senders zum Zwecke der

Kompensation auf die Trägerfrequenz addiert. Im Gegensatz zu den bekannten Verfahren wird somit erfindungsgemäß eine „Vorverzerrung“ des gesendeten Signals vorgeschlagen, die der Dopplerverschiebung entspricht, die das Signal beim Eintreffen am Empfänger hätte. Auf diese Weise empfängt der Empfänger immer dieselbe Trägerfrequenz. Die Komplexität der Vorverzerrung liegt dabei allein im Sender, so dass der Empfänger relativ einfach aufgebaut werden kann.

[0011] Durch die Erfindung wird der Dopplereffekt durch eine Anpassung der Sendefrequenz kompensiert, was insbesondere die Übertragungsqualität für Funkstrecken mit stationärem Sender und beweglichem Empfänger wesentlich steigert. Die erfindungsgemäße Kompensation reduziert die Pegelabfälle, verhindert das Spreizen des Spektrums und verringert die Verzerrungen auf der Übertragungsstrecke. Dies führt zu einer stabilen und kontinuierlichen Datenübertragung bei hohen Datenraten gerade im Falle der Kommunikation im Millimeter- und THz Bereich.

[0012] Bei Einsatz der erfindungsgemäßen Vorgehensweise können zukünftige hochbitratige Funkssysteme in diesem Frequenzbereich zwischen 30 GHz und 30 THz für schnell bewegliche Mobilstationen, wie sie in Autos oder Zügen anzutreffen sind, in hohem Maße kompensiert werden. Dabei wird die Übertragungsqualität erhöht, das Rauschen minimiert und eine stabile, kontinuierliche Datenübertragung bei hohen Datenraten ermöglicht. Dabei ist das Verfahren nicht unbedingt auf den angegebenen Frequenzbereich begrenzt, sondern kann prinzipiell auch in anderen Frequenzbändern angewendet werden.

[0013] Ganz generell kann das Verfahren für jegliche gegeneinander bewegte Sender und Empfänger eingesetzt werden. Ein besonders vorteilhaftes Einsatzgebiet ist jedoch die Kommunikation zwischen einer fest installierten Bake (Sender) und einem mobilen Teilnehmer, insbesondere eines Fahrzeuges (Empfänger), für die kurzzeitige Übertragung großer Datenmengen mit hohen Datenraten.

[0014] Ein erfindungswesentlicher Schritt ist, dass dem Sender Bewegungsdaten zur Verfügung stehen oder gestellt werden, welche die Relativbewegung des Empfängers gegenüber dem Sender kennzeichnen. Im einfachsten Fall kann einer Funkbake, die an einer Bahnstrecke steht, die Information zur Verfügung stehen, dass der Hochgeschwindigkeitszug, der auf dieser Strecke durch das Sendegebiet fährt, im Normalfall immer eine vorgegebene Geschwindigkeit hat. Da Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit feststehen, lässt sich die Korrektur für den zu erwartenden Dopplereffekt leicht berechnen.

[0015] In anderen Situationen, beispielsweise auf breiten Autobahnen, wo Fahrzeuge mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fahren und die Bake oder Basisstation entfernt von der Fahrbahn steht, sind die Verhältnisse nicht so definiert. Dann ist es von Vorteil, dem Sender die Koordinaten des aktuellen Standorts des Empfängers, mithin seine Ortskoordinaten, aktuell zur Verfügung zu stellen. Das kann dadurch geschehen, dass die Ortskoordinaten des bewegten Fahrzeugs mit einem insbesondere satellitengestützten Navigationssystem, wie GPS, ermittelt und dem Sender während des Anmeldevorgangs per Funk übersandt werden. Dabei gibt es die Möglichkeit, dass die Ortskoordinaten in einer zeitlichen Abfolge übermittelt werden und der Sender sich die Trajektorie der Bewegung und insbesondere den Geschwindigkeitsvektor selber berechnen kann. Andererseits ist es auch möglich, seitens des Navigationssystems die aktuelle Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung zu bestimmen und zu übermitteln, so dass der Sender die Daten nur noch in seine Formel einsetzen muss.

[0016] Auf der Grundlage des Geschwindigkeitsvektors kann der Sender eine Frequenzkorrektur errechnen, die für die gesamte für die Übertragung voraussichtlich benötigte Übertragungsdauer gilt. Wenn sich allerdings während der Übertragung die Verhältnisse drastisch ändern, reicht diese Art der „statischen“ Korrektur nicht aus und wird vorteilhafterweise durch eine „dynamische“ Korrektur ersetzt, die sich den aktuellen Verhältnissen anpasst. Eine solche kann dadurch realisiert werden, dass während der Übertragung ständig Ortskoordinaten an den Sender gesandt werden, damit dieser die aktuell zu erwartende Dopplerverzerrung in seiner Trägerfrequenz vorsehen kann. Auf diese Weise kann die sich über die Zeit der Datenübertragung zeitliche verändernde Frequenzverschiebung berücksichtigt werden.

[0017] In einer anderen Ausführungsform kann die aktuelle Dopplerverzerrung dadurch ermittelt werden, dass der Empfänger die Trägerfrequenz der sendenden Mobilstation misst und mit einer Sollfrequenz vergleicht. Entsprechend kann er eine Korrektur bei der Einstellung seiner Trägerfrequenz vornehmen.

[0018] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Antenne des Senders mit der Bewegung des Empfängers mitgeführt. Das funktioniert am besten, wenn der Sender eine ortsfeste Basisstation mit einer Sendeantenne und der Empfänger eine entlang einer insbesondere definierten Bewegungsspur bewegte Mobilstation ist. Wenn dann die Sendeantenne auch noch als Richtantenne ausgebildet ist, lässt sich diese mit der Bewegung mitführen, zumindest solange sich die Geschwindigkeit der Bewegung in gewissen Grenzen hält.

[0019] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die effektive Kompensation des Dopplereffektes auch bei hochbitratigen Übertragungen im Bereich der Terahertz-Kommunikation möglich, bei dem eine „Vorverzerrung“ der Sendefrequenz vorgenommen wird, die idealerweise noch durch die adaptiven Ausrichtung der Sendeantenne unterstützt wird.

[0020] Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand der **Fig. 1** bis **Fig. 3** näher beschrieben. Dabei zeigen

[0021] **Fig. 1** eine schematische Darstellung von Sender und bewegtem Empfänger,

[0022] **Fig. 2** eine schematische Darstellung der „Vorverzerrung“ und

[0023] **Fig. 3** eine adaptive Positionierung der Antenne am Sender,

[0024] Die Dopplerverschiebung entsteht durch die Bewegung eines mobilen Teilnehmers E relativ zu einem Sender S (**Fig. 1**). Der Empfänger E bewegt sich mit der Geschwindigkeit v am Sender S vorbei. Abhängig vom Winkel α führt dies zu einer Frequenzverschiebung f_d durch den Dopplereffekt. Das Ergebnis der Dopplerverschiebung ist eine Frequenzänderung und damit eine zeitliche Änderung des Kanals. Dabei ist die Frequenz einer Welle die zeitliche Änderung ihrer Phase. Demnach ist die Frequenzänderung f_d der Welle mit der Wellenlänge λ die durch die Bewegung v des mobilen Teilnehmers hervorgerufen wird

$$f_d = v \cdot \cos\alpha / \lambda$$

[0025] Die größte Frequenzänderung im Verhältnis zur Trägerfrequenz f_c tritt bei $\alpha = 0^\circ$ und $\alpha = 180^\circ$ auf. Im ersten Fall bewegt sich der Empfänger direkt auf den Sender zu, so dass die Frequenz größer wird. Und im zweiten Fall entfernt sich der Empfänger vom Sender weg, so dass die Trägerfrequenz kleiner wird.

[0026] Zukünftige hochbitratige Terahertzsysteme werden mit Sendefrequenzen zwischen 300 GHz und 30 THz arbeiten. Somit ergibt sich nach der o. g. Gleichung schon bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h eine Dopplerverschiebung von 14 kHz bei 300 GHz und von 1,4 MHz bei 30 THz. Bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h erreicht die Dopplerverschiebung sogar Werte zwischen 56 kHz und 5,6 MHz bei Sendefrequenzen zwischen 300 GHz und 30 THz. Durch die Verbreiterung des Spektrums und die Mehrwegeausbreitung ergeben sich eine zufällige Frequenzmodulation und ein frequenzabhängiges Fading. Diese Effekte erzeugen zusätzliche Verzerrungen und Störungen auf der Übertragungsstrecke.

[0027] Die Kohärenzzeit T_C des Kanals ist die Zeit, in der sich der Kanal für die übertragenen Signale

annähernd gleich verhält. Sind die Signale länger als die Kohärenzzeit des Kanals, so werden sie durch die Dopplerspreizung gestört. Die Kohärenzzeit ergibt sich aus:

$$T_C = 9 / (16\pi f_{\text{Träger}})$$

[0028] Für eine Geschwindigkeit von 100 km/h ergibt sich demnach eine Kohärenzzeit von 6.45×10^{-6} sec bei einer Trägerfrequenz von 300 GHz. Hingegen sinkt die Kohärenzzeit bei einer Trägerfrequenz von 30 THz auf nur noch 6.45×10^{-8} sec. Derart schnelle Änderungen lassen sich durch bekannte Methoden, wie beispielsweise dem Viterbi Equalizer, nicht mehr ausgleichen. Um Signale bei derart hohen Frequenzen an mobile Teilnehmer übertragen zu können, ist eine effektive Methode des Ausgleichs der Dopplerverschiebung zwingend erforderlich.

[0029] In einem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel bildet die Kommunikation mit dem bewegten Empfänger und speziell die Ermittlung und Übertragung der Geschwindigkeit des Empfängers an den Sender die Grundlage für die Kompensation des Dopplereffektes. Mit der bekannten Geschwindigkeit wird die zu erwartende Dopplerverschiebung berechnet. Die Trägerfrequenz wird dann um den entsprechenden Wert verschoben und so der Dopplereffekt kompensiert.

[0030] Nachfolgend wird die Vorgehensweise detailliert beschrieben, wobei die Bedingungen während der Übertragung auf Grund der kurzen Übertragungsstrecke als statisch angesehen werden. Wie schon ausgeführt, kann die Dopplerkompensation beispielsweise für Baken an Brücken über Autobahnen oder an Bahnstrecken verwendet werden. Dabei ist es das Ziel der Baken, eine kurze Datenübertragung mit hohen Bitraten, beispielsweise für die Übertragung von Videodateien, Webseiten oder ähnlichem zur Verfügung zu stellen. Der bewegte Nutzer kann sich unterwegs im Fahrzeug beispielsweise einen Film auswählen und im Bereich der Bake mit einer hohen Datenrate herunter laden. Bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 40 Gbit/s liegt die Übertragungsdauer der Datenkapazität einer DVD mit 4,7 GByte bei etwa 1 Sekunde, so dass eine Übertragung während der Passage des Fahrzeugs gewährleistet werden kann.

[0031] Wenn sich das Fahrzeug der Bake nähert und der Teilnehmer Daten herunterladen will, so wird während der Initialisierung der Funkübertragung die Geschwindigkeit des Fahrzeuges durch die Bake abgefragt. Diese kann aus der Fahrzeugelektronik ausgelesen werden. In einer anderen Variante werden die Koordinaten des aktuellen Standortes mittels GPS ermittelt und zur Bake übertragen. Zur Übertragung dieser Daten kann ein anderer konventioneller Kanal benutzt werden, da es sich nur um geringe Da-

tenmengen handelt. Um eventuelle Verzögerungen bei der Übertragung über den zweiten Kanal mit einzubeziehen, kann die aktuelle Zeit der Messung der Geschwindigkeit und des Ortes angegeben werden. Diese lässt sich aus den GPS Daten ermitteln. Mit diesen Informationen kann die Verarbeitungseinheit in der Bake errechnen, wann sich der Teilnehmer an welcher Stelle befinden wird. In der Bake werden die Werte zur Berechnung der Dopplerverschiebung, der Frequenzverzerrung und zur Ausrichtung der Antenne genutzt.

[0032] Mit der Geschwindigkeit wird die maximale Frequenz der Dopplerverschiebung berechnet, so dass sich ein Bereich, in dem die Trägerfrequenz des zu sendenden Signals geändert werden muss, ergibt. Durch die Position des Empfängers und dem damit bekannten Winkel zum Empfänger, lässt sich die Änderung der Frequenz vorhersagen und die Frequenzkorrektur respektive die Vorverzerrung berechnen. Wenn die Übertragung mit großen Datenraten im Terahertzbereich geschieht und nur wenige Sekunden dauert, darf davon ausgegangen werden, dass das Fahrzeug während dieser kurzen Zeit eine konstante Geschwindigkeit hat und die Spur nicht wechselt.

[0033] Die Trägerfrequenz f_c wird dabei in dem Maße verändert, dass die Frequenzverschiebung f_d durch den Dopplereffekt kompensiert wird und während der Übertragung \dot{U} die korrekte Trägerfrequenz am Empfänger E anliegt (**Fig. 2**). Bewegt sich das Fahrzeug auf den Sender zu, wird die Frequenz f_c um die Dopplerverschiebung f_d vermindert. Entfernt sich das Fahrzeug hingegen vom Sender, wird die Frequenz f_c dementsprechend um f_d erhöht.

[0034] Die erfindungsgemäße Änderung der Frequenz kann mittels eines Equalizers vorgenommen werden. Je nach Anforderung muss eine entsprechend schnelle Änderung der Frequenz möglich sein. Alternativ ist es möglich, direkt in die Erzeugung der Frequenz am Lokaloszillator einzugreifen, um die Trägerfrequenz anzupassen.

[0035] Zur besonders effektiven Stabilisierung der Übertragung sollte der Dopplereffekt kontinuierlich kompensiert werden. Unter der Annahme, dass die Geschwindigkeit während der Übertragung annähernd konstant bleibt, kann der Sender für jeden Zeitpunkt der Vorbeifahrt die nötige Kompensationsfrequenz berechnen und entsprechend anpassen. Durch diese kontinuierliche Veränderung der Frequenz ist es möglich, den Dopplereffekt auf der Übertragungsstrecke zu kompensieren und so eine Verbreiterung des Spektrums, ein frequenzselektives Fading und eine Frequenzmodulation zu verhindern. Damit kann das Rauschen, Signaleinbrüche und andere Störfaktoren auf der Übertragungsstrecke mi-

nimiert werden. Dadurch lässt sich die verfügbare Bandbreite optimal nutzen.

[0036] Besonders vorteilhaft ist es, zusätzlich zur beschriebenen Vorverzerrung für die THz-Übertragung Antennen mit einem hohen Gewinn und mit einer entsprechend hohen Richtwirkung einzusetzen. Dies können sowohl konventionelle Antennen, als auch phased array Antennen sein. Dadurch, dass, der aktuelle Standort sowie die Geschwindigkeit des mobilen Teilnehmers bekannt ist, kann der voraussichtliche Weg des Fahrzeugs berechnet und eine konventionelle Sendeantenne mechanisch direkt auf den Empfänger ausgerichtet werden. Bei einer phased array Antenne erfolgt die Ausrichtung der Sendeelemente K elektronisch. Dieses Nachführen ist für sich nähernde und für sich entfernende Fahrzeuge E möglich (**Fig. 3**). Die durch den Pfeil A um die Antenne S angedeutete Nachführung ist abhängig vom Gewinn der Antenne und der verwendeten Datenrate. Eine Begrenzung liegt lediglich in der Geschwindigkeit, mit der die Antenne auf das bewegliche Ziel ausgerichtet werden kann. Ist für phased array Antennen aber extrem hoch. Wenn sich mehrere Fahrzeuge der Bake nähern, bewegen sich diese auf einer Fahrspur mit annähernd dergleichen Geschwindigkeit. Für jedes dieser Fahrzeuge kann eine konventionelle Antenne vorgesehen sein, die mit dem Fahrzeug mitgeführt und seiner Geschwindigkeit angepasst werden kann. Entfernt sich das erste Fahrzeug wieder von der Bake wird seine Antenne oben herum wieder zum Anfang geführt bis das nächste neue Fahrzeug eine benötigt. Beim Einsatz von phased array Antennen können gleichzeitig mehrere Hauptkeulen K erzeugt werden. Jede davon wird auf eines der Fahrzeuge ausgerichtet und unabhängig gesteuert. Entfernt sich das erste Fahrzeug wieder von der Bake wird die entsprechende Hauptkeule nicht mehr erzeugt und dafür eine neue auf ein neu ankommendes Fahrzeug ausgerichtet.

[0037] Die adaptive Ausrichtung der Antenne führt zu einer optimalen Ausnutzung der Richtwirkung der Antennen und zu einer stabilen Datenübertragung. Dies ermöglicht stabile Übertragungen mit hohen Datenraten im Bereich der THz-Kommunikation. Außerdem werden Signaleinbrüche auf Grund von Mehrwegeausbreitung reduziert und das Rauschen minimiert. Dadurch steigt die Übertragungsqualität.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 422236 A1 [0005]
- EP 1460780 B1 [0006]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- IEEE-Standard 802.16 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Übertragungsstörungen, die bei einer Datenübertragung über eine Funkstrecke zwischen einem Sender und einem relativ zum Sender bewegten Empfänger durch eine durch den Dopplereffekt erzeugte Frequenzverschiebung hervorgerufen werden, wobei zur Datenübertragung eine Trägerfrequenz im Bereich zwischen 30 GHz und 30 THz genutzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Sender die Relativbewegung des Empfängers kennzeichnende Bewegungsdaten zur Verfügung gestellt werden, dass anhand der Bewegungsdaten die für die Zeit der Datenübertragung zu erwartende Frequenzverschiebung ermittelt wird und dass die Trägerfrequenz seitens des Senders um die zu erwartende Frequenzverschiebung korrigiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Sender Koordinaten des aktuellen Standorts („Ortskoordinaten“) des Empfängers zur Verfügung gestellt werden, die insbesondere durch ein satellitengestütztes Navigationssystem ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Errechnung des Geschwindigkeitsvektors die Ortskoordinaten in einer zeitlichen Abfolge zur Verfügung gestellt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Errechnung des Geschwindigkeitsvektors die aktuelle Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung zur Verfügung gestellt werden, wobei die Geschwindigkeit und die Bewegungsrichtung insbesondere durch ein satellitengestütztes Navigationssystem ermittelt werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die für die Zeit der Datenübertragung zu erwartende zeitliche Änderung der Frequenzverschiebung ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sender eine ortsfeste Basisstation mit einer Sendeantenne und der Empfänger eine entlang einer insbesondere definierten Bewegungsspur bewegte Mobilstation ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sendeantenne eine Richtantenne eingesetzt wird, die mit der Bewegung der Mobilstation mitgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sendeantenne mehrere Richtantennen eingesetzt werden, von denen jede auf eine

Mobilstation ausgerichtet ist und die mit der Bewegung der Mobilstation mitgeführt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sendeantenne eine phased array Antenne eingesetzt wird, deren Hauptkeule mit der Bewegung der Mobilstation mitgeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sendeantenne eine phased array Antenne eingesetzt wird, die mehrere Hauptkeulen erzeugt von denen jede auf eine Mobilstation ausgerichtet ist und die mit der Bewegung der Mobilstation mitgeführt werden.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

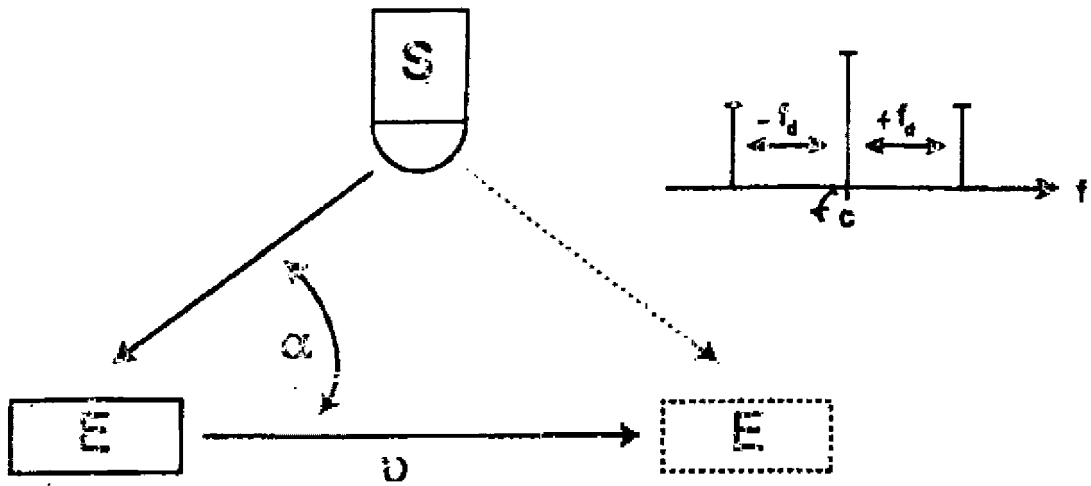


Fig. 1

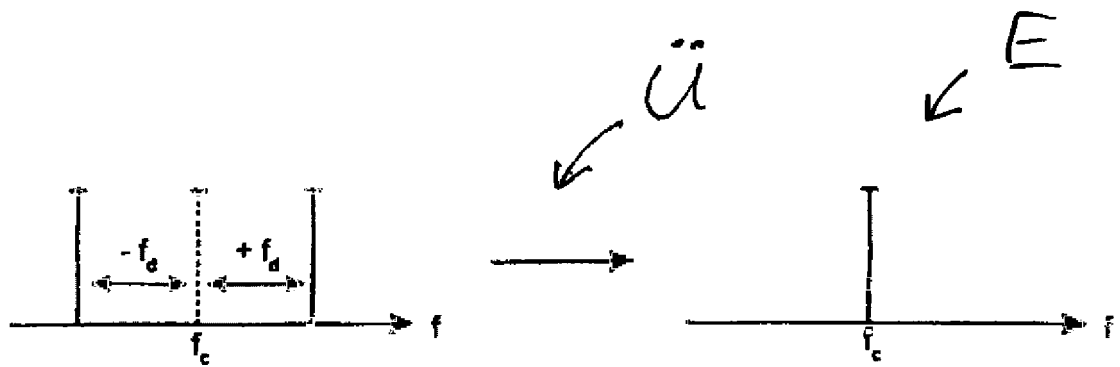


Fig. 2

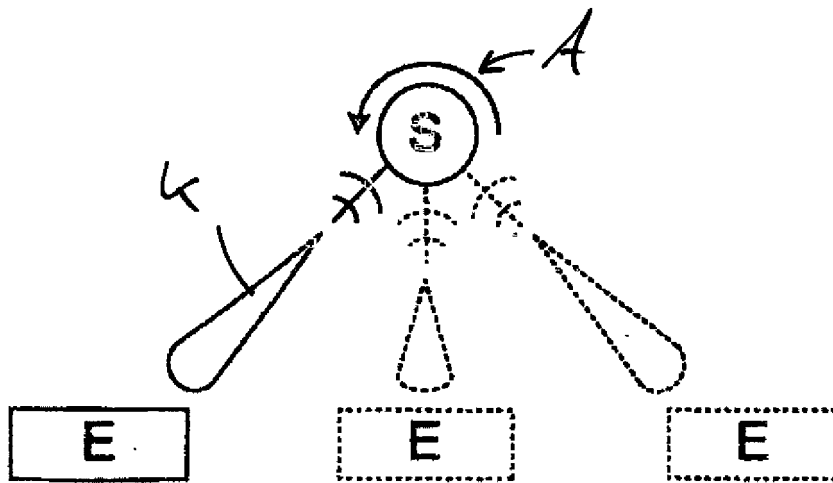


Fig 3