



(10) **DE 10 2011 108 138 B4** 2013.05.29

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 108 138.4**
(22) Anmeldetag: **20.07.2011**
(43) Offenlegungstag: **24.01.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **29.05.2013**

(51) Int Cl.: **H04B 17/00 (2011.01)**
G01S 19/01 (2011.01)
G01S 13/94 (2011.01)

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

(73) Patentinhaber:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147, Köln, DE**

(72) Erfinder:
**Schubert, Frank, 81667, München, DE; Strang,
Thomas, Prof. Dr., 82287, Jesenwang, DE**

(74) Vertreter:
von Kreisler Selting Werner, 50667, Köln, DE

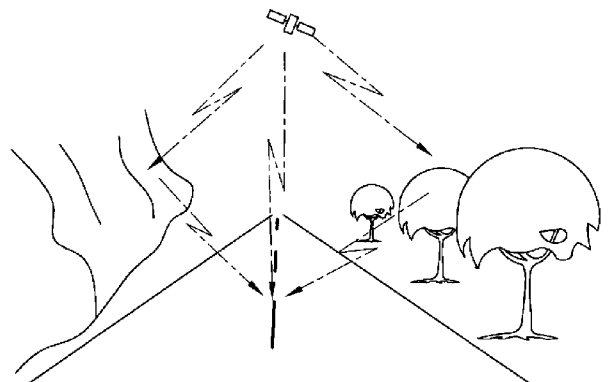
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 6 349 119 B1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Kanalmodells für einen Signalübertragungsweg**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Kanalmodells für einen Übertragungsweg zwischen einem Sender oder mehreren Sendern und einem sich bewegenden Empfänger eines Drahtlos-Signalübertragungssystems, insbesondere eines Telekommunikations- und/oder Satellitennavigationssystems, wobei

- ein Kanalmodell mit die Topologie und die Einflussfaktoren der Umgebung des Empfängers beschreibenden Parametern bereitgestellt wird, wobei die Topologie die Beschaffenheit und die geometrische Form von Baukörpern, Verkehrsteilnehmern, Pflanzen, Infrastrukturelementen wie Strom- und Lampenpfosten und/oder der Landschaft umfassen,
- Daten, die die Topologie in einem in Bewegungsrichtung betrachtet vor dem Empfänger gelegenen Bereich der Umgebung des Empfängers beschreiben, bereitgestellt werden, und
- die Parameter des Kanalmodells dann, wenn der Empfänger den ihm vorgelagerten Bereich erreicht, entsprechend den bereitgestellten Topologie-Daten gewählt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Kanalmodells für einen Signalübertragungsweg und insbesondere für einen Mehrfachausbreitungsübertragungsweg zwischen einem oder mehreren Sender(n) und einem sich bewegenden Empfänger eines Drahtlos-Signalübertragungssystems, insbesondere eines Telekommunikations- und/oder Satellitennavigationssystems.

[0002] Funksysteme zur Kommunikation und Navigation arbeiten am zuverlässigsten in ungestörten Umgebungen. Werden sie hingegen in Umgebungen eingesetzt, die Reflektionen (Mehrwegeausbreitung) und Dämpfung sowie Phasenverschiebung verursachen, wird die Funktionalität und Verfügbarkeit eingeschränkt. Ein Mittel, diesem Problem zu begegnen, besteht in der Schätzung der aktuellen Kanalimpulsantwort, d. h. der Schätzung der Parameter eines Kanalmodells. Dabei wird ein Kanalmodell für beispielsweise eine Mehrwegeausbreitung angenommen, das sämtliche Einflüsse auf die Signalausbreitung zwischen Sender und Empfänger berücksichtigt. Ist "der Kanal" bekannt, so können störende Einflüsse wie beispielsweise Signalreflektionen "herausgerechnet" werden. Beispielsweise verursachen Bäume starke Signalreflektionen, die die Positionsbestimmung eines GPS-Empfängers verfälschen. Derartige Einflüsse lassen sich in dem Kanalmodell berücksichtigen.

[0003] In der Vergangenheit wurden umfangreiche Messkampagnen durchgeführt, um den jeweiligen Funkkanal charakterisieren und die Funksysteme auf den Funkkanal abstimmen zu können. Die aus den Messungen hervorgegangenen sehr genauen aber dadurch sehr komplexen Kanalmodelle eignen sich primär zur Simulation. Sie finden bis jetzt keine direkten Anwendungen in den Funksystem-Empfängern, wo sie zur Mehrwegeerkennung und -unterdrückung eingesetzt werden könnten. Außerdem sind die in heutigen Empfängern angenommenen Kanalmodelle statistischer, statischer Natur und nehmen die Stationarität der Modelparameter an. Insbesondere aber bei sich bewegenden Empfängern bzw.

[0004] Sendern können sich die Kanalbedingungen recht schnell ändern, so dass statische Kanalmodelle mitunter versagen bzw. eine lediglich suboptimale Lösung darstellen und man von nicht-stationären Kanalparametern ausgehen muss.

[0005] In aktuellen Empfängern erfolgt die Schätzung der Kanalimpulsantwort zum jeweils aktuellen Zeitpunkt allein aus den bereits empfangenen Daten (siehe beispielsweise bei Kanalverzerrern und RAKE-Empfängern). Da lediglich die bereits empfangenen Daten ausgewertet wurden, konnte, wenn überhaupt, ausschließlich die aktuelle Kanalimpulsantwort geschätzt werden.

[0006] In US 6 349 119 B1 ist beschrieben, dass ein von einem Fahrzeug mitgeführter Empfänger zwischen zwei verschiedenen Senderantennen umschaltet, wenn detektiert wird, dass sich während der Fahrt des Fahrzeuges zwischen diesem und einer Senderantenne ein Hindernis befindet. Es wird also die Lage von Objekten in dem dem Fahrzeug vorgelagerten Bereich erkannt. In welcher Weise sich allerdings derartige Objekte auf Reflektionen und Dämpfungen der Signale auswirken, wird bei dem bekannten Verfahren nicht berücksichtigt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Anpassung/Nachführung der Parameter eines nicht-stationären, dynamischen Kanalmodells in Abhängigkeit von der Umgebung, in der sich ein Empfänger eines Drahtlos-Signalübertragungssystems befindet, anzugeben.

[0008] Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung ein Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Kanalmodells für einen Übertragungsweg zwischen einem Sender oder mehreren Sendern und einem sich bewegenden Empfänger eines Drahtlos-Signalübertragungssystems, insbesondere eines Telekommunikations- und/oder Satellitennavigationssystems vorgeschlagen, wobei das Verfahren die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Einzelne Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf der Erkenntnis, die Kanalimpulsantwort, d. h. die Parameter eines Signalübertragungskanalmodells mit Hilfe von Sensoren, die nicht notwendigerweise für die Funktion des Drahtlos-Signalübertragungssystems erforderlich sind, vorhersagen zu können. Damit ist es möglich, durch Erfassung der Topologie in einem in Bewegungsrichtung betrachtet vor dem Empfänger gelegenen Bereich der Umgebung des Empfängers zu erfassen, um dann aus den so gewonnenen Daten die Parameter des Kanalmodells anzupassen und dieses Kanalmodell dann für die Schätzung zu verwenden, wenn der Empfänger den betreffenden vorgelagerten Bereich erreicht.

[0010] Für die Vorhersage der Kanalimpulsantwort werden erfindungsgemäß auch zusätzliche Sensoren eingesetzt, wie beispielsweise Kameras, Radar-Entfernungsmesser, Ultra-Wideband-Sensoren, LIDAR, Magnetfeldsensoren, Intertialsensoren, Interferometer, Ultraschallsensoren, Kartenmaterial, etc. Eine Karte wird in diesem Sinne ebenfalls wie ein Sensor verwendet. Eine Vielzahl von bereits auf dem Markt befindlichen Fahrzeugtypen weisen Kameras für Fahrerassistenzsysteme auf, die unter anderem auch das Vorfeld des Fahrzeugs, also den in Bewegungsrichtung des Fahrzeugs betrachtet vor diesem gelegenen Bereich der Umgebung erfassen. Aus den durch Bildverarbeitungsverfahren erkannten Objek-

ten in der Umgebung (beispielsweise Häuser, Bäume, Landschaftsformen) und ihrer Größe sowie Form und Entfernung zum Empfänger (Fahrzeug) lässt sich die Kanalimpulsantwort für zukünftige Zeitpunkte, d. h. zum Zeitpunkt des Passierens eines derartigen Objekts, schätzen. Diese geschätzten Kanalimpulsantworten werden gespeichert und zum entsprechenden Zeitpunkt im Empfänger verwendet, um eine Korrektur der Verfälschungen durchzuführen, die durch den gegenüber dem Kanalmodell (veränderten) tatsächlichen Kanal entstehen.

[0011] Aus den resultierenden Kanalimpulsantworten, die durch das vorgestellte Verfahren genau zur aktuellen Topologie und zur gegenwärtigen Wellenausbreitungssituation passen, lässt sich die Empfangsqualität von Kommunikationsempfängern und die Schätzung der Position in einem Navigationsempfänger in der spezifischen Situation erheblich steigern.

[0012] Darüber hinaus können die Daten aus den zusätzlichen Sensoren dazu verwendet werden, um Kanalmodelle zu kalibrieren. Moderne Kanalmodelle welche z. B. speziell für die Satellitennavigation entwickelt wurden, können nicht direkt im Empfänger angewendet werden, da sie die Definition einer komplexen und realistischen Umgebungsgeometrie voraussetzen. Der Empfänger hat kein bzw. lediglich ein äußerst begrenztes Wissen von der ihn umgebenden Umwelt. Sind allerdings die Eigenschaften der Objekte des Kanals in der Umgebung durch die zusätzlichen Sensoren bekannt, wie es erfindungsgemäß gegeben ist, so können sie geschätzt und dynamische Kanalmodelle damit kalibriert werden. Das Kanalmodell kann dadurch erfindungsgemäß während des Empfangsvorganges so angepasst werden, dass es die Kanalimpulsantworten genau für die jeweils aktuelle Situation vorhersagen kann.

[0013] Wesensmerkmal der Erfindung ist also die Ausnutzung zusätzlicher Sensordaten zur Vorhersage der Kanalimpulsantwort bzw. der Parameter des Kanals und seines Modells für ein Drahtlos-Signalübertragungssystem. Sensoren im Sinne der Erfindung sind dabei beispielsweise optische (Stereo-)Kameras und Infrarot-Kameras, RADAR- und LIDAR-Sensoren, Sonare, Ultra-Wideband-Radar-Sensoren, Straßen- und Umgebungskarten. Hervorzuheben ist dabei, dass diese komplementären Sensorsysteme die Umgebung, wie sie der Empfänger in der Zukunft erleben wird, erheblich besser messen kann, wie die Position und Größe von Objekten in der unmittelbaren Nähe des Empfängers. Klar wird dies durch die Betrachtung einer Kamera, die in einem Auto angebracht ist und einen Videostrom der Frontalansicht in Richtung befahrener Straße aufzeichnet. Diese Kamera wird Objekte wie Häuser und Bäume direkt neben dem Auto schwer bzw. nicht erkennen. Diese Objekte haben aber den schwer-

wiegendsten Einfluss auf die Positionsgenauigkeit eines Satellitennavigationsempfängers. Die Position und Dimension von Objekten, die dem Auto ca. 10–200 m vorgelagert sind und denen sich das Auto mit der Zeit nähert, kann allerdings aus dem Videostrom gut geschätzt werden. Erreicht der Empfänger dann wenige Sekunden später diese Stelle, sind die Position und Größe der Objekte aus dem aufgezeichneten Videostrom an dieser Stelle bekannt und können zur Empfangsverbesserung genutzt werden. Dazu ist es erforderlich, die Wellenausbreitungs- und Wellenstreuungseigenschaften zu kennen, die diesen Objekten in ihren jeweiligen Orten innewohnt. Dieses Wissen liefern Kanalmodelle. Die aus den komplementären Sensoren vorhergesagten Positions- und Dimensionsdaten werden in Kanalmodelle eingegeben und damit die wahrscheinlichste Kanalimpulsantwort zum aktuellen Zeitpunkt geschätzt. Diese Kanalimpulsantwort wird zur Verbesserung der Schätzung der Empfangsposition verwendet.

[0014] Grundsätzlich ist es nach der Erfindung möglich, dass die die Topologie beschreibenden Daten von demjenigen sich bewegenden Empfänger erfasst werden, für den dann anschließend auch das Kanalmodell jeweils angepasst wird. Insoweit würde also der Empfänger autonom arbeiten.

[0015] Demgegenüber kann die Erfindung aber auch in einem kooperativen Ansatz Anwendung finden, bei dem eine Vielzahl von Empfängern und/oder eine Vielzahl von sich bewegenden Sensorträgern die Topologie der ihnen in Bewegungsrichtung jeweils vorgelagerten Bereiche erfassen und diese Daten bzw. die daraus verarbeiteten Daten über ein Kommunikationsnetz kommunizieren. Durch eine Empfänger-zu-Empfänger-Kommunikation (beispielsweise car-2-car oder auch rail-2-rail) haben dann eine Vielzahl von Empfängern die Möglichkeit, auf diese Daten zuzugreifen und damit ist die Möglichkeit gegeben, dass die Empfänger über das Wissen bezüglich der an den ihnen jeweils vorgelagerten Bereichen angepassten Kanalmodelle verfügen. Zudem können die Daten auch über ein zentralistisch organisiertes Kommunikationsnetz gesammelt, gespeichert und verteilt werden.

[0016] Das grundsätzliche Verfahren gemäß der Erfindung beruht also darauf, die Daten zusätzlicher Sensoren zu fusionieren und die Entfernungen und Dimensionen von Objekten in der Umgebung, wie beispielsweise Bäume, Häuser, etc. aus diesen Messungen zu schätzen. In einem weiteren Schritt der Erfindung wird aus der Fusion der Daten die Umgebung synthetisiert. Der nächste Schritt der Erfindung betrifft die Kalibrierung mit den Dimensionsdaten ein oder mehrerer Kanalmodelle, so dass im finalen Schritt die Kanalimpulsantwort vorhergesagt werden kann. Diese Kanalimpulsantwort kann z. B. zur Mehrwegeerkennung und -unterdrückung in Satellitennavigati-

onempfängern genutzt werden, wodurch sich in Umgebungen mit hoher potenzieller Mehrwegeausbreitung wie z. B. in Städten und unter Alleen die Positionsschätzung erheblich verbessern lässt.

[0017] Zwei mögliche Szenarien, wie sie sich beim Befahren einer Straße mit einem Fahrzeug, das einen Satellitennavigationsempfänger aufweist, einstellen können, sind in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt. Dabei wird jeweils davon ausgegangen, dass das Fahrzeug in derjenigen Position, in der sich vor ihm die in den Figuren gezeigte Szenerie einstellt, einen beispielsweise relativ ungestörten Satellitensignalempfang hat. In den Figuren sind mehrere Ausbreitungspfade der Signalübertragung zwischen dem Satellitennavigationssignal und der Straße eingezeichnet. Es versteht sich von selbst, dass sich die Kanalbedingungen im Bereich vor dem Fahrzeug gegenüber den gegenwärtigen Kanalbedingungen und Kanalmodell-Parameter verändern werden. Wenn es also gelingt, die Veränderungen der Kanalmodell-Parameter vorhersagen zu können, so kann der Satellitennavigationsempfänger auf die neuen Kanalmodell-Parameter angepasst sein, wenn das Fahrzeug den entsprechenden Bereich erreicht.

[0018] Durch die Fahrt mit einem Fahrzeug kann also die Szenerie aus den Kamerabildern abgeleitet werden und in einem vorhandenen Kanalmodell zur Kalibrierung eingesetzt werden. Wenn man berücksichtigt, dass eine Kamera die Umgebung mit etwa 60 Bildern pro Sekunde aufzeichnet, ist selbst ein Kalman-Filter der einfachsten Art in der Lage, nach wenigen Sekunden der Sichtbarkeit eines Objekts (was hunderten von Messungen entspricht) die Position eines Objekts relativ zum Fahrzeug auf Zentimeter genau zu schätzen. Der Implementierungsaufwand für das erfindungsgemäße Verfahren ist vergleichsweise moderat, und zwar was sowohl den Rechenaufwand als auch den Aufwand zur Kanalmodellierung betrifft. Heutzutage existieren bereits Hochleistungsrechner und -prozessoren, wobei zusätzlich anzumerken ist, dass sich derzeit eine Verdoppelung der Rechenleistung in Abständen von etwa 1 1/2 Jahren eingestellt hat. Aus Messungen ist bekannt, dass beispielsweise Bäume vorzugsweise eine einzige starke Signalkomponente des übertragenen Signals reflektieren. Bei den heute verfügbaren (relativ niedrigen) Bandbreiten der Satellitennavigationssignale wird das Wissen um die Positionen einzelner Bäume bei moderatem Implementierungsaufwand zu signifikanten Verbesserungen in der Entfernungsschätzung zu den Navigationssatelliten führen. Die Schätzung weiterer Objekte wie Häuser und anderer Verkehrsteilnehmer (insbesondere Lastwagen) aus dem Kamerabild ist ebenfalls möglich. Messungen haben gezeigt, dass Objekte in städtischen Gebieten wie z. B. Häusern neben langen Reflektionen auch viele relativ kurze Reflektionen, Streuungen und Beugungen an Kanten von elektromagnetischen Wellen, insbesondere

Satellitennavigationssignalen, verursachen. Je nach erkannten Objekten ist daher eine dynamische Anpassung der Kanalmodellparameter an verschiedene Kanalmodelle, welche die Objekte wie z. B. Häuser und Bäume modellieren, notwendig.

[0019] Stereoskopische Kamerasysteme können dabei die Schätzungen und insbesondere die Messung der Entfernung relativ zum Empfänger weiter verbessern. Insbesondere also auf Basis zukünftiger Technologien und deren Verbesserungen wird sich das erfindungsgemäße Verfahren problemlos implementieren lassen. Aus durch Stereokameras erfassten dreidimensionalen Bildern können in Echtzeit dreidimensionale Objekte, beispielsweise Bäume, Bebauung, Tunnel o. dgl. entlang der Streckenführung ermittelt und klassifiziert werden. Die zu erwartenden Einflüsse dieser dreidimensionalen Objekte auf die Ausbreitung von Funksignalen (Kommunikation und/oder Navigation) können dadurch sehr genau vorhergesagt werden. Hierzu werden Parameter wie die Größe und die Lage sowie die Form der Objekte und weiterer Eigenschaften (beispielsweise Dichte der Blätter von Bäumen, Beschaffenheit anderer Oberflächen) als Parameter in das Kanalmodell im Empfänger eingegeben werden, wodurch die geschätzte Kanalimpulsantwort nicht mehr lediglich rein statisch, sondern sehr spezifisch an die aktuellen Umgebungsbedingungen angepasst und damit sehr genau wird.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren kann in sämtlichen Fällen bewegter Verkehrsführung eingesetzt werden, d. h. nicht nur im Straßenverkehr sondern beispielsweise auch im Schienenverkehr. Die Erkennung des Fahrstreifens bzw. des Gleises, auf dem das Fahrzeug sich gegenwärtig befindet ist nicht trivial. Das vorgestellte Verfahren bietet durch die Möglichkeit zur genauen Kanalschätzung eine verbesserte Positionsgenauigkeit, um die Information, auf welcher Fahrspur sich der Empfänger befindet, präzise bestimmen zu können. Der zukünftige Einfluss von mit Hilfe der Sensoren erkannten Veränderungen in der Topologie der dem Fahrzeug vorgelagerten Umgebung auf die Parameter des Kanalmodells bzw. auf die Korrektur des Kanalmodells wird dabei geschätzt.

[0021] Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich insbesondere bei Funksystemen (d. h. Drahtlos-Signalübertragungssystemen) zur Kommunikation und Navigation in schwierigen Umgebungen wie beispielsweise Städten, Alleen und Wäldern sowie im Gebirge einsetzen. Dazu gehören auch Empfänger für Satellitennavigationssysteme wie dem Global Positioning System (GPS), GLONASS, COMPASS und Galileo.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anpassung der Parameter eines Kanalmodells für einen Übertragungsweg zwischen einem Sender oder mehreren Sendern und einem sich bewegenden Empfänger eines Drahtlos-Signalübertragungssystems, insbesondere eines Telekommunikations- und/oder Satellitennavigationssystems, wobei

- ein Kanalmodell mit die Topologie und die Einflussfaktoren der Umgebung des Empfängers beschreibenden Parametern bereitgestellt wird, wobei die Topologie die Beschaffenheit und die geometrische Form von Baukörpern, Verkehrsteilnehmern, Pflanzen, Infrastrukturelementen wie Strom- und Lampenpfosten und/oder der Landschaft umfassen,
- Daten, die die Topologie in einem in Bewegungsrichtung betrachtet vor dem Empfänger gelegenen Bereich der Umgebung des Empfängers beschreiben, bereitgestellt werden, und
- die Parameter des Kanalmodells dann, wenn der Empfänger den ihm vorgelagerten Bereich erreicht, entsprechend den bereitgestellten Topologie-Daten gewählt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten in einer Datenbank gespeichert sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten durch Verarbeitung von Vermessungsdaten mindestens eines Sensors, der den dem Empfänger vorgelagerten Bereich erfasst, gewonnen werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Sensor eine Kamera, insbesondere Stereokamera, ein Radarsystem, eine digitale Karte, ein LIDAR und/oder ein Interferrometer aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Sensor von dem sich bewegenden Empfänger mitgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Sensor von einem sich bewegenden Sensorträger, der insbesondere auch örtlich vom Empfänger getrennt sein kann, mitgeführt wird, wobei der Sensorträger die Vermessungsdaten, d. h. die Informationen über die Topologie eines in Bewegungsrichtung betrachtet vor dem Empfänger gelegenen Bereichs aufzeichnet und wobei diese Daten an den erstgenannten Empfänger über eine direkte oder indirekte Datenkommunikationsverbindung übertragen werden.

7. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Sensorträgern jeweils mindestens einen Sensor zur Erfassung von Vermessungsdaten in dem dem Emp-

fänger vorgelagerten Bereich mitführen und dass die Vermessungsdaten oder die die Topologie in dem jeweiligen vorgelagerten Bereich beschreibenden Daten von den Sensorträgern zu einem oder mehreren Empfängern kommuniziert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter des Kanalmodells einer Echtzeit-Kalibrierung unterzogen werden.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

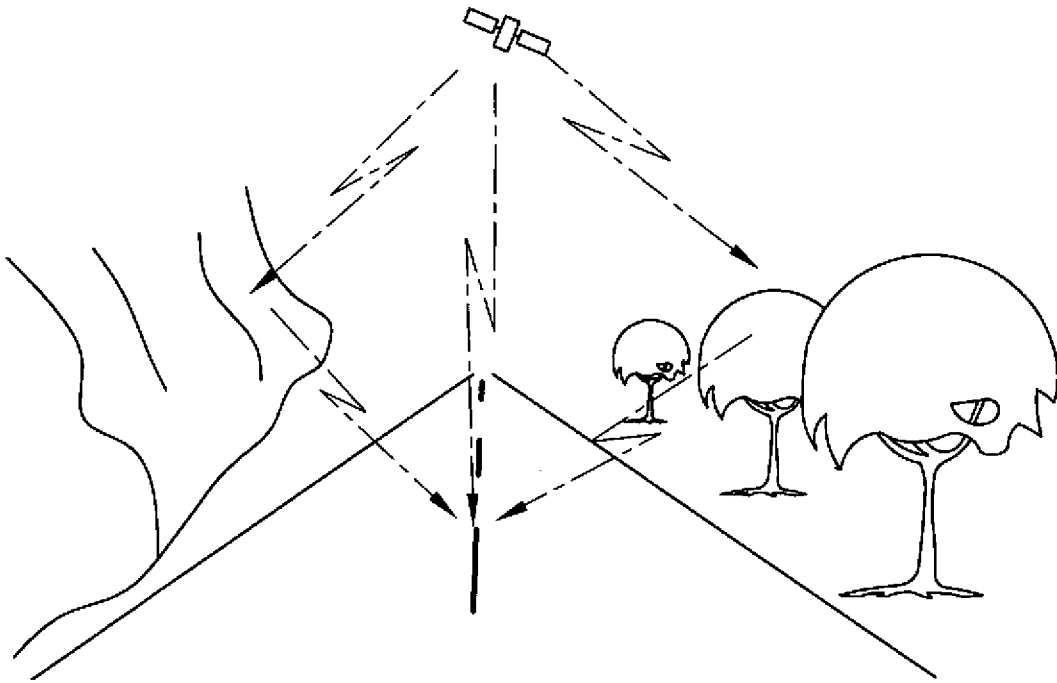


Fig.1

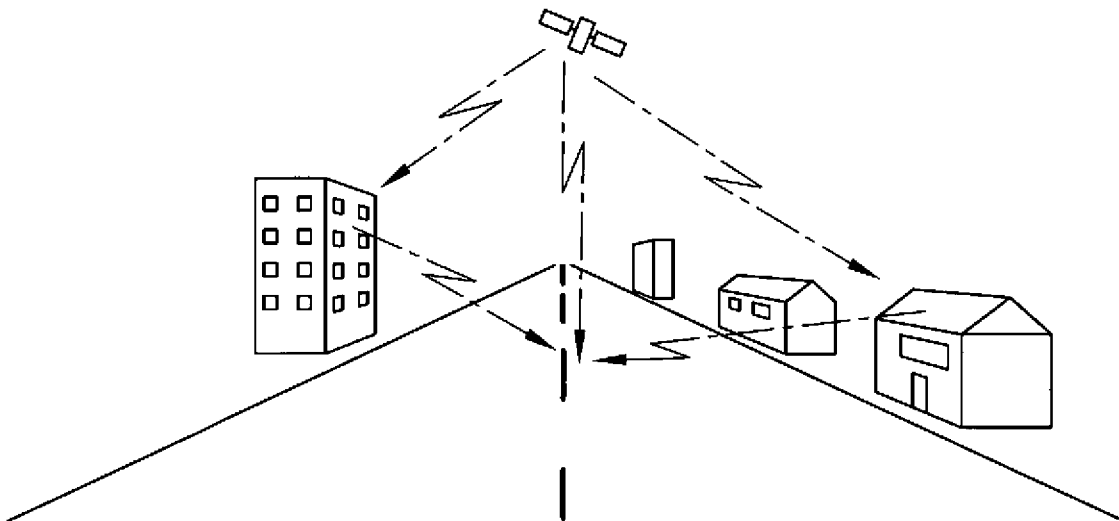


Fig.2