



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 690 34 047 T2 2004.03.25

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 936 517 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 690 34 047.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 106 271.2

(96) Europäischer Anmeldetag: 10.12.1990

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 18.08.1999

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 05.03.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 25.03.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G05D 1/00

G05D 1/02, G01S 5/14, G01C 21/16

(30) Unionspriorität:  
PCT/US89/05580 11.12.1989 WO

(73) Patentinhaber:  
Caterpillar Inc., Peoria, Ill., US

(74) Vertreter:  
WAGNER & GEYER Partnerschaft Patent- und  
Rechtsanwälte, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE, FR, GB, SE

(72) Erfinder:  
Kyrtos Christos T., Peoria, Illinois 61615, US;  
Gudat, Adam J., Edelstein, Illinois 61516, US;  
Christensen, Dana A., Snarestone, GB; Friedrich,  
Douglas W., Pekin, Illinois 61554, US; Stafford,  
Darrell E., Grants Pass, US; Sennott, James W.,

Bloomington, Illinois 61701, US; Bradbury, Walter  
J., Dunlap, US; Clow, Richard G., Phoenix, Arizona  
85027, US; Devier, Lonnie J., Tarumi KU 665 0872,  
JP; Kemner, Carl A., Peoria Heights, Illinois 61614,  
US; Kleimenhagen, Karl W., Peoria, US; Koehrsen,  
Craig L., Queensland 4035, AU; Lay, Norman K.,  
Peoria, US; Peterson, Joel L., East Peoria, Illinois  
61611 5418, US; Rao, Prithvi N., Pittsburgh,  
Pennsylvania 15206, US; Schmidt, Larry E.,  
Chillicothe, US; Shaffer, Garry K., Butler,  
Pennsylvania 16001, US; Shi, WenFan, Pittsburgh,  
Pennsylvania 15213, US; Shin, Dong Hun,  
Guro-gu, KR; Singh, Sanjiv J., Pittsburgh,  
Pennsylvania 15217, US; Weinbeck, Louis J.,  
Livingston, US; West, Jay H., Junction City,  
Kansas 66441 0007972103Gill Jennings & Every,;  
Broadgate House,, 7 Eldon Street, US; Wu,  
BaoXin (NMI), Pittsburgh, Pennsylvania 15213, US

(54) Bezeichnung: Integriertes Fahrzeugpositionier- und -navigationssystem, dessen Vorrichtung und Verfahren

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

### Hintergrund der Erfindung

#### 1. Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Positionsbestimmungssysteme und insbesondere auf ein Positionsbestimmungssystem und ein Verfahren zur Bestimmung der terrestrischen Position eines autonomen Fahrzeuges auf oder nahe der Erdoberfläche.

#### 2. Verwandte Technik

[0002] Verschiedene nationale Regierungen, einschließlich der Vereinigten Staaten von Amerika (USA) entwickeln gegenwärtig ein terrestrisches Positionsbestimmungssystem, auf das im allgemeinen als globales Positionsbestimmungssystem (GPS) Bezug genommen wird. Bei einem GPS wird eine Anzahl von Satelliten in einer Umlaufbahn um den Planeten Erde angeordnet. Die GPS-Satelliten sind ausgelegt, um elektromagnetische Signale zu senden. Aus diesen elektromagnetischen Signalen kann die absolute terrestrische Position (Position mit Bezug auf den Erdmittelpunkt) von irgendeinem Empfänger auf oder nahe der Erdoberfläche absolut bestimmt werden.

[0003] Die US-Regierung hat ihr GPS "NAVSTAR" genannt. Das NAVSTAR-GPS wird von der US-Regierung 1993 als betriebsbereit erklärt. Darüber hinaus entwickelt die Regierung der Union der sozialistischen Sowjetrepubliken (USSR) ein GPS, welches als "GLONASS" bekannt ist, welches im wesentlichen dem NAVSTAR-GPS ähnlich ist.

[0004] Beim NAVSTAR-GPS ist vorgesehen, daß vier umlaufende GPS-Satelliten in jeder von sechs getrennten Umlaufbahnen existieren. Eine Gesamtzahl von 24 GPS-Satelliten wird in der Umlaufbahn sein, und zwar zu jedem gegebenen Zeitpunkt mit 21 GPS-Satelliten im Betrieb und drei GPS-Satelliten, die als Ersatz dienen. Die drei GPS-Satellitenumlaufbahnen werden gegenseitig senkrechte Ebenen relativ zur Erde haben. Die GPS-Satellitenumlaufbahnen werden weder Polarumlaufbahnen noch Äquatorialumlaufbahnen sein. Darüber hinaus werden die GPS-Satelliten einmal alle 12 Stunden um die Erde laufen.

[0005] Unter Verwendung des NAVSTAR-GPS kann die Relativposition von umlaufenden GPS-Satelliten mit Bezug auf irgendeinen Erdempfänger aus den elektromagnetischen Signalen bestimmt werden. Die Relativposition wird im allgemeinen als "Pseudobereich" bezeichnet. Darüber hinaus kann die Relativposition von zwei Verfahren berechnet werden.

[0006] Ein Verfahren ist es, die Fortpflanzungszeitverzögerungen zwischen der Aussendung und dem Empfang der sich fortpflanzenden elektromagnetischen Signale zu messen. In dem NAVSTAR-GPS werden die elektromagnetischen Signale kontinuierlich mit der Zeit codiert, mit der die Signale von den GPS-Satelliten ausgesandt werden. Es ist klar, daß man die Aufnahmezeit aufzeichnen kann und die codierte Sendezzeit davon abziehen kann, um Zeitverzögerungen abzuleiten. Aus den berechneten Zeitverzögerungen und daraus, daß man die Geschwindigkeit kennt, mit der elektromagnetische Wellen durch die Atmosphäre laufen, können Pseudobereiche genau abgeleitet werden. Pseudobereiche, die unter Verwendung des vorangegangenen Verfahrens berechnet wurden, werden im Zusammenhang mit dieser Schrift als "tatsächliche" Pseudobereiche bezeichnet.

[0007] Ein weiteres Verfahren berücksichtigt Satellitenpositionsdaten, die in den elektromagnetischen Signalen codiert sind, die von den umlaufenden Satelliten ausgesandt werden. Almanachdaten bezüglich der Satellitenpositionsdaten des NAVSTAR-GPS sind öffentlich verfügbar. Eine Bezugnahme auf diese Almanachdaten bezüglich der in den elektromagnetischen Signalen codierten Signale gestattet eine genaue Ableitung der Pseudobereiche. Pseudobereiche, die unter Verwendung des vorangegangenen Verfahrens berechnet werden, werden im Zusammenhang mit diesem Dokument als "abgeschätzte" Pseudobereiche bezeichnet.

[0008] Jedoch mit Bezug auf das vorherige Verfahren des Ableitens von abgeschätzten Pseudobereichen sei bemerkt, daß die Satellitenpositionsdaten beim GPS-Satelliten nur einmal pro Stunde auf diese Stunde aktualisiert werden. Folglich nimmt die Genauigkeit des abgeschätzten Pseudobereiches mit der Zeit nach jeder vollen Stunde bis zur nächsten Stunde ab, wenn ein neu abgeschätzter Pseudobereich unter Verwendung der aktualisierten Satellitenpositionsdaten berechnet wird.

[0009] Während man weiter die Relativposition von mindestens drei der umlaufenden GPS-Satelliten kennt, kann die absolute terrestrische Position (d. h. Länge, Breite und Höhe mit Bezug auf den Erdmittelpunkt) von irgendeinem Erdempfänger über einfache geometrische Theorien berechnet werden, die Triangulationsverfahren einschließen. Die Genauigkeit der terrestrischen Positionsabschätzung hängt teilweise von der Anzahl der umlaufenden GPS-Satelliten ab, die aufgenommen bzw. empfangen werden. Die Verwendung von mehr GPS-Satelliten bei der Berechnung kann die Genauigkeit der terrestrischen Positionsabschätzung steigern.

[0010] Herkömmlicherweise werden vier GPS-Satelliten gesampelt bzw. aufgenommen, um jede terrestri-

sche Positionsabschätzung zu bestimmen, und zwar wegen Fehlern, die durch Schaltungstaktdifferenzen zwischen dem Erdempfänger und den verschiedenen GPS-Satelliten beigetragen werden. Taktdifferenzen können mehrere Millisekunden sein. Wenn die Uhr des Erdempfängers mit der der GPS-Satelliten synchronisiert wäre, dann müßten nur drei GPS-Satelliten aufgenommen werden, um die Lage des Erdempfängers genau festzustellen.

[0011] Bei dem NAVSTAR-GPS werden elektromagnetische Signale kontinuierlich von allen GPS-Satelliten auf einer einzigen Trägerfrequenz übertragen. Jedoch hat jeder der GPS-Satelliten ein anderes Modulationsschema, wodurch eine Unterscheidung der Signale gestattet wird. Beim NAVSTAR-GPS wird die Trägerfrequenz unter Verwendung eines Pseudozufallssignals moduliert, welches für jeden GPS-Satelliten einzigartig ist. Folglich können die umlaufenden GPS-Satelliten beim NAVSTAR-GPS identifiziert werden, wenn die Trägerfrequenzen demoduliert werden.

[0012] Weiterhin sieht das NAVSTAR-GPS zwei Betriebszustände zur Modulierung der Trägerwelle unter Verwendung von Pseudozufallszahl-(PRN)-Signalen vor. In einem Betriebszustand, der als "Grob/Aufnahme-Betriebszustand" (C/A-Betriebszustand, C/A = coarse/acquisition) ist das PRN-Signal eine Goldcodesequenz mit einer Chip- bzw. Taktrate von 1,023 MHz. Die Goldcodesequenz ist in der Technik eine wohlbekannte herkömmliche Pseudozufallssequenz. Ein Chip ist ein individueller Impuls des Pseudozufallscodes. Die Chiprate einer Pseudozufallscodesequenz ist die Rate, mit der die Chips in der Sequenz erzeugt werden. Folglich ist die Chiprate gleich der Codewiederholungsrate geteilt durch die Anzahl der Glieder im Code. Entsprechend existiert mit Bezug auf den Grob/Aufnahme- bzw. Grob/Suchbetriebszustand des NAVSTAR-GPS 1023 Chips in jeder Goldcodesequenz, und die Sequenz wird jede Millisekunde wiederholt. Die Verwendung der Goldcodesequenz mit 1,023 MHz von vier umlaufenden GPS-Satelliten, ermöglicht, daß die terrestrische Position eines Erdempfängers mit einer angenäherten Genauigkeit von innerhalb 60 bis 300 Metern bestimmt wird.

[0013] Der zweite Modulationsbetriebszustand im NAVSTAR-GPS wird im allgemeinen als der "präzise" oder "geschützte" (P-) Betriebszustand bezeichnet. Im geschützten Betriebszustand hat der Pseudozufallscode eine Chiprate von 10,23 MHz. Darüber hinaus sind die Sequenzen im geschützten Betriebszustand extrem lang, so daß die Sequenzen sich nicht öfter als einmal alle 267 Tage wiederholen. Als eine Folge kann die terrestrische Position von irgendeinem Erdempfänger auf innerhalb einer ungefähren Genauigkeit von 16 bis 30 Metern bestimmt werden.

[0014] Jedoch sind die Sequenzen im geschützten Betriebszustand klassifiziert und werden von der Regierung der Vereinigten Staaten nicht öffentlich verfügbar gemacht. In anderen Worten ist der geschützte Betriebszustand nur zur Anwendung von Erdempfängern vorgesehen, die von der Regierung der Vereinigten Staaten autorisiert sind.

[0015] Damit die Erdempfänger die verschiedenen C/A-Signale von den anderen umlaufenden GPS-Signalen unterscheiden, weisen die Erdempfänger gewöhnlicherweise eine Vielzahl von unterschiedlichen Goldcodequellen auf, um lokal Goldcodesequenzen zu erzeugen. Jede lokal abgeleitete Goldcodesequenz entspricht jeder einzigartigen Goldcodesequenz jedem der GPS-Satelliten.

[0016] Die lokal abgeleiteten Goldcodesequenzen und die übertragenen Goldcodesequenzen werden miteinander in Querbeziehung bzw. Kreuzkorrelation gebracht und zwar über Goldcodesequenzintervalle von einer Millisekunde. Die Phase der lokal abgeleiteten Goldcodesequenzen variiert auf einer Basis von Chip zu Chip und dann innerhalb eines Chips, bis die maximale Querbeziehungsfunction bzw. Kreuzkorrelationsfunktion erhalten wird. Da die Querbeziehung bzw. Kreuzkorrelation für zwei Goldcodesequenzen, die eine Länge von 1023 Bits hat, ungefähr 16 mal so groß ist, wie die Kreuzkorrelationsfunktion von irgendeiner der anderen Kombinationen der Goldcodesequenzen, ist es relativ einfach, die lokal abgeleitete Goldcodesequenz auf die gleiche Goldcodesequenz zu verriegeln, die von einem der GPS-Satelliten übertragen wurde.

[0017] Die Goldcodesequenzen von mindestens vier der GPS-Satelliten im Blickfeld eines Erdempfängers werden in dieser Weise unter Verwendung eines einzigen Kanals getrennt, der sequentiell auf jede der lokal abgeleiteten Goldcodesequenzen anspricht, oder alternativ durch Verwendung von parallelen Kanälen, die simultan auf die unterschiedlichen Goldcodesequenzen ansprechen. Nachdem vier lokal abgeleitete Goldcodesequenzen in einer Phase mit den Goldcodesequenzen verriegelt worden sind, die von vier GPS-Satelliten im Sichtfeld eines Erdempfängers empfangen wurden, kann die Relativposition des Erdempfängers mit einer Genauigkeit von ungefähr 60 bis 300 Metern bestimmt werden.

[0018] Die vorangegangene ungefähre Genauigkeit des NAVSTAR-GPS wird beeinflußt durch (1) die Anzahl der GPS-Satelliten, die Signale übertragen, auf die der Erdempfänger effektiv anspricht, (2) die variablen Amplituden der empfangenen Signale und (3) die Größe der Kreuzkorrelationsspitzen zwischen den empfangenen Signalen von den unterschiedlichen GPS-Satelliten.

[0019] Da mehrere PRN- bzw. Pseudozufallszahlsignale simultan beim Erdempfänger empfangen werden, existiert ein gemeinsames Zeitintervall, in dem einige der Codes in Konflikt kommen können. In anderen Worten bewirken die Codes eine Verschlechterung der Messungen der Ankunftszeit von jeder empfangenen Pseudozufallszahl, und zwar wegen den Kreuzkorrelationen zwischen empfangenen miteinander in Konflikt stehenden Signalen.

[0020] Die Ankunftszeitmessung für jedes PRN-Signal wird durch Bestimmung der Zeit einer Spitzenamplitude einer Kreuzkorrelation zwischen der Goldcodesequenz des empfangenen PRN-Signals und dem lokal abgeleiteten PRN-Signal vorgenommen. Wenn ein lokal abgeleitetes PRN-Signal über ein empfangenes PRN-Signal überlagert wird, wodurch die Durchschnittszeit ihrer Kreuzkorrelation vergrößert wird, sinkt der durchschnittliche Rauschbeitrag. Da jedoch Kreuzkorrelationsfehler zwischen den empfangenen PRN-Signalen periodisch sind, hat eine Vergrößerung der Durchschnittszeit genauso Vergrößerungen von sowohl dem Fehler-Signal als auch dem Kreuzkorrelationswert zwischen den empfangenen Pseudozufallszahlen zur Folge. Folglich werden Fehler bezüglich der Ankunftszeit der PRN-Signale nicht durch die Kreuzkorrelation reduziert.

[0021] Zusätzlich zum GPS ist in der herkömmlichen Technik bekannt, Trägheitssysteme bei Navigationssystemen zu verwenden, um eine Positionsabschätzung der Fahrzeuge zu erhalten. Eine solche Trägheitsreferenzeinheit (IRU = inertial reference unit) erhält spezielle Kraftmessungen von Beschleunigungsmessern in einem Referenzkoordinatenrahmen, der von Gyroskopen oder Gyrovorrichtungen stabilisiert wird. Eine Trägheitsreferenzeinheit kann von mehreren Bauarten sein, wie beispielsweise Laser, Mechanik oder Faseroptik. In einem nicht unterstützten Navigationssystem unter Verwendung einer Trägheitsreferenzeinheit wird die spezifische Kraft (korrigiert bezüglich der Effekte der Erdschwerkraft) wie von einem Beschleunigungsmesser gemessen, in eine mathematische Navigationsgleichung integriert, um die Geschwindigkeit und die Position des Fahrzeugs zu erzeugen.

[0022] Die Instrumentenmessungen der Trägheitsreferenzeinheit können in einem anderen rechteckigen Koordinatenrahmen als dem Referenznavigationsrahmen festgelegt werden, und zwar abhängig von der Plattformeinrichtung. Der am meisten verwendete Referenznavigationsrahmen für die Navigation nahe der Erdoberfläche ist der Lokalniveaurahmen (Breite-Länge-Vertikalposition). Mehrere Kardanplattformeinrichtungen existieren bei dem vorangegangenen Referenznavigationsrahmen.

[0023] Bei einer kardanartig aufgehängten die Nordrichtung suchenden Lokalniveauträgheitsreferenzeinheit werden die Gyroskope und Beschleunigungsmesser auf einer Plattform montiert, die verdreht wird, um das Plattformniveau und den Azimuth auf nordweisend zu halten. Die Plattform ist die Referenzebene. Im Gegensatz dazu wird bei einer kardanartig aufgehängten im Azimuth wandernden Lokalniveauträgheitsreferenzeinheit die Plattform auf dem Niveau gehalten, wird jedoch nicht um die Vertikalachse verdreht.

[0024] Weiterhin werden bei einer abgespeckten bzw. Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit die Gyroskope und Beschleunigungsmesser direkt auf dem Fahrzeugkörper montiert. Sie messen die Linear- und Winkelbewegung des Fahrzeugs relativ zum Trägheitsraum. Die Bewegung wird in Fahrzeugkoordinaten ausgedrückt. Daher ist es bei einer Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit nötig, zuerst die Höhe des Fahrzeugs zum Bezugsnavigationsrahmen zu berechnen. Dann wird die berechnete Höhe verwendet, um die Beschleunigungsmessungen in den Referenzrahmen zu transformieren. Nachdem die Beschleunigungsmessdaten einer Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit in dem Referenzrahmen extrapoliert worden sind, ist die Lösung der zuvor erwähnten Navigationsgleichungen identisch sowohl bei der kardanartig aufgehängten Trägheitsreferenzeinheit als auch bei der Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit.

[0025] Bei der Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit werden die Höhenberechnungen, die erforderlich sind, um die Beschleunigungsmessungen aufzulösen, mit einer hohen Rate ausgeführt. Die Berechnungen leiden unter numerischen Fehlern und zwar wegen der begrenzten Computerbitgröße und Durchgangsverfügbarkeit. Diese Berechnungsfehler hängen von dem Frequenzansprechen der Sensorschleife, von der Datenrate und der Auflösung und der Größe der Sensorausgangsgröße bei der Aufnahmezeit ab.

[0026] Jedoch erwachsen beträchtliche Vorteile aus der Verwendung der Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheit anstelle der kardanartig aufgehängten Trägheitsreferenzeinheit. Die Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheiten sind billiger. Darüber hinaus sind die Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheiten im allgemeinen bezüglich der physikalischen Größe kleiner. Somit kann das Potential zur Verwirklichung von Größen- und Kosteneinsparungen bei den Trägheitsreferenzeinheiten die Strap-Down-Trägheitsreferenzeinheiten sowohl für militärische als auch für kommerzielle Anwendungen attraktiv machen.

[0027] Die Leistung von Navigationssystemen, die Trägheitsreferenzeinheiten verwenden, ist in erster Linie durch Fehler begrenzt, die von den verschiedenen anteiligen Sensoren innerhalb der Trägheitsreferenzeinheiten beigetragen werden. Gyroskope zeigen einen Drift bzw. eine Abweichung. Beschleunigungsmesser haben innenwohnende Vorspannungen. Weitere Fehler werden von ungenauen Skalierungsfaktoren und ungenauen Trägheitsreferenzeinheitsausrichtungswinkeln beigetragen. Typischerweise bewirken die vorhergehenden Fehler Ungenauigkeiten bei den Abschätzungen der Fahrzeugpositionen, der Geschwindigkeit und der Höhe, die sich mit der Zeit ansammeln, wenn eine Fahrzeugmission voranschreitet. In gewissem Ausmaß hängen die Fehler von den dynamischen Vorgängen des Anwenders ab.

[0028] Wenn ein sehr genaues Navigationssystem für ein Fahrzeug erforderlich ist, können hochpräzise Gyroskope und Beschleunigungsmesser verwendet werden, um diese Notwendigkeit zu erfüllen. Jedoch steigern solche hochpräzisen Ausrüstungsgegenstände die Komplexität und die Kosten des Fahrzeugs.

[0029] EP-A-0181012 offenbart ein Fahrzeugpositionsabschätzungssystem, welches GPS- und Trägheitsnavigationssysteme kombiniert. IEEE Position Location and Navigation Symposium, 4.–7. November 1986 offen-

bart ein Trägheitsnavigationssystem im Vergleich mit dem GPS.

[0030] DE-A-3310111 offenbart ein Navigationssystem mit Drift- bzw. Abweichungskompensation. US-A-3630079 offenbart ein Navigationssystem, welches mehrere Sensoren und die Fehlerkorrektur verwendet.

[0031] Die Schrift GPS/PLRS Aided Inertial Land Navigation System Performance von S. Bose aus IEEE PLANS 86 POSITION LOCATION AND NAVIGATION SYMPOSIUM, 4. bis 7. November 1986, Las Vegas, USA, Seiten 496–504 offenbart ein computerbasiertes System zum autonomen Navigieren eines Fahrzeugs entlang eines vordefinierten Pfades.

[0032] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein computerbasiertes System zur autonomen Navigation eines Fahrzeugs entlang eines vorbestimmten Pfades vorgesehen, wobei das System folgendes aufweist:  
Erste Mittel zum Bestimmen eines Ortes des Fahrzeugs, wobei die ersten Mittel folgendes umfassen:  
ein erstes Positionsbestimmungssystem geeignet zum Vorsehen einer ersten Positionsabschätzung des Fahrzeugs basierend auf ersten Signalen von einem terrestrischen Positionsbestimmungssystem;  
ein zweites Positionsbestimmungssystem geeignet für das Vorsehen einer zweiten Positionsabschätzung des Fahrzeugs basierend auf zweiten Signalen, die erhalten werden von einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit, die am Fahrzeug montiert ist, und von einem Fahrzeuggtachometer bzw. Wegmesser; und  
ein Verarbeitungssystem geeignet für das Berechnen einer dritten Positionsabschätzung des Fahrzeugs aus der ersten Positionsabschätzung und der zweiten Positionsabschätzung; und  
zweite Mittel, um zu veranlassen, dass das Fahrzeug dem vorbestimmten Pfad folgt; dadurch gekennzeichnet, dass das System weiter folgendes aufweist:

dritte Mittel, um zu bewirken, dass das Fahrzeug Hindernisse detektiert und vermeidet, während es dem vorbestimmten Pfad folgt; und dass  
das Verarbeitungssystem einen gewichteten Kombinierer bzw. eine Vorrichtung zur gewichteten Kombination aufweist, die bei der Berechnung der dritten Positionsabschätzung des Fahrzeugs eingesetzt wird.

[0033] Die vorliegende Erfindung sieht auch ein computerbasiertes Verfahren vor, um autonom ein Fahrzeug entlang eines vordefinierten Pfades zu navigieren, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:  
Bestimmen eines Ortes des Fahrzeugs unter Nutzung eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems, einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit und eines Fahrzeuggtachometers bzw. Wegmessers;  
Bewirken, dass das Fahrzeug den vorbestimmten Pfad basierend auf dem Ort folgt; und  
Bewirken, dass das Fahrzeug Hindernisse detektiert und vermeidet, während es dem vorbestimmten Pfad folgt, gekennzeichnet dadurch, dass

der Ort durch Erzeugen eines Ortes mit einem gewichteten Kombinierer bzw. eine Vorrichtung zur gewichteten Kombination bestimmt wird, und zwar basierend auf einer Positionsabschätzung vom terrestrischen Positionsbestimmungssystem und einer Positionsabschätzung von einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit.

[0034] Die vorliegende Erfindung kann verwendet werden, um irgendeinem Navigationssystem für autonome Fahrzeuge zu helfen. Die autonomen Fahrzeuge können stationär oder beweglich sein. Darüber hinaus können die autonomen Fahrzeuge auf oder nahe der Erdoberfläche sein. Anders gesagt sieht die vorliegende Erfindung eine besonders genaue und schnelle Verfolgung von irgendeinem terrestrischen Fahrzeug vor. Sie sieht sowohl Vorrichtungen als auch Verfahren vor, die eine überlegene Positionsbestimmungsfähigkeit zulassen und folglich eine Möglichkeit zur flexiblen autonomen Navigation.

[0035] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden dem Fachmann bei der Durchsicht der folgenden Zeichnungen und der detaillierten Beschreibung offensichtlich. Es ist beabsichtigt, dass irgendwelche zusätzlichen Merkmale und Vorteile darin eingeschlossen seien.

[0036] Die vorliegende Erfindung, wie sie in den Ansprüchen definiert wird, ist besser mit Bezugnahme auf den Text und auf die folgenden Zeichnungen verständlich.

[0037] **Fig. 1** veranschaulicht ein Blockdiagramm des bevorzugten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;

[0038] **Fig. 1A** ist ein Blockdiagramm **100A** der in Betrieb befindlichen GPS-Satelliten beim NAVSTAR-GPS;

[0039] **Fig. 2** veranschaulicht vier gleichzeitige Navigationsgleichungen, die vier GPS-Satelliten des NAVSTAR-GPS betrachten bzw. behandeln;

[0040] **Fig. 3** ist ein Blockdiagramm einer typischen autonomen Arbeitsstelle bzw. Baustelle;

[0041] **Fig. 4** ist ein Blockdiagramm der Beziehungen zwischen einem Navigator, einer VPS- bzw. Fahrzeugpositionsbestimmungssystem-Architektur und Fahrzeugsteuerungen der vorliegenden Erfindung;

[0042] **Fig. 5** ist ein Blockdiagramm, welches die Elemente in einem autonomen Steuersystem veranschaulicht;

[0043] **Fig. 6** ist ein Blockdiagramm des Betriebs eines GPS;

[0044] **Fig. 7** ist ein Blockdiagramm eines GPS-Verarbeitungssystems des bevorzugten Ausführungsbeispiels;

[0045] **Fig. 8** ist ein Flußdiagramm des GPS-Verarbeitungssystems der **Fig. 7**;

- [0046] **Fig.** 9 ist ein Blockdiagramm eines MPS(Bewegungspositionssystems) und zwar einschließlich eines Odometers bzw. Wegmessers **902** und einer Trägheitsreferenzeinheit (IRU = inertial reference unit) **904**;
- [0047] **Fig.** 10 ist ein Blockdiagramm des VPS (Fahrzeugpositionsbestimmungssystems);
- [0048] **Fig.** 11 ist ein Blockdiagramm des VPS-Architektur der **Fig.** 10;
- [0049] **Fig.** 12 ist ein Blockdiagramm des VPS-Haupt-(I/O)-Prozessors der **Fig.** 10;
- [0050] **Fig.** 12A ist ein Blockdiagramm eines Super-Kalman-Filters des bevorzugten Ausführungsbeispiels;
- [0051] **Fig.** 13 ist ein Flußdiagramm des Konstellationseffektverfahrens;
- [0052] **Fig.** 14 ist eine Polar-Darstellung eines Koordinatensystems **1402**, welches einen Satz von berechneten geschätzten Pseudobereichen veranschaulicht;
- [0053] **Fig.** 15 ist ein Flußdiagramm einer Originalableitungstechnik;
- [0054] **Fig.** 16 ist ein Flußdiagramm einer parabolischen Ableitungstechnik;
- [0055] **Fig.** 17 ist ein Flußdiagramm einer Basisresiduen-Ableitungstechnik;
- [0056] **Fig.** 17A ist ein Flußdiagramm einer Basiskorrelationsableitungstechnik;
- [0057] **Fig.** 18 ist ein Flußdiagramm eines Verfahrens zur Vorhersage von zukünftigen Satellitenpositionen;
- [0058] **Fig.** 19 ist ein Flußdiagramm einer Technik für eine gewichtete Pfad- bzw. Weghistorie;
- [0059] **Fig.** 20 ist eine graphische Darstellung **2000** von ersten Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102** unter Verwendung des Verfahrens zur gewichteten Pfadhistorie der **Fig.** 19;
- [0060] **Fig.** 20A veranschaulicht ein Flußdiagramm der Technik mit gewichteter Pfadhistorie der **Fig.** 19 und 20; und
- [0061] **Fig.** 21 ist eine Darstellung von Fahrzeugroutendefinitionen;
- [0062] **Fig.** 22 ist ein Kontextdiagramm einer Pfadverfolgungsstruktur;
- [0063] **Fig.** 23A ist eine Darstellung eines auf einem Fahrzeug montierten Scanners **404**;
- [0064] **Fig.** 23B ist eine Darstellung eines autonomen Fahrzeugs, das nach einem Hindernis sucht bzw. scannt;
- [0065] **Fig.** 24 ist eine Darstellung eines autonomen Fahrzeugs, das Hindernisse vermeidet;

## I. Definitionen

- (1) "Absolute Position" bezieht sich im Zusammenhang mit diesem Dokument auf eine Position bezüglich dem Erdmittelpunkt. Im allgemeinen wird eine absolute Position in Bezug zu einem Fahrzeug oder einer Basisstation sein, sowohl auf als auch nahe der Erdoberfläche. Erste, zweite und dritte Positionsabschätzungen sind alle absoluten Positionen im bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.
- (2) "Tatsächlicher Pseudobereich" bedeutet eine Annäherung an die Distanz zwischen (1) einem Bezugspunkt und (2) einer Quelle eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems. In diesem Dokument beziehen sich die tatsächlichen Pseudobereiche gewöhnlicherweise auf eine Annäherung der Distanz zwischen (1) einem Erdempfänger und (2) GPS-Satelliten und/oder Pseudolitzen. Tatsächliche Pseudobereiche werden angenähert, indem man zuerst die Fortpflanzungszeitverzögerungen zwischen der Übertragung und dem Empfang der elektromagnetischen Signale misst, die aus den GPS-Satelliten und/oder Pseudolitzen herauskommen. Tatsächliche Pseudobereiche können leicht berechnet werden durch Multiplizieren der berechneten Zeitverzögerungen mit der Lichtgeschwindigkeit oder mit  $2,9979245898 \cdot 10^8$  m/s.
- (3) "Antiselektive Verfügbarkeit" bezieht sich auf ein Verfahren/eine Technik/einen Prozeß zum Detektieren und Kompensieren von korrupten bzw. zerstörten GPS-Daten im Grob/Such-(C/A-)Modulationsbetriebszustand.
- (4) "Autonom" wird in diesem Dokument im herkömmlichen Sinne verwendet. Es zeigt den Betrieb an, der entweder vollständig automatisch oder im wesentlichen automatisch oder ohne beträchtliches Einbeziehen eines Menschen im Betrieb ist. Im allgemeinen bedeutet ein autonomes Fahrzeug ein nicht bemanntes Fahrzeug im Betrieb oder ein Fahrzeug im Betrieb ohne einen menschlichen Fahrer oder Beifahrer. Jedoch kann ein autonomes Fahrzeug automatisch gefahren werden oder in anderer Weise betrieben werden und kann genauso einen (mehrere) menschlichen (menschliche) Passagiere haben.
- (5) "Basiskorrelationsableitung" bedeutet eine räumliche Ableitung, die gemäß des Flußdiagrammes **1700A** der **Fig.** 17A abgeleitet wurde.
- (6) "Basiskorrelationsableitungstechnik" meint ein Verfahren/Prozeß zur Berechnung der Basiskorrelationsableitungen.
- (7) "Abgeschätzte Basisposition" oder "BEP" bezieht sich auf die relative Position der Basisstation mit Bezug auf ein Fahrzeug. Die abgeschätzte Basisposition wird in der Basiskorrelationsableitungstechnik verwendet.
- (8) "Bekannte Basisposition" oder "BKP" ist die absolute Position der Basisstation (verwendet als Referenzpunkt) die bekannt ist. Die bekannte Basisposition kann selbst eine Abschätzung sein, die von irgendeinem genauen Positionsbestimmungssystem abgeleitet wird. Es wird angenommen, daß die bekannte Basisposition eine genauere Abschätzung der absoluten Position der Basisstation als irgendeine andere Positionsabschätzung ist.
- (9) "Basispositionsabschätzung" bedeutet die Abschätzung der absoluten Position der Basisstation, wie sie

von dem GPS-Verarbeitungssystem innerhalb des Host-Verarbeitungssystems abgeleitet wurde. Die Basispositionsabschätzung ist im wesentlichen ähnlich wie die erste Positionsabschätzung, die von dem GPS-Verarbeitungssystem in dem Fahrzeug abgeleitet wurde. Die Basispositionsabschätzung wird in der Basisresidueableitungstechnik berechnet.

(10) "Basisresidueableitung" bedeutet eine räumliche Ableitung, die die effektive Differenz der bekannten Basisposition (BKP) der Basisstation und der Positionsabschätzung der Basisstation ist, die von dem Host-Verarbeitungssystem berechnet wird.

(11) "Basisresidueableitungstechnik" bezieht sich auf ein Verfahren zur Ableitung von Basisresidueableitungen.

(12) "Ableitung" ("Bias") bezieht sich auf eine Differenz zwischen zwei Messungen, gewöhnlicherweise Positionsabschätzungen (räumliche Ableitungen) oder Clock- bzw. Takt-Raten (Clock-Ableitung bzw. Clock-Bias). Da bekannt ist, daß eine Messung gewöhnlicherweise genauer ist als die andere, wird die Ableitung oft als "Fehler" bezeichnet.

(13) "Taktableitung" (Clock-Ableitung) bedeutet die Differenz der Taktzeiten zwischen (1) der Übertragungsschaltung der GPS-Satelliten und/oder GPS-Pseudoliten und (2) der Aufnahmeschaltung eines Erdempfängers. Wenn man eine Taktableitung in der Berechnung einer räumlichen Ableitung verwendet, wird die Taktableitung mit der Lichtgeschwindigkeit oder mit  $2,998 \cdot 10^8$  Metern pro Sekunde multipliziert. Folglich wird die Taktableitung in Längeneinheiten umgewandelt.

(14) "Konstellation" bezieht sich auf eine Gruppe, die aus GPS-Satelliten und/oder Pseudoliten besteht, deren Signale verwendet werden, um eine absolute Positionsabschätzung des Punktes auf oder nahe der Erdoberfläche abzuleiten. Siehe unten "optimale Konstellation".

(15) "Konstellationseffektverfahren" meint eine Technik oder einen Prozess, wodurch eine optimale Konstellation von GPS-Satelliten aus einer größeren Gruppe von GPS-Satelliten im Sichtfeld eines Fahrzeuges ausgewählt wird.

(16) "Datenfunk" bezieht sich auf einen Sender, Empfänger, Sender/Empfänger oder irgendeine Kombination davon zur Übertragung von Daten bei Funkfrequenzen (RF = Radiofrequenzen).

(17) "Erdempfänger" bezieht sich auf irgendeine Einrichtung oder Vorrichtung oder irgendeinen Teil davon, der Signale von einem GPS und/oder Pseudoliten empfängt und verarbeitet. Erdempfänger können auf oder nahe der Erdoberfläche gelegen sein. Darüber hinaus können Erdempfänger beispielsweise die Form eines Fahrzeugs oder einer Basisstation annehmen.

(18) "Abgeschätzter Pseudobereich" bezieht sich auf die Annäherung der Distanz zwischen (1) einem Referenzpunkt und (2) einer Quelle eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems. In dieser Schrift beziehen sich die aktuellen Pseudobereiche gewöhnlicherweise auf eine Annäherung der Distanz zwischen (1) einem Erdempfänger und (2) GPS-Satelliten und/oder Pseudoliten. Abgeschätzte Pseudobereiche werden aus GPS-Daten berechnet, die in den elektromagnetischen Signalen kodiert sind, die von den GPS-Satelliten und/oder den Pseudoliten übertragen werden. Almanachgleichungen zur Berechnung von abgeschätzten Pseudobereichen aus den GPS-Daten des NAVSTAR-GPS sind öffentlich verfügbar.

(19) "Erste Positionsabschätzung" oder "FPE" oder "FPE (i)" (FPE = first position estimate) bezieht sich auf eine abgeschätzte absolute Position von irgendeinem Fahrzeug, die in irgendeiner Form aus dem GPS ausgegeben wird. Die erste Positionsabschätzung und die zweite Positionsabschätzung werden in der vorliegenden Erfindung unabhängig abgeleitet. Darauf folgend werden diese Abschätzungen kombiniert und gefiltert, um eine dritte Positionsabschätzung abzuleiten. Folglich beeinflußt die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung die Genauigkeit der dritten Positionsabschätzung.

(20) "GLONASS-GPS" bezieht sich auf das GPS, welches von der USSR konstruiert worden ist und gegenwärtig von ihr eingesetzt wird.

(21) "Globales Positionsbestimmungssystem" oder "GPS" ist eine Art eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems. Bei einem GPS wird eine Anzahl von Satelliten in einer Umlaufbahn um den Planeten Erde angeordnet. Die GPS-Satelliten sind ausgelegt, um elektromagnetische Signale zu senden. Aus diesen elektromagnetischen Signalen kann die absolute terrestrische Position (Position mit Bezug auf den Erdmittelpunkt) von irgendeinem Empfänger auf oder nahe der Erdoberfläche ultimativ bestimmt werden. Die US-Regierung hat ihr GPS "NAVSTAR" genannt. Die Regierung der USSR hat ihr GPS "GLONASS" genannt.

(22) "GPS-Daten" bedeutet alle Daten, die auf Signalen codiert wurden, die von GPS-Satelliten eines GPS übertragen wurden. GPS-Daten weisen beispielsweise Ephemeridendaten und Zeitdaten auf.

(23) "GPS-Verarbeitungssystem" bezieht sich auf das System der vorliegenden Erfindung zur Aufnahme von Signalen von einem terrestrischen Positionsbestimmungssystem und zur Ableitung von ersten Positionsabschätzungen von Fahrzeugen aus den aufgenommenen Signalen. Das GPS-Verarbeitungssystem nimmt im bevorzugten Ausführungsbeispiel elektromagnetische Signale von den GPS-Satelliten eines GPS und/oder von Pseudoliten auf.

(24) "Host-Verarbeitungssystem" bezieht sich auf ein Computersystem, das an der Basisstation zur Ausführung von Verfahren und Techniken arbeitet, die die Genauigkeit der Positionsabschätzungen der Fahrzeuge

verbessern. Daten, die aus diesen Verfahren und Techniken abgeleitet werden, werden zu Fahrzeugen übertragen, so daß die Fahrzeuge die Daten verwenden können, wenn sie erste, zweite und dritte Positionsabschätzungen berechnen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Architektur/Hardware (Komponenten) des Host-Verarbeitungssystems im wesentlichen ähnlich der Architektur/Hardware des Fahrzeugpositionsbestimmungssystems.

(25) "Trägheitsreferenzeinheit" oder "IRU" (IRU = inertial reference unit) bezieht sich auf ein System, gewöhnlicherweise an Bord eines Fahrzeuges, um der Ableitung einer zweiten Positionsabschätzung des Fahrzeuges beizuhelfen. Eine Trägheitsreferenzeinheit erhält spezifische Kraftmessungen von Beschleunigungsmessern in einem Referenzkoordinatenrahmen, der von Gyroskopen oder Gyroskopmitteln stabilisiert wird. Eine Trägheitsreferenzeinheit kann von einer Laserbauart oder von einer mechanischen Bauart sein. In einem nicht unterstützten Navigationssystem, welches eine Trägheitsreferenzeinheit verwendet, wird die spezifische Kraft (korrigiert bezüglich der Effekte der Erdschwerkraft) wie von dem Beschleunigungsmesser gemessen, in eine mathematische Navigationsgleichung integriert, um die Fahrzeugposition und -geschwindigkeit zu erzeugen. Die Trägheitsreferenzeinheit ist im bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Teil des Bewegungspositionsbestimmungssystems.

(26) "Kalmanfilter" wird im herkömmlichen Sinne verwendet. Dies bezieht sich auf ein Softwareprogramm zum herausfiltern von Rauschen oder Fehlern in den Daten. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird ein GPS-Kalman-Filter verwendet, um Rauschen oder Fehler im GPS-Verarbeitungssystem herauszufiltern, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen zu verbessern. Es wird auch ein VPS- bzw. Fahrzeugpositionsbestimmungs-Kalman-Filter verwendet, um das Rauschen in dem Fahrzeugspositionsbestimmungssystem herauszufiltern, um die Genauigkeit der zweiten Positionsabschätzungen zu verbessern.

(27) "Bewegungspositionsbestimmungssystem" oder "MPS" (MPS = motion positioning system) bedeutet ein System, welches zumindest eine Trägheitsreferenzeinheit und einen Fahrzeugwegmesser aufweist. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel leitet das Bewegungspositionsbestimmungssystem die zweite Positionsabschätzung von irgendeinem Fahrzeug auf oder nahe der Erdoberfläche ab. Darüber hinaus muß ein Bewegungspositionsbestimmungssystem nicht an der Basisstation vorhanden sein und zwar aufgrund ihrer statio-nären Natur.

(28) "Optimale Konstellation" bedeutet eine Satellitenkonstellation, bei der die Relativpositionen der GPS-Satelliten im Raum überlegene Triangulationsfähigkeiten erfordert, um die genaueste Abschätzung eines Punktes auf oder nahe der Erdoberfläche abzuleiten.

(29) "Ursprüngliche Ableitung" bedeutet eine räumliche Ableitung, berechnet durch Subtrahieren von sowohl abgeschätzten Pseudobereichen als auch Taktableitungen (in Längeneinheiten) von den tatsächlichen Pseu-dobereichen. Taktableitungen werden in Längeneinheiten umgewandelt, indem man sie mit der Lichtgeschwin-digkeit oder mit  $2,9979245898 \times 10^8$  Metern pro Sekunde multipliziert.

(30) "Technik der ursprünglichen Ableitung" ist ein Verfahren zur Berechnung der ursprünglichen Ableitungen.

(31) "NAVSTAR-GPS" bedeutet das GPS, welches von der US-Regierung konstruiert worden ist und gegen-wärtig von dieser eingesetzt wird.

(32) "Navigationssystem" bezieht sich auf irgendwelche Systeme und/oder Verfahren zum Leiten eines Fahr-zeuges auf oder nahe der Erdoberfläche. Die Navigatiohssysteme können an Bord eines Fahrzeugs sein. Das Fahrzeugpositionsbestimmungssystem der vorliegenden Erfindung kann das Navigationssystem des Fahr-zeugs mit einer sehr genauen dritten Positionsabschätzung des Fahrzeugs versorgen, so daß das Navigati-onssystem dadurch präzise das Fahrzeug führen kann.

(33) "Parabolische Ableitung" ist eine räumliche Ableitung, die durch den Aufbau von parabolischen Modellen für die tatsächlichen Pseudobereiche von jedem beobachteten GPS-Satelliten berechnet wird, und durch Ex-trapolieren von Werten aus den parabolischen Modellen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die para-bolischen Ableitungen die tatsächlichen Pseudobereiche abzüglich dem Wert, der aus den konstruierten para-bolischen Modellen extrapoliert wurde, und abzüglich den Taktableitungen (in Längeneinheiten durch Multipli-zieren mit der Lichtgeschwindigkeit).

(34) "Parabolische Ableitungstechnik" ist ein Verfahren zur Berechnung von parabolischen Ableitungen von je-dem der GPS-Satelliten, die verwendet werden.

(35) "Bevorzugtes Ausführungsbeispiel" bezieht sich auf den besten Weg zur Einrichtung der vorliegenden Er-findung. Das bevorzugte Ausführungsbeispiel ist nur beispielhaft. Die vorliegende Erfindung sollte nicht so in-terpretiert werden, daß sie auf das bevorzugte Ausführungsbeispiel eingeschränkt ist.

(36) "Pseudolit" bezieht sich auf ein Strahlungssystem oder Sendesystem auf oder nahe der Erdoberfläche zur Emulation eines GPS-Satelliten. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel werden elektromagnetische Signale, ähnlich jenen von den GPS-Satelliten, von landbasierten Pseudoliten übertragen. Einer oder mehrere Pseu-doliten können verwendet werden, um GPS-Satelliten zu emulieren, um die Berechnung der ersten Positions-abschätzungen zu verbessern.

(37) "Pseudolitendaten" bedeutet alle Daten, die in Signalen kodiert sind, die von den Pseudoliten aufgenom-men wurden. Die Pseudolitendaten ähneln den GPS-Daten in vieler Hinsicht und weisen ähnliche Informatio-

nen auf.

(38) "Pseudobereich" meint die Distanz zwischen einer Quelle eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems und einem Punkt auf oder nahe der Erdoberfläche. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel können die Quellen GPS-Satelliten und/oder Pseudoliten sein. Das terrestrische Positionsbestimmungssystem kann ein GPS sein, das mit Pseudoliten verwendet wird, falls vorhanden. Weiterhin kann der Punkt auf oder nahe der Erdoberfläche die Basisstation und/oder Fahrzeuge sein.

(39) "Satellitenpositionsvorhersage" ist ein Verfahren zur Bestimmung der zukünftigen Positionen der GPS-Satelliten. Das Verfahren gestattet die vorzeitige Auswahl von optimalen Konstellationen.

(40) "Zweite Positionsabschätzung" oder "SPE" (SPE = second position estimate) bezieht sich auf eine abgeschätzte absolute Position von irgendeinem Fahrzeug, die in irgendeiner Form vom Bewegungspositionsbestimmungssystem bzw. MPS ausgegeben wurde. Die zweiten Positionsabschätzungen weisen mindestens eine Positionsinformation von einer Trägheitsreferenzeinheit auf. Die zweite Positionsabschätzung könnte Positionsinformationen von einem Fahrzeugwegmesser aufweisen, der auf einem Fahrzeug gelegen ist.

(41) "Räumliche Ableitung" bezieht sich auf eine Ableitung, die sich auf Annäherungen der Positionen in einem zweidimensionalen oder dreidimensionalen Raum bezieht. Räumliche Ableitungen werden verwendet, um eine Positionsabschätzung zu versetzen (offset) um die Genauigkeit der Positionsabschätzung zu verbessern. Räumliche Ableitungen können durch eine Anzahl von unterschiedlichen Verfahren der vorliegenden Erfindung berechnet werden. Bei diesen Verfahren sind beispielsweise eine Originalableitungstechnik **1500**, eine parabolische Ableitungstechnik **1600**, eine Basisresiduenableiturgstechnik **1700** und eine Basiskorrelationsableitungstechnik **1700A** eingeschlossen.

(42) "System" wird für den Zweck verwendet, eine Vorrichtung, ein Verfahren oder eine Kombination von sowohl einer Vorrichtung als auch einem Verfahren zu bedeuten. Darüber hinaus könnte es Programme, Hardware bzw. Komponenten oder eine Kombination aus Hardware und Programmen aufweisen.

(43) "Positionsbestimmungssystem" bedeutet irgendein System mit Quellen, die Signale ausstrahlen, die von einem Empfänger der Signale verwendet werden können, um die relative Distanz zwischen den Quellen und dem Empfänger abzuschätzen. Die Signale können beispielsweise in Form von elektromagnetischen Wellen, Percussionswellen und/oder Schallwellen sein.

(44) "Terrestrisches Positionsbestimmungssystem" bedeutet irgendein Positionsbestimmungssystem, welches verwendet werden kann, um ultimativ die terrestrische Position eines Erdempfängers abzuschätzen. Die Signale können beispielsweise in Form von elektromagnetischen Wellen, Percussionswellen und/oder Schallwellen sein. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das terrestrische Positionsbestimmungssystem das NAVSTAR-GPS.

(45) "Dritte Positionsabschätzung" oder "TPE" (TPE = third position estimate) bezieht sich auf eine abgeschätzte absolute Position von irgendeinem Fahrzeug, die in irgendeiner Form vom Fahrzeugpositionsbestimmungssystem ausgegeben wurde. Die dritten Positionsabschätzungen sind genauere Positionsabschätzungen der Fahrzeugpositionen im Vergleich zu den ersten und zweiten Positionsabschätzungen. Die dritte Position wird von den ersten und zweiten Positionsabschätzungen durch das VPS-Verarbeitungssystem abgeleitet.

(46) "Fahrzeug" bedeutet irgendeinen Träger zum Transport von physischen Dingen. Fahrzeuge können die Form von Bergbaulastwagen, Baulastwagen, Farmtraktoren, Automobilen, Schiffen, Booten, Eisenbahnen, Ballons, Raketen oder Flugzeugen annehmen. Ein 785 Geländelastwagen von Caterpillar Inc. kann verwendet.

(47) "Fahrzeugpositionsbestimmungssystem" oder "VPS" (VPS = vehicle positioning system) bezieht sich auf das System der vorliegenden Erfindung zum Ableiten von Positionsabschätzungen von irgendeinem Fahrzeug. Die Positionsabschätzungen von dem Fahrzeugpositionsbestimmungssystem sind extrem genau und können von einem Navigationssystem auf irgendeinem Fahrzeug verwendet werden, um das Fahrzeug genau zu führen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel werden Positionsabschätzungen von dem Fahrzeugpositionsbestimmungssystem als dritte Positionsabschätzungen bezeichnet.

(48) "VPS-Verarbeitungssystem" bedeutet das Verarbeitungssystem des Fahrzeugpositionsbestimmungssystems bzw. des VPS. Das VPS-Verarbeitungssystem leitet dritte Positionsabschätzungen von den ersten und zweiten Positionsabschätzungen ab. Die Architektur ist in den **Fig. 10** und **11** abgebildet.

(49) "Gewichtete Kombination" bezieht sich auf ein spezielles Softwareprogramm, das Daten verarbeitet. Die eingegebenen Daten werden einem vorbestimmten Gewichtungsfaktor zugeordnet, und zwar basierend auf der abgeschätzten Genauigkeit der Daten und der Technik, die verwendet wird, um die Daten zu sammeln. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die erste Positionsabschätzung des GPS-Signals **716** beispielsweise schwerer gewichtet als die zweite Positionsabschätzung des Trägheitsreferenzeinheitssignals **910**, da ersteres inhärent genauer ist. Weiterhin kann die Geschwindigkeit, die von der Trägheitsreferenzeinheit gemessen wurde, schwerer gewichtet werden, als die Geschwindigkeit, die von dem GPS-Verarbeitungssystem gemessen wird, da erstere genauer ist. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Geschwindigkeit, die von dem GPS-Verarbeitungssystem gemessen wird, überhaupt nicht verwendet, könnte jedoch in anderen Aufbauten verwendet werden.

(50) "Technik der gewichteten Pfadhistorie" ist ein Verfahren oder ein Prozeß zur Steigerung der Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen, die aus dem GPS-Verarbeitungssystem ausgegeben werden. Die Technik verwendet frühere erste Positionsabschätzungen, um ein Fahrzeugpfadmodell abzuleiten, um die Gültigkeit der zukünftigen ersten Positionsabschätzungen zu testen. Die Anwendung der Technik der gewichteten Pfadhistorie hat eine Verringerung des Wanderns der ersten Positionsabschätzungen und eine verbesserte Immunität gegenüber falschen Positions berechnungen zur Folge.

## II. Allgemeiner Überblick

[0066] **Fig. 1** veranschaulicht ein High-Level-Blockdiagramm **100** des bevorzugten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung. Um den genauen autonomen Betrieb eines Fahrzeugs **102** auf oder nahe der Erdoberfläche vorzusehen, weist die vorliegende Erfindung sowohl ein Fahrzeugpositionierungssystem (VPS = vehicle positioning system) **1000** als auch ein Navigationssystem **1022** auf. Diese beiden Systeme weisen eine Vorrichtung, Verfahren und Techniken auf, die, wenn sie zusammen integriert sind, eine hochgenaue Steuerung von unbemannten Fahrzeugen vorsehen.

### A. Fahrzeugpositionsbestimmungssystem (VPS)

[0067] Die Aufgabe, das autonome Fahrzeug **102** entlang eines vorbeschriebenen Pfades zu führen, erfordert u. a. eine genaue Schätzung der augenblicklichen bzw. laufenden bzw. Ist-Fahrzeugposition, relativ zu einem Referenzpunkt. Sobald die laufende bzw. Ist-Position bekannt ist, kann das Fahrzeug **102** angewiesen werden, zu seiner nächsten Bestimmung voranzugehen bzw. zu fahren.

[0068] Unter Verwendung der VPS **1000** der vorliegenden Erfindung können Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102** mit extremer Genauigkeit bestimmt werden. Das VPS **1000** empfängt GPS-Daten von GPS-Satelliten **104** von einem GPS, wie beispielsweise dem NAVSTAR-GPS oder dem GLONASS GPS.

[0069] **Fig. 1A** veranschaulicht das NAVSTAR-GPS. GPS-Satelliten **130–168** laufen um die Erde **172** in sechs Orbitalen bzw. Umlaufbahnen **174–184**.

[0070] Mit Bezug auf **Fig. 1** kann das VPS **1000** auch Pseudolitendaten von Pseudolit(en) **105** empfangen. Der Ausdruck "Pseudolit" im Zusammenhang mit diesem Dokument bedeutet eine strahlungsaussendende bzw. strahlende Vorrichtung auf oder nahe der Erdoberfläche, um einen GPS-Satelliten zu emulieren bzw. nachzubilden.

[0071] Aus den GPS-Daten und/oder den Pseudolitendaten leitet das VPS **1000** genaue Schätzungen der Position des Fahrzeugs **102** ab. Die GPS-Daten und/oder die Pseudolitendaten werden signifikant über zahlreiche erfindungsgemäße Techniken und Verfahren der vorliegenden Erfindung verbessert bzw. verstärkt, um die Genauigkeit der Fahrzeugpositionsabschätzung zu verbessern.

[0072] Insbesondere ist das VPS **1000** des bevorzugten Ausführungsbeispiels ein Positionierungs- bzw. Positionsbestimmungssystem, basierend auf der Verwendung bzw. dem Einschluß von GPS-Daten vom NAVSTAR-GPS **104** und von einem Bewegungspositionierungs- bzw. Bewegungspositionsbestimmungssystem **900**. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist das Bewegungspositionierungssystem **900** eine Trägheitsreferenzeinheit (IRU = inertial reference unit) **904** und/oder ein Fahrzeugodometer bzw. -wegmesser **902** auf. Die IRU **904** weist ein oder mehrere Lasergyroskope **106** und einen oder mehrere Beschleunigungsmesser **108** auf, die verwendet werden können, um die Position, die Geschwindigkeit, die Querneigung bzw. Rollneigung, die Höhe und die Gierungs- bzw. Neigungsdaten zu erzeugen. Der Fahrzeugswegmesser **902** erzeugt Daten über die vom Fahrzeug **102** gelaufene Distanz.

[0073] Eine erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** wird durch das GPS-Verarbeitungssystem **700** von den GPS-Daten abgeleitet, die von den GPS-Satelliten **104** und von den Pseudolitendaten empfangen werden, die von dem (den) Pseudolit(en) **105** empfangen werden. Um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung zu vergrößern, implementiert bzw. verwendet die vorliegende Erfindung eine Anzahl von Verfahren, die unten im Detail besprochen werden. Zusätzlich wird eine zweite Positionsabschätzung durch den MPS-Kommunikationsprozessor **906** des Bewegungspositionssystems **900** abgeleitet, welches die IRU **904** und/oder den Fahrzeugswegmesser **902** aufweist.

[0074] Wie durch die jeweiligen Pfeile **112** und **114** gezeigt, werden die erste Positionsabschätzung und die zweite Positionsabschätzung dann durch ein VPS-Verarbeitungssystem **116** kombiniert und gefiltert. Das Ergebnis, wie durch einen Ausgabepfeil **118** gezeigt, ist eine genauere dritte Positionsabschätzung.

### B. Navigationssystem

[0075] Das Navigationssystem **1022** empfängt die dritte Positionsabschätzung vom VPS **1000**. Das Navigationssystem **1022** verwendet die präzise dritte Positionsabschätzung, um das Fahrzeug **102** genau zu navigieren. Ein primärer Zweck des Navigationssystems **1022** ist es, das Fahrzeug **102** zwischen Punkten entlang

eines vorbestimmten oder dynamisch erzeugten Pfades zu führen.

[0076] Das Navigationssystem **1022** kann im Fahrzeug **102** selbst gelegen sein. In anderen Worten ist es im wesentlichen ein "On-Board"- bzw. an Bord befindliches System. Darüberhinaus kann das Navigationssystem **1022** ausgelegt bzw. konstruiert sein, um in dem Fahrzeug **102** nachgerüstet zu werden.

[0077] So daß das Navigationssystem **1022** das Fahrzeug **102** führen kann, um voreingestellten oder dynamisch erzeugten Pfaden zu folgen, werden verschiedene Modelle oder konzeptionelle Darstellungen erzeugt und verwendet. Beispielsweise können Linien und Kurven bzw. Bögen verwendet werden, um Fahrzeugpfade zwischen Objektpunkten einzurichten. Mathematische B-Splines oder Clothoidkurven können verwendet werden, um den tatsächlichen Pfad bzw. Weg zu modellieren, wo das Fahrzeug **102** navigieren muß.

[0078] Die Verwendung der obigen Modellierungs- oder Darstellungstechniken sieht verbesserte Datenkommunikationen, -speicherung und -behandlung des Fahrzeugs **102** vor. Die Techniken gestatten weiter eine Vereinfachung der Überwachungsaufgaben durch das Vorsehen einer Hierarchie von Steuerung und Kommunikation. Je höher ein Steuerpegel im hierarchischen Steuerschema existiert, desto einfacher ist die Aufgabe und desto kompakter sind die Befehle.

[0079] Das Navigationssystem **1022** sieht weiterhin die Steuerung der mechanischen Systeme des Fahrzeugs vor, wie beispielsweise Bremsen, Lenkung und Motor und Getriebe, um die notwendigen physikalischen Vorgänge bzw. Handlungen vorzunehmen, die erforderlich sind, um das Fahrzeug **102** zu bewegen, zu stoppen und zu lenken.

[0080] Das Navigationssystem **1022** überprüft auch die tatsächliche bzw. Ist-Position des Fahrzeugs **102** gegen die gewünschte bzw. Soll-Position, um die Fahrzeugsteuerung gemäß der gewünschten Position zu korrigieren. Das Navigationssystem **1022** kann Mehrfach-Status-Modelle bzw. Mehrzustandsmodelle laufen lassen, um diese Überprüfungsfähigkeit zu verbessern. Das Navigationssystem **1022** überprüft auch Fehler oder Versagen im System selbst und in Fahrzeugkomponenten. Wenn Fehler oder Versagen detektiert bzw. ermittelt werden, kann das Navigationssystem **1022** für einen versagenssicheren Shutdown bzw. Systemabschluß sorgen, und zwar dadurch, daß es das Fahrzeug **102** zu einem vollständigen Stop bringt.

[0081] Das Navigationssystem **1022** sieht weiter verschiedene Betriebszustände zum Steuern des Fahrzeugs **102** vor. Diese weisen folgende auf: (1) Einen vollständig autonomen bzw. automatischen Modus, wo die Navigation des Fahrzeugs **102** automatisch durch das Navigationssystem **1022** behandelt wird; (2) einen Tele- oder Remote-Steuерmodus, wo ein entfernter menschlicher (nicht gezeigter) Bediener die Richtung und Bewegung usw. des Fahrzeugs **102** steuern kann; und (3) einen manuellen Modus, bei dem ein menschlicher Bediener, der im Fahrzeug **102** sitzt, die Steuerung des Fahrzeugs **102** übernehmen kann und es manuell fahren kann.

[0082] Im autonomen Modus ist die Hindernisdetection kritisch, da, wenn das Fahrzeug **102** nicht unter Kontrolle bzw. Steuerung ist, es großen Sachschaden und starke Verletzungen von Lebewesen erzeugen könnte. Das Navigationssystem **1022** kann effizient bzw. wirkungsvoll Hindernisse detektieren. Steine, Tiere, Menschen, Bäume oder andere Hindernisse können unerwartet in den Pfad bzw. Weg des Fahrzeugs **102** eintreten. Das Navigationssystem **1022** ist fähig, diese Hindernisse zu detektieren, und zwar entweder durch Stoppen oder durch das Ziehen bzw. Entwerfen eines Pfades um das Hindernis herum und durch Zurückbringen des Fahrzeugs **102** auf seinen Originalweg, wenn der Weg als sicher angesehen wird.

[0083] Eine genaue Verfolgung des gewünschten bzw. Soll-Wegs bzw. der Soll-Route ist eine weitere Funktion des Navigationssystems **1022**. Das Funktionieren und die Architektur des Navigationssystems **1022** ist für eine Echtzeitverfolgung der Fahrzeugpfade ausgelegt bzw. konstruiert worden, und zwar bei Geschwindigkeit bis zu ungefähr 30 Meilen pro Stunde (mph).

### C. Basisstation

[0084] Das beispielhafte System kann ein Host- bzw. Hauptverarbeitungssystem **186** in einer Basisstation **188** aufweisen. Das Host-Verarbeitungssystem **186** führt Funktionen für sowohl das VPS **1000** als auch für das Navigationssystem **1022** aus.

[0085] Mit Bezug auf das VPS **1000** empfängt das Host-Verarbeitungssystem **186** GPS-Daten und/oder Pseudolitendaten, wie durch die jeweiligen Pfeile **190** und **192** gezeigt. Im Endeffekt kann das Host-Verarbeitungssystem **186** genauso wie die Basisstation **188** als ein bekannter Referenzpunkt funktionieren, um die Genauigkeit der Fahrzeugpositionsabschätzungen zu verbessern, wie unten im Detail besprochen.

[0086] Das Host-Verarbeitungssystem **186** implementiert eine Anzahl von Verfahren zum Verbessern der Genauigkeit der Fahrzeugpositionsabschätzungen. Das Satellitenpositionsvorhersageverfahren **1800**, welches oben besprochen wurde, wird auch durch das Host-Verarbeitungssystem **186** implementiert bzw. eingerichtet. Das Host-Verarbeitungssystem **186** wird die gleiche Satellitenkonstellation erkennen, die vom Fahrzeug **102** beobachtet wird.

[0087] Berechnungen werden an den GPS-Daten und/oder den Pseudolitendaten ausgeführt, um Auslenkungen bzw. Ableitungen (biases) abzuleiten. Der Ausdruck "Ableitung" ("bias") im Zusammenhang mit diesem

Dokument bezieht sich auf eine Differenz bzw. einen Unterschied zwischen zwei Messungen, gewöhnlicherweise Positionsabschätzungen (räumliche Ableitung) oder Clock- bzw. Taktraten (Taktableitung). Weil eine Messung gewöhnlicherweise als genauer bekannt ist als die andere, wird auf die Ableitung bzw. den Bias oft als ein "Fehler" ("error") Bezug genommen.

[0088] Um räumliche Ableitungen zu berechnen, implementiert das Host-Verarbeitungssystem **186** eine Anzahl von Verfahren. Unter diesen Verfahren sind beispielsweise folgende vorgesehen: Eine originale Ableitungstechnik **1500**, eine parabolische Ableitungstechnik **1600**, eine Basisresiduen-Ableitungstechnik **1700** und eine Basiskorrelations-Ableitungstechnik **1700A**.

[0089] Die vorangegangenen Differential- bzw. Differenzkorrekturtechniken kompensieren Datenfehler. In anderen Worten zeigen die Ableitungen bzw. Biases, die im Host-Verarbeitungssystem **186** berechnet werden, Datenfehler an. Wie durch einen Pfeil **194** gezeigt, werden die Ableitungen zum GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** übertragen. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** verwendet diese Biases bzw. Ableitungen, um Fehler in den Fahrzeugpositionsabschätzungen zu eliminieren.

[0090] Das Host-Verarbeitungssystem **186** sieht weiter Funktionen vor, die sich auf das Navigationssystem **1022** beziehen. Das Host-Verarbeitungssystem **186** dient als das höchste Steuerniveau des Navigationssystems **1022**, wie durch einen Pfeil **196** angezeigt. Es behandelt die Zeitplanung und -einteilung des Fahrzeugs **102** mit genau den gleichen Ergebnissen wie ein menschlicher Fahrdienstleiter bzw. Einteiler erreichen würde. Folglich kann das Host-Verarbeitungssystem **186** dadurch den Arbeitszyklus des Fahrzeugs **102** bestimmen.

[0091] Das Host-Verarbeitungssystem **186** befiehlt dem Fahrzeug **102**, aus einer laufenden bzw. Ist-Position in eine zukünftige bzw. Soll-Position voranzuschreiten bzw. zu fahren, und zwar über eine festgelegte Route, so daß das Fahrzeug **102** seine Arbeitsziele durchführen kann. Das Host-Verarbeitungssystem **186** kann die Fahrzeugrouten durch den Namen festlegen, anstelle durch Auflisten eines jeden Punktes entlang der Route, wie es in herkömmlicher Weise der Fall ist. Dementsprechend schaut das an Bord gelegene Navigationssystem **1022** des Fahrzeugs die benannte Fahrzeugroute nach und überträgt die benannte Fahrzeugroute in Sätze von Knoten und Segmenten entlang der genannten Fahrzeugroute.

### III. Fahrzeugpositionsbestimmungssystem

#### A. Überblick

[0092] Die folgende Besprechung mit Bezug auf das VPS **1000** wird insbesondere Bezug auf die **Fig. 7** bis **21** nehmen. Die **Fig. 10** und **11** zeigen die Architektur/Hardware des VPS **1000**. Das VPS **1000** ist ein hochgenaues Positionsbestimmungssystem, für ein sich bewegendes oder stationäres Fahrzeug **102** auf oder nahe der Erdoberfläche.

[0093] Es sei daran erinnert, daß das VPS **1000** das GPS-Verarbeitungssystem **700** und das MPS **900** aufweist, die in den jeweiligen **Fig. 7** und **9** gezeigt sind. Weiter sei daran erinnert, daß das MPS **900** die IRU **904** und den Fahrzeugwegmesser **902** aufweist, die beide in **Fig. 9** gezeigt sind. Im Endeffekt sind diese Systeme durch die vorliegende Erfindung verbessert und integriert worden, um ein hocheffektives Positionsbestimmungssystem zu erzeugen.

[0094] Mit Bezug auf **Fig. 7** weist das GPS-Verarbeitungssystem **700** eine Antenne **702** auf, die mit einem GPS-Empfänger **706** verbunden ist. Wenn die GPS-Satelliten **104** im Blickfeld der Antenne **702** mehrfache GPS-Satelliten **200–206** aufweisen, wie in den **Fig. 2** und **3** gezeigt, liest der GPS-Empfänger **706** alle ihre GPS-Daten zusammen mit irgendwelchen Pseudolitendaten von irgendeinem (irgendwelchen) Pseudolit(en) **105** im Blickfeld der Antenne **702**. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der GPS-Empfänger **706** für die Berechnung der ersten Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** aus den GPS-Daten und/oder den Pseudolitendaten verantwortlich.

[0095] Um die Genauigkeit des ersten Positions- bzw. Positionsbestimmungsverfahrens zu vergrößern, wird das Satellitenpositionsverhersageverfahren **1800** durch einen GPS-Prozessor **710** des GPS-Verarbeitungssystems **700** implementiert bzw. eingerichtet. Das Satellitenpositionsverhersageverfahren **1800** sagt die Position von irgendeinem GPS-Satelliten zur laufenden bzw. augenblicklichen Zeit oder für irgendeine zukünftige Zeit voraus.

[0096] Unter Verwendung der Satellitenpositionsinformation kann das GPS-Verarbeitungssystem **700** die optimale GPS-Satellitenkonstellation zum Erkennen bestimmen, und zwar unter Verwendung eines Konstellationseffekt-Verfahrens **1300**. Das Konstellationseffekt-Verfahren **1300** kann auch vom GPS-Prozessor **710** implementiert bzw. eingerichtet werden. Gemäß des Konstellationseffekt-Verfahrens **1300** wird eine beste Konstellation aus den Datenquellen ausgewählt, die die GPS-Satelliten **200–206** und Pseudolit(en) **105** aufweisen.

[0097] Der GPS-Prozessor **710** berechnet eine erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** basierend auf der besten Konstellation und auf Geometrie/Triangulations-Verfahren. Die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung ist teilweise abhängig von der bei der Berechnung verwendeten Anzahl von GPS-Satelliten. Jeder zusätzliche verwendete GPS-Satellit kann die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung vergrößern. Nach

der Berechnung wird die erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** an einen VPS-Hauptprozessor **1002** der **Fig. 10** übertragen.

[0098] Mit Bezug auf **Fig. 9** weist die IRU **904** Lasergyroskope und Beschleunigungsmesser auf, die Positions-, Geschwindigkeits-, Roll- bzw. Längsneigungs-, Höhen- und Neigungsdaten erzeugen. Die IRU **904** kombiniert diese Information in eine zweite Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102**. Der Wegmesser **902** kann implementiert werden, um die vom Fahrzeug **102** gelaufene bzw. gefahrene Distanz zu messen. Die Daten von der IRU **904** und vom Wegmesser **902** werden auch über den MPS-Kommunikationsprozessor **906** an den VPS-Hauptprozessor **1002** übertragen, und zwar wie in **Fig. 10** gezeigt.

[0099] Der VPS-Hauptprozessor **1002** kombiniert die zweite Positionsabschätzung vom MPS **900** (die IRU **904** und vielleicht der Wegmesser **902**) mit der ersten Positionsabschätzung vom GPS-Verarbeitungssystem **700**, um eine genauere dritte Positionsabschätzung zu erzeugen.

[0100] Das VPS **1000** implementiert weiter ein Verfahren zum Eliminieren von irrtümlichen oder falschen dritten Positionsabschätzungen, die ein "Fahrzeugabwandern" bzw. ein "Fahrzeugabweichen" bewirken können. Dieses Verfahren wird Verfahren mit gewichteter Pfadhistorie genannt. Im wesentlichen wird die Pfadhistorie bzw. Pfadgeschichte des Fahrzeugs **102** verwendet, um statistisch die Genauigkeit von zukünftigen Schätzungen der Position des Fahrzeugs **102** zu bestimmen.

[0101] Mit Bezug auf die **Fig. 1** und **3** sieht eine Basisstation **188** einen geographischen nahen Referenzpunkt für das VPS **1000** vor. Die Basisstation **188** weist ein Host-Verarbeitungssystem **186** auf. Das Host-Verarbeitungssystem **186** weist eine ähnliche Architektur auf, und führt die gleichen Funktionen wie das GPS-Verarbeitungssystem **700** aus. Jedoch führt das Host-Verarbeitungssystem **186** zusätzliche Funktionen zum Vergrößern der Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen aus.

[0102] Das Satellitenpositionsverfahren **1800** wird durch das Host-Verarbeitungssystem **186** implementiert bzw. eingerichtet, und zwar zusätzlich zu dem oben besprochenen GPS-Verarbeitungssystem **700**. Dementsprechend wird das Host-Verarbeitungssystem **186** die gleiche GPS-Satellitenkonstellation erkennen, die vom Fahrzeug **102** beobachtet wird, oder wird den gleichen GPS-Satelliten in einer größeren Konstellation aufweisen.

[0103] Berechnungen werden dann an den GPS-Daten und/oder den Pseudolitendaten ausgeführt, um Ableitungen (Biases) abzuleiten, und zwar einschließlich räumlicher Ableitungen und Takttableitungen. Um räumliche Ableitungen zu berechnen, implementiert das Host-Verarbeitungssystem **186** eine Anzahl von Verfahren.

**Fig. 15** offenbart eine original Ableitungstechnik **1500**. **Fig. 16** offenbart eine parabolische Ableitungstechnik **1600**. **Fig. 17** offenbart eine Basisresiduenableitungstechnik **1700**. **Fig. 17A** offenbart eine Basiskorrelationsableitungstechnik **1700A**.

[0104] Wie von einem Pfeil **194** gezeigt, werden die räumlichen Ableitungen und Takttableitungen an das GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** übertragen. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** verwendet diese Ableitungen, um Fehler bei den Fahrzeugpositionsabschätzungen zu eliminieren.

## B. GPS-Verarbeitungssystem

[0105] Das GPS-Verarbeitungssystem **700** verwendet die Fahrzeugpositionsdaten von einem terrestrischen Positionsbestimmungssystem, um die erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** abzuleiten. Das terrestrische Positionsbestimmungssystem kann das NAVSTAR-GPS sein, welches gegenwärtig von der US-Regierung entwickelt wird, und/oder erdbasierte Pseudolitiden.

### 1. NAVSTAR-GPS

[0106] Wie in **Fig. 1A** gezeigt, sind 24 von Menschenhand hergestellte elektronische GPS-Satelliten **132–170** in sechs Orbitalen bzw. Umlaufbahnen **174–184** gegenwärtig für das NAVSTAR-GPS vorgesehen. Sie werden zum Einsatz im Jahre **1993** geplant. Wie gegenwärtig vorgesehen, werden die GPS-Satelliten **132–170** die Erde **172** in einer Höhe von ungefähr 14.000 Meilen umlaufen und den Globus zweimal am Tag umlaufen. Unter Verwendung des C-Modus bzw. C-Betriebszustands des NAVSTAR-GPS, wie unten besprochen werden wird, wird es möglich sein, terrestrische Positionen innerhalb 15 Meter zu bestimmen, und zwar bei jedem Wetter, zu jeder Zeit und in den meisten Gebieten der Erde **172**.

[0107] Zum Zeitpunkt der Einreichung dieses Dokuments sind sechs experimentale und sieben einsatzbereite GPS-Satelliten im Umlauf um die Erde **172** bekannt. Weiter ist es bekannt, daß mehrere Hersteller gerade GPS-Empfänger konstruieren und herstellen, wie beispielsweise den GPS-Empfänger **706** der **Fig. 7**. Da mehr und mehr GPS-Satelliten gestartet bzw. eingesetzt und betriebsbereit sind, nehmen die Zeitperioden zu, in denen drei oder mehr der experimentellen GPS-Satelliten jeden Tag zur Positionsverfolgung verfügbar sind.

[0108] Darüberhinaus ist die Lage der experimentellen GPS-Satelliten (und alle anderen, sobald sie im Einsatz sind) sehr vorhersagbar. Die Relativposition oder der "Pseudobereich" bzw. "pseudorange" dieser GPS-Satelliten mit Bezug auf den GPS-Empfänger **706** am Fahrzeug **102** kann durch zwei Verfahren aus den

elektromagnetischen Signalen bestimmt werden.

[0109] Ein Verfahren ist, die Fortpflanzungszeitverzögerungen zwischen Übertragung und Empfang der herauslaufenden elektromagnetischen Signale zu messen. Beim NAVSTAR-GPS sind die elektromagnetischen Signale kontinuierlich mit der Zeit codiert, zu der die Signale von den GPS-Satelliten übertragen werden. Es ist nicht nötig, zu erwähnen, daß man eine Aufzeichnung der Empfangszeit machen kann und die codierte Übertragungszeit abziehen kann, um die Zeitverzögerungen abzuleiten. Aus den berechneten Zeitverzögerungen und daraus, daß man die Geschwindigkeit kennt, mit der die elektromagnetischen Wellen durch die Atmosphäre laufen, können Pseudobereiche bzw. -entferungen genau abgeleitet werden. Auf Pseudobereiche, die unter Verwendung des vorangegangenen Verfahrens berechnet werden, wird im Zusammenhang mit diesem Dokument als "tatsächliche" Pseudobereiche Bezug genommen.

[0110] Ein anderes Verfahren umfaßt Satellitenpositionsdaten, die in den elektromagnetischen Signalen codiert sind, die von den umlaufenden GPS-Satelliten übertragen werden. Almanach- bzw. Verzeichnisdaten, die sich auf die GPS-Satellitenpositionsdaten des NAVSTAR-GPS beziehen, sind öffentlich verfügbar. Eine Referenz dieser Verzeichnisdaten mit Bezug auf Daten, die in den elektromagnetischen Signalen codiert sind, gestattet eine genaue Ableitung von Pseudobereichen bzw. Pseudoentferungen, wenn die Lage des Empfängers bekannt ist. Auf unter Verwendung des vorangegangenen Verfahrens berechnete Pseudobereiche wird im Zusammenhang mit diesem Dokument als "geschätzte" Pseudobereiche Bezug genommen.

[0111] Jedoch sei bemerkt, daß mit Bezug auf das vorangegangene Verfahren zum Ableiten von geschätzten Pseudobereichen die Satellitenpositionsdaten mit dem GPS-Satelliten nur einmal in der Stunde zur vollen Stunde aktualisiert werden. Folglich nimmt ein geschätzter Pseudobereich an Genauigkeit über die Zeit ab, und zwar nach jeder Stunde bis zur nächsten vollen Stunde, wo ein neuer geschätzter Pseudobereich berechnet wird, und zwar unter Verwendung der aktualisierten Satellitenpositionsdaten.

[0112] Es sei wieder Bezug auf die **Fig. 1A** der Zeichnungen genommen, wo die Konfiguration des voll betriebsfähigen NAVSTAR-GPS schematisch veranschaulicht ist. Jeder der 24 GPS-Satelliten **132–170** überträgt elektromagnetische Signale, die verwendet werden können, um die absolute terrestrische Position des Fahrzeugs **102** zu bestimmen (d. h. Länge, Breite und Höhe mit Bezug auf den Mittelpunkt der Erde **172**).

[0113] Insbesondere kann durch das Bekanntsein der relativen Position von zumindest drei der umlaufenden GPS-Satelliten **132–170** die absolute terrestrische Position des Fahrzeugs **102** berechnet werden, und zwar über eine einfache geometrische Theorie, die Triangulationsverfahren umfaßt. Die Genauigkeit der terrestrischen Positionsabschätzung hängt teilweise von der Anzahl der umlaufenden GPS-Satelliten **132–170** ab, die vom Fahrzeug **102** gesampelt bzw. empfangen werden. Das Sampeln bzw. Empfangen von mehr GPS-Satelliten **132–170** in der Berechnung vergrößert die Genauigkeit der terrestrischen Positionsabschätzung. Herkömmlicherweise werden vier GPS-Satelliten anstelle von drei gesampelt bzw. empfangen bzw. aufgenommen, um jede terrestrische Positionsabschätzung zu bestimmen, und zwar wegen Fehlern, die durch Schaltungs-Clock- bzw. Schaltungs-Takt-Differenzen zwischen der Schaltung des Fahrzeugs **102** und der verschiedenen GPS-Satelliten **132–170** beigetragen werden.

[0114] Beim NAVSTAR-GPS werden elektromagnetische Signale kontinuierlich von allen GPS-Satelliten **132–170** übertragen, und zwar auf einer einzelnen Carrier- bzw. Trägerfrequenz. Jedoch besitzt jeder der GPS-Satelliten **132–170** ein unterschiedliches Modulationsschema, wodurch eine Differenzierung bzw. Unterscheidung der elektromagnetischen Signale gestattet wird. Beim NAVSTAR-GPS wird die Trägerfrequenz unter Verwendung eines Pseudo-Zufalls-Binärcodesignals moduliert (Datenbitstrom), welches für jeden GPS-Satellit einzigartig ist. Das Pseudo-Zufalls-Binärcodesignal wird verwendet, um zweiphasig die Trägerfrequenz zu modulieren bzw. eine Zweiphasenmodulation auszuführen. Folglich können die umlaufenden GPS-Satelliten im NAVSTAR-GPS identifiziert werden, wenn die Trägerfrequenzen demoduliert werden.

[0115] Darüberhinaus sieht das NAVSTAR-GPS zwei Modulationsmodi bzw. – betriebszustände der Trägerwelle vor, und zwar unter Verwendung eines Pseudo-Zufalls-Zahlsignals (PRN = pseudorandom number). In einem Modus bzw. Betriebszustand, auf den als "coarse/acquisition"- (C/A) bzw. "Grob/Aufnahme"-Modus Bezug genommen wird, ist das PRN-Signal eine Gold-Codesequenz mit einer Chiprate von 1,023 MHz. Die Gold-Codesequenz ist eine wohlbekannte herkömmliche Pseudo-Zufallssequenz in der Technik. Ein Chip ist ein individueller bzw. einzelner Impuls des Pseudo-Zufallcodes. Die Chiprate einer Pseudo-Zufallcodesequenz ist die Rate bzw. Geschwindigkeit, mit der die Chips in der Sequenz erzeugt werden. Folglich ist die Chiprate gleich der Codewiederholungsrate geteilt durch die Anzahl der Glieder im Code. Dementsprechend gibt es mit Bezug auf den coarse/acquisition bzw. Grob/Aufnahme-Modus des NAVSTAR-GPS 1023 Chips in jeder Gold-Codesequenz und die Sequenz wird einmal jede Millisekunde wiederholt. Die Verwendung der 1,023 MHz-Gold-Codesequenz von vier umlaufenden GPS-Satelliten ermöglicht, daß die terrestrische Position des Fahrzeugs **102** mit einer angeneherten Genauigkeit von innerhalb 60 bis 300 Metern bestimmt werden kann.

[0116] Der zweite Modulationsmodus bzw. -betriebszustand beim NAVSTAR-GPS wird im allgemeinen als der "präzise" oder "geschützte" bzw. "protected" (P)-Modus genannt. Im P-Modus besitzt der Pseudo-Zufallscode eine Chiprate von 10,23 MHz. Darüberhinaus sind die P-Modussequenzen extrem lang, so daß die Sequenzen sich nicht öfter als einmal alle 267 Tage wiederholen. Als eine Folge kann die terrestrische Position

des Fahrzeugs **102** innerhalb einer angenäherten Genauigkeit von 16 bis 30 Metern bestimmt werden.

[0117] Jedoch sind die P-Modussequenzen klassifiziert und werden nicht von der Regierung der Vereinigten Staaten öffentlich verfügbar gemacht. In anderen Worten ist der P-Modus nur zur Verwendung von Erdempfängern vorgesehen, die von der Regierung der Vereinigten Staaten autorisiert sind.

[0118] Damit die Erdempfänger die verschiedenen C/A-Signale von den verschiedenen umlaufenden GPS-Satelliten unterscheiden, weisen die Erdempfänger gewöhnlicherweise eine Vielzahl von unterschiedlichen Gold-Codequellen auf, um lokal Gold-Codesequenzen zu erzeugen. Jede lokal abgeleitete Gold-Codesequenz entspricht jeder einzigartigen Gold-Codesequenz von jedem der GPS-Satelliten.

[0119] Die lokal abgeleiteten Gold-Codesequenzen und die übertragenen Gold-Codesequenzen werden mit einander kreuz- bzw. querkorriert, und zwar über Gold-Codesequenzintervalle von einer Millisekunde. Die Phase der lokal abgeleiteten Gold-Codesequenzen variiert auf einer Basis von Chip zu Chip und dann innerhalb eines Chips, bis die maximale Querkorrelationsfunktion erhalten wird. Da die Kreuz- bzw. Querkorrelation für zwei Gold-Codesequenzen mit einer Länge von 1023 Bits ungefähr 16 mal so groß ist wie die Querkorrelationsfunktion von irgendeiner der anderen Kombinationen von Gold-Codesequenzen, ist es relativ einfach, die lokal abgeleitete Gold-Codesequenz in die gleiche Gold-Codesequenz zu verriegeln bzw. einzuhängen, die von einem der GPS-Satelliten übertragen wurde.

[0120] Die Gold-Codesequenzen von zumindest vier der GPS-Satelliten im Blickfeld eines Erdempfängers werden in dieser Weise getrennt, und zwar unter Verwendung eines einzelnen Kanals, der sequentiell bzw. aufeinanderfolgend auf jede der lokal abgeleiteten Gold-Codesequenzen anspricht, oder alternativ unter Verwendung von parallelen Kanälen, die simultan bzw. gleichzeitig auf die verschiedenen Gold-Codesequenzen ansprechen. Nachdem vier lokal abgeleitete Gold-Codesequenzen in Phase mit den Gold-Codesequenzen verriegelt bzw. eingehängt sind, die von vier GPS-Satelliten im Blickfeld des Erdempfängers empfangen werden, kann die Relativposition des Erdempfängers mit einer Genauigkeit von ungefähr 60 bis 300 Metern bestimmt werden.

[0121] Die vorangegangene angenäherte Genauigkeit des NAVSTAR-GPS wird durch folgendes beeinträchtigt: (1) Die Anzahl der GPS-Satelliten, die Signale übertragen, auf die der Erdempfänger effektiv anspricht, (2) die variablen Amplituden der empfangenen Signale, und (3) die Größe der Querkorrelationsspitzen bzw.-peaks zwischen den empfangenen Signalen von den unterschiedlichen GPS-Satelliten.

[0122] Mit Bezug auf **Fig. 7** verarbeitet das GPS-Verarbeitungssystem **700** die GPS-Daten von den GPS-Satelliten **132–170** und den Pseudolitendaten von irgendeinem (irgendwelchen) Pseudolit(en) **105**. Darüberhinaus decodiert der GPS-Empfänger **706** die C/A-Signale von den verschiedenen GPS-Satelliten **132–170**.

[0123] **Fig. 2** veranschaulicht Navigationsgleichungen **212**, die vier GPS-Satelliten **200–206** des NAVSTAR-GPS in Betracht ziehen. Die vier GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** besitzen jeweilige Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 und weisen die laufende bzw. Ist-Konstellation der GPS-Satelliten **132–170** auf, die vom Fahrzeug **102** erkannt wird.

[0124] Die Navigationsgleichungen **212** weisen die Clock- bzw. Taktableitung (Clock-Bias)  $C_b$  zwischen den GPS-Satelliten **200–206** und dem Fahrzeug **102** auf. Die Navigationsgleichungen **212** werden verwendet, um die Länge und Breite des Fahrzeugs **102** unter Verwendung der Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 zu berechnen.

[0125] Wie im Beschreibungsblock **208** gezeigt, überträgt jeder der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** GPS-Daten, die Zeitsteuerungsdaten (GPS-Zeit) und Ephemeriden- bzw. Himmelsstellungsdaten aufweisen. Unter Verwendung der Navigationsgleichungen **212**, die in der herkömmlichen Technik wohlbekannt sind, und der vorangegangenen Zeitsteuerdaten können die Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 bestimmt werden (tatsächliche Pseudobereiche genannt), und zwar durch das GPS-Verarbeitungssystem **700**. Darüberhinaus können die vorangegangenen Ephemeriden- bzw. Himmelsstellungsdaten und Almanach- bzw. Verzeichnisdaten auf der Erde **172** die Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 geschätzt werden (geschätzte Pseudobereiche genannt), und zwar durch das GPS-Verarbeitungssystem.

## 2. Betrieb

[0126] Mit Bezug auf **Fig. 6** ist eine repräsentative GPS-Konstellation im Betrieb gezeigt. Vier GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** übertragen GPS-Daten. Sowohl das Fahrzeug **102** als auch die Basisstation **188** empfangen diese Signale von jedem der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** auf ihren jeweiligen GPS-Antennen **312** und **316**. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel werden sowohl der C/A-Code und die Trägerfrequenz an den GPS-Antennen **312** und **316** zur Verarbeitung empfangen.

[0127] Zusätzlich zu den in der **Fig. 6** gezeigten vier GPS-Satelliten gibt es den Pseudolit **105**. Der (die) Pseudolit(en) **105** kann (können) strategisch um den Umkreis bzw. Umfang von irgendeiner Minengrube angeordnet werden, und können die GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206**, wie in **Fig. 6** gezeigt, emulieren bzw. nachbilden. Diese Anordnung kann außerordentlich nützlich in Situationen, wie beispielsweise einer Minengrube, einem Hohlraum oder ähnlichem sein, bei denen Minen- bzw. Bergbaufahrzeuge aus dem Blickfeld von

einem oder mehreren der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** sind, und zwar wegen topographischen Merkmalen, wie beispielsweise hohe Minengrubenwände. Der (die) bodenbasierten Pseudolit(en) **105** sieht (sehen) zusätzliche Bereichssignale vor und können somit die Verfügbarkeit und Genauigkeit der Positionsfähigkeit bzw. Positionsbestimmungsfähigkeit der vorliegenden Erfindung verbessern.

[0128] Der (die) Pseudolit(en) **105** ist (sind) mit den GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** synchronisiert und besitzt (besitzen) eine Signalstruktur, die, obwohl sie unterschiedlich ist, mit den GPS-Satelliten **200**, **202**, **204**, und **206** kompatibel ist. Darüberhinaus wird der Abstand (Bereich) zwischen dem Fahrzeug **102** und dem (den) Pseudolit(en) **105** berechnet, und zwar ähnlich wie der Abstand zwischen dem Fahrzeug **102** und einem der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206**. Mit Pseudolit(en) **105** weist der Bereichsfehler keine ionosphärischen Fehler oder Fehler aufgrund selektiver Verfügbarkeit auf. Jedoch müssen andere Fehler für einen solchen in Betracht gezogen werden, wie beispielsweise troposphärische, Pseudolit-Takt-Fehler und Multipath- bzw. Mehrfachpfadfehler.

[0129] Beim Minenbetrieb in einer tiefen Grubenoberfläche kann das Blickfeld bzw. die Sicht des Himmels vom Fahrzeug **102** in der Mine durch die Minenwände begrenzt sein. Folglich kann eine adequate Anzahl von GPS-Satelliten nicht innerhalb des GPS-Verarbeitungssystems **700** sein, um ordnungsgemäß eine erste Positionsabschätzung abzuleiten. In einem solchen Fall kann in der vorliegenden Erfindung einer oder mehrere Pseudoliten **105** als Sekundärquellen dienen. Der (die) Pseudolit(en) können am Rand der Mine oder irgendwo sonst angeordnet werden. Der (die) Pseudolit(en) **105** kann (können) vom Fahrzeug **102** in Verbindung mit irgendwelchen sichtbaren GPS-Satelliten verwendet werden, um genaue erste Positionsabschätzungen zu erhalten.

[0130] Es ist auch vorgesehen, daß andere Formen von Sekundärquellen implementiert bzw. eingerichtet werden, um den GPS-Satelliten zu helfen, oder um vollständig die Notwendigkeit GPS-Daten von den GPS-Satelliten zu empfangen, zu eliminieren. Darüberhinaus kann eine Laser-Abtast- bzw. Laser-Scanning-Technik verwendet werden, um lokalisierte bzw. örtliche Bereichsdaten an das Fahrzeug **102** von einer zweiten Referenzquelle zu geben.

[0131] Der Kommunikationskanal **618** stellt die Kommunikationsverbindung zwischen der Basisstation **188** und dem Fahrzeug **102** dar. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Kommunikationskanal **618** eine elektromagnetische Verbindung auf, die von Daten-Radios bzw. -sendern **620** und **622** aufgestellt wird, die Überträger bzw. Transceiver sind. Der Kommunikationskanal **618** wird verwendet, um Daten zwischen der Basisstation **188** und dem Fahrzeug **102** zu übertragen. Es ist vorgesehen, daß andere Formen von Kommunikationsmedien verwendet werden können. Beispielsweise kann eine Laser-Abtasttechnik verwendet werden, um Informationen von der Basisstation **188** zum Fahrzeug **102** zu liefern.

[0132] Die Daten-Radios bzw. -sender **620** und **622** sind in der Basisstation **188** bzw. im Fahrzeug **102** gelegen. Die Radios **620** und **622** sind für den Datenaustausch zwischen der Basisstation **188** und dem Fahrzeug **102** verantwortlich. Die ausgetauschte Datenart wird unten weiter besprochen werden.

[0133] Ein Radiotransceiver bzw. Radioüberträger, der im bevorzugten Ausführungsbeispiel geeignet als die Datenradios **620** und **622** funktioniert, ist im Handel von Dataradio Ltd., Montreal, Kanada, unter der Modellnummer DR-4800BZ erhältlich.

[0134] Mit Bezug auf **Fig. 7** ist das bevorzugte Ausführungsbeispiel eines GPS-Verarbeitungssystems **700** gezeigt. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** weist eine GPS-Antenne **702** auf. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel nimmt die GPS-Antenne **702** das Radiospektrum von elektromagnetischer Strahlung auf. Jedoch zieht die vorliegende Erfindung auch den Empfang von irgendeinem Signal in Erwägung, durch welches GPS-Satelliten **132**–**170** Daten codieren könnten. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die GPS-Antenne **702** die im Handel erhältliche Antenne mit der Modell-Nummer CA3224 von Chu Associates Inc., Littleton, Massachusetts.

[0135] Die GPS-Antenne **702** ist mit einem Vorverstärker **704** gekoppelt, so daß die Signale, die an der GPS-Antenne **702** empfangen werden, zum Vorverstärker **704** übertragen werden können. Der Ausdruck "Koppeln" bzw. "Kupplung" im Zusammenhang mit diesem Dokument bedeutet irgendein System und Verfahren zum Einrichten einer Kommunikation. Das Koppeln von Systemen und Verfahren kann beispielsweise elektronische, optische und/oder Geräusch- bzw. Tontechniken aufweisen, genauso wie andere hier nicht ausdrücklich beschriebene. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist eine Kupplung im allgemeinen elektronisch und entspricht irgendeinem von zahlreichen elektronischen Industriestandard-Interfaces bzw. -Schnittstellen.

[0136] Der Vorverstärker **704** verstärkt und konvertiert die GPS-Daten herunter, die von der GPS-Antenne **702** empfangen werden, so daß die GPS-Daten verarbeitet oder decodiert werden können. Die vorliegende Erfindung zieht irgendein Verfahren in Erwägung, durch welches die empfangenen Signale verstärkt werden können. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Vorverstärker **704** der kommerziell bzw. im Handel erhältliche Vorverstärker mit der Modell-Nummer 5300, Serie GPS RF/IF von Stanford Telecommunications Inc. (STel), Santa Clara, Kalifornien. Der Vorverstärker **704** ist mit einem GPS-Empfänger **706** gekoppelt. Der GPS-Empfänger **706** verarbeitet die GPS-Daten, die von den GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** im Blickfeld der GPS-Antenne **702** gesendet worden sind. Der GPS-Empfänger **706** berechnet die tatsächlichen Pseu-

dobereiche für jeden der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206**. Tatsächliche Pseudobereiche werden in diesem Dokument als eine Schätzung der Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 definiert, was von der Zeitverzögerung zwischen der Übertragung der elektromagnetischen Signale von dem GPS-Satelliten und dem Empfang der elektromagnetischen Signale durch das GPS-Verarbeitungssystem **700** abgeleitet wird. Darüberhinaus kann im bevorzugten Ausführungsbeispiel der GPS-Empfänger **706** parallel alle der tatsächlichen Pseudobereiche für die GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** verarbeiten.

[0137] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung erzeugt der GPS-Empfänger **706** diese Daten, wenn vier oder mehr GPS-Satelliten sichtbar sind. Unter Verwendung der Differentialkorrekturtechniken kann das GPS-Verarbeitungssystem **700** (im GPS-Prozessor **710**) die erste Positionsabschätzung berechnen, und zwar mit einer Genauigkeit von ungefähr 25 Metern, wenn eine optimale Konstellation von vier GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** im Blickfeld ist. Wenn eine optimale Konstellation von fünf GPS-Satelliten (nicht gezeigt) im Sichtfeld ist, kann das GPS-Verarbeitungssystem **700** des bevorzugten Ausführungsbeispiels die erste Positionsabschätzung mit einer Genauigkeit von ungefähr 15 Metern berechnen. Eine "optimale" Konstellation ist eine, wobei die Relativpositionen der GPS-Satelliten im Raum eine höhere bzw. bessere Triangulationsfähigkeit erfordern, wobei die Triangulationstechnologie in der Technik wohlbekannt ist.

[0138] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel gibt der GPS-Empfänger **706** tatsächliche Pseudobereiche aus und die Anzahl der GPS-Satelliten **132–170**, die augenblicklich gesampelt bzw. aufgenommen oder empfangen werden. In Fällen, in denen die Anzahl der gesehenen bzw. empfangenen GPS-Satelliten **132–170** für eine Serie von ersten Positionsabschätzungen geringer als vier ist, verwendet die VPS-Gewichtungskombinationsvorrichtung **1204** (siehe **Fig. 12** und Besprechung) im bevorzugten Ausführungsbeispiel nicht die ersten Positionsabschätzungen, die vom GPS-Verarbeitungssystem **700** empfangen werden (insbesondere vom GPS-Prozessor **710**), bei der Berechnung der dritten Positionsabschätzung.

[0139] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der GPS-Empfänger **706** einen Empfänger mit der Modell-Nummer 5305-NSI auf, der im Handel von Stanford Telecommunications Inc. erhältlich ist. Jedoch kann irgendein Empfänger verwendet werden, der fähig ist, tatsächliche Pseudobereiche und die Anzahl der gesammelten bzw. empfangenen GPS-Satelliten zu liefern.

[0140] Wegen der verwendeten Empfängerbauart im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der GPS-Empfänger **706** mit einem GPS-Kommunikationsprozessor **708** gekoppelt. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der Kommunikations- bzw. Interkommunikationsprozessor **708** der kommerziell erhältliche 68000 Mikroprozessor von Motorola Inc., Schaumburg, Illinois, USA. Irgendein Prozessor alleine oder in Kombination mit dem GPS-Empfänger **706** zum Durchführen desselben Zweckes, wie unten beschrieben, kann verwendet werden.

[0141] Der GPS-Kommunikationsprozessor **708** ist weiter mit einem GPS-Prozessor **710** und einer GPS-Konsole 1 **712** verbunden. Der GPS-Kommunikationsprozessor **708** koordiniert den Datenaustausch zwischen diesen drei Vorrichtungen. Insbesondere empfängt der GPS-Kommunikationsprozessor **708** Pseudobereichsdaten vom GPS-Empfänger **706**, der sie zum GPS-Prozessor **710** weitergibt. Die Pseudobereichsdaten weisen beispielsweise die tatsächlichen Pseudobereiche auf, die vom GPS-Empfänger **706** berechnet wurden, die Zahl der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206**, die laufend bzw. gegenwärtig vom GPS-Empfänger **706** gesehen werden und andere GPS-Daten, die vom GPS-Prozessor **710** benötigt werden, um die geschätzten Pseudobereiche für jeden der GPS-Satelliten **200**, **202**, **204** und **206** zu berechnen. Der GPS-Interkommunikations- bzw. GPS-Kommunikationsprozessor **708** überträgt auch Statusinformationen, die den GPS-Empfänger **706** und den GPS-Prozessor **710** betreffen, auf die GPS-Konsole 1 **712**.

[0142] Der GPS-Kommunikationsprozessor **708** überträgt die obige Information zum GPS-Prozessor **710**. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der GPS-Prozessor **710** den 68020 Mikroprozessor auf, der im Handel von Motorola Inc. erhältlich ist. **Fig. 8** ist ein Low-Level-Flußdiagramm **800**, welches die Funktion der Software im GPS-Prozessor **710** veranschaulicht.

[0143] Der GPS-Prozessor **710** verwendet eine Anzahl von Algorithmen und Verfahren, um die Daten zu verarbeiten, die er empfängt, einschließlich beispielsweise eines GPS-Kalman-Filters **802**, der in **Fig. 8** gezeigt ist. Der Kalman-Filter **802** ist in der herkömmlichen Technik wohlbekannt. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der GPS-Kalman-Filter **802** ein Modul in der Software des GPS-Prozessors **710**.

[0144] Teilweise ist es die Funktion des Kalman-Filters **802**, Rauschen bzw. Störungen auszufiltern, die mit den Pseudobereichsdaten assoziiert sind. Das Rauschen kann beispielsweise ionosphärisches, Takt- bzw. Clock- und/oder Empfängerrauschen aufweisen. Der GPS-Kalman-Filter **802** des Host-Verarbeitungssystems **186** in der Basisstation **188** berechnet räumliche und Clock- bzw. Takt-Ableitungen, die beide an das Fahrzeug **102** übertragen werden, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen zu vergrößern. Im Gegensatz dazu zieht der GPS-Kalman-Filter **802** im Fahrzeug **102** die räumlichen und Takt-Ableitungen in Betracht, die von der Basisstation **188** empfangen werden.

[0145] Der GPS-Kalman-Filter **802** funktioniert in einer semi-adaptiven bzw. halbadaptiven Weise. In anderen Worten, der GPS-Kalman-Filter **802** modifiziert automatisch seine Schwelle der annehmbaren Datenstörungen, und zwar abhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs **102**. Der Ausdruck "Störung" im Zusammenhang mit diesem Dokument bezieht sich auf eine Abweichung von einem ordnungsgemäßen bzw. regelmäßi-

gen Kurs. Das semi- bzw. halb-adaptive Funktionieren des GPS-Kalman-Filters **802** optimiert das Ansprechen und die Genauigkeit der vorliegenden Erfindung. Wenn das Fahrzeug **102** im allgemeinen seine Geschwindigkeit um ein spezielles Ausmaß erhöht, wird der GPS-Kalman-Filter **802** seine Rauschakzeptanzschwelle anheben. Genauso, wenn das Fahrzeug **102** seine Geschwindigkeit um ein festgelegtes Ausmaß verringert, wird der GPS-Kalman-Filter **802** seine Rauschakzeptanzschwelle senken. Diese automatische Optimierungstechnik der vorliegenden Erfindung liefert den höchsten Genauigkeitsgrad unter sowohl Bewegungs- als auch Stationärzuständen.

[0146] Für den besten Weg der vorliegenden Erfindung variiert die Schwelle des GPS-Kalman-Filters **802** nicht kontinuierlich oder in sehr kleinen getrennten Intervallen. Vielmehr sind die Intervalle größere getrennte bzw. diskrete Intervalle und daher weniger genau als ein kontinuierlich variiender Filter. Jedoch ist der GPS-Kalman-Filter **802** der vorliegenden Erfindung leicht zu implementieren bzw. vorzusehen, kostengünstiger und erfordert weniger Berechnungszeit als mit einem kontinuierlich variiierenden Filter. Jedoch sei bemerkt, daß die Verwendung eines kontinuierlich variiierenden Filters möglich ist und daß es beabsichtigt ist, sie hierin einzuschließen.

[0147] Zum Betrieb muß dem GPS-Kalman-Filter **802** ein Anfangswert beim Systemstart gegeben werden. Vom Anfangswert und von den GPS-Daten, die vom GPS-Empfänger **706** gesammelt werden, extrapoliert der GPS-Kalman-Filter **802** einen laufenden bzw. Ist-Zustand (der die erste Positionsabschätzung und die Fahrzeuggeschwindigkeit für Nordrichtung, Ostrichtung und Höhe aufweist). Der GPS-Kalman-Filter **802** arbeitet in einer zyklischen Weise. In anderen Worten, es wird angenommen, daß der extrapolierte laufende bzw. Ist-Zustand der Anfangswert für die nächste Iteration ist. Er wird kombiniert/gefiltert mit neuen GPS-Daten (einer Aktualisierung), um einen neuen laufenden bzw. Ist-Zustand abzuleiten.

[0148] Die Weise, in der die GPS-Daten verwendet werden, hängt von einer zuvor gespeicherten Datei ab, die Steuerdatei **820** genannt wird. Die Steuerdatei **820** wird folgendes bestimmen: (1) Die Rauschschwelle, (2) die Ansprechgeschwindigkeit, (3) die Anfangszustände von Fahrzeugposition und – geschwindigkeit, (4) das Ausmaß der Abweichung, bevor ein Reset bzw. Rücksetzen des GPS-Kalman-Filters **802** auftritt, (5) die Anzahl der gestatteten schlechten Messungen und/oder (6) die Zeit, die zwischen Messungen verteilt wird.

[0149] Der GPS-Prozessor **710** berechnet dann die geschätzten Pseudobereiche, die erste Positionsabschätzung und die Fahrzeuggeschwindigkeit (von der Doppler-Verschiebung), und zwar unter Verwendung des obigen laufenden bzw. Ist-Zustandes und von irgendwelchen Ableitungen einschließlich der Clock-Ableitungen und der räumlichen Ableitungen. Jedoch legt der GPS-Prozessor **710** die berechneten Geschwindigkeitsdaten ab, wenn der C/A-Code anstelle der Trägerfrequenz durch den GPS-Empfänger **706** verwendet wird, um die Fahrzeuggeschwindigkeit abzuleiten. Der Grund zum Ablegen der Fahrzeuggeschwindigkeit ist, daß experimentelle Ergebnisse gezeigt haben, daß sie nicht adäquat genau ist, wenn sie vom C/A-Code abgeleitet wird.

[0150] Fahrzeuggeschwindigkeiten, die von der Trägerfrequenz abgeleitet werden (Doppler-Verschiebung) sind viel genauer als die Geschwindigkeiten, die vom C/A-Code abgeleitet werden. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel werden die erste geschätzte Position (und die Fahrzeuggeschwindigkeit, wenn sie von der Trägerfrequenz abgeleitet wird) im GPS-Signal **716** codiert und werden an den VPS-Hauptprozessor **1002** gesandt, der in **Fig. 10** gezeigt ist.

[0151] Wie zuvor besprochen, analysiert der GPS-Prozessor **710** sowohl die Trägerfrequenz als auch den C/A-Code. Anders als Daten, die vom C/A-Code demoduliert werden, können Daten von der Trägerfrequenz durch den GPS-Empfänger **706** bei ungefähr 50 Hz wiederaufgefunden bzw. aufgenommen werden (nicht ungefähr 2 Hz, wie es der Fall für die Demodulierung eines C/A-Codes ist). Diese vergrößerte Geschwindigkeit gestattet es der vorliegenden Erfindung, genauere Positions- und Geschwindigkeitsbestimmungen mit einem geringeren Fehler zu erzeugen.

[0152] **Fig. 8** veranschaulicht andere Funktionen des GPS-Prozessors **710** im bevorzugten Ausführungsbeispiel. Jedoch zieht die vorliegende Erfindung irgendein Verfahren in Erwägung, durch welches GPS-Daten verarbeitet werden können, um Pseudobereiche zu bestimmen. Wie in einem Flußdiagrammblöck **816** gezeigt, steuert eine Konsolenfunktion den Betrieb der GPS-Konsole **2**. Die Konsolenfunktion reguliert den Betrieb des GPS-Kalman-Filters **802** durch das Vorsehen eines Bedienerinterfaces bzw. einer Bedienerschnittstelle in den Filter.

[0153] Die VPS-Kommunikationsfunktion **818** steuert die Ausgänge bzw. Ausgangsgrößen des GPS-Kalman-Filters **802**, die an das VPS **1000** geleitet werden. Im Flußdiagrammblöck **806** ist gezeigt, daß der GPS-Kalman-Filter **802** Daten vom GPS-Empfänger **706** anfordert und decodiert, wobei diese Daten durch eine IPROTO-Funktion **804** geleitet werden, wie bei einem Flußdiagrammblöck **806** gezeigt.

[0154] Wie gezeigt, residiert bzw. liegt die IPROTO-Funktion **804** im GPS-Kommunikationsprozessor **708** und führt Aufgaben aus, die mit dem GPS-Kommunikationsprozessor **708** assoziiert sind. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die IPROTO-Funktion **804** das Modell Nr. XVME-081, welches im Handel von Xycom Inc. erhältlich ist.

[0155] Wie bei einem Flußdiagrammblöck **810** gezeigt, treten die Daten, die über den Kommunikationskanal

**618** übertragen werden, in die Iproto-Funktion **804** ein. Viele dieser Daten sind letztendlich für den GPS-Kalman-Filter **802** bestimmt. Die bei einem Flußdiagrammblock **808** gezeigte Kommunikationsmanagerfunktion koordiniert die hereinkommenden Daten von der Iproto-TO-Funktion. Die Kommunikationsmanagerfunktion **808** koordiniert auch die Daten, die von einer ICC-Funktion empfangen werden, die in einem Flußdiagrammblock **812** gezeigt ist. Die ICC-Funktion **812** tauscht Daten mit dem Datenradio **714** aus (über die GPS-Interkommunikations- bzw. GPS-Kommunikationsprozessoren **720**) und mit der GPS-Datensammelvorrichtung **718**, wie gezeigt.

[0156] Die GPS-Konsole **712** ist in der Technik wohlbekannt. Viele Bauarten von Vorrichtungen sind im Handel erhältlich, die die gewünschte Funktion vorsehen. Eine solche Vorrichtung ist im Handel erhältlich von Digital Equipment Corporation, Maynard, Massachusetts, unter der Modell-Nr. VT220. Die GPS-Konsole **712** bildet Prozessoraktivitätsdaten ab, die den GPS-Kommunikationsprozessor **708** und den GPS-Prozessor **710** betreffen.

[0157] Der GPS-Prozessor **710** ist mit einer GPS-Konsole **722** und einem GPS-Kommunikationsinterface- bzw. GPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **720** gekoppelt. Die GPS-Konsole **722** ist in der Technik wohlbekannt. Viele Bauarten von Vorrichtungen sind im Handel erhältlich, die die gewünschte Konsolenfunktion vorsehen. Eine solche Vorrichtung ist im Handel erhältlich von Digital Equipment Corporation, Maynard, Massachusetts, unter der Modell-Nr. VT220. Die GPS-Konsole **722** sieht das Bedienerinterface- bzw. die Bedienerschnittstelle vor, von der der GPS-Prozessor **710** aktiviert und überwacht werden kann.

[0158] Der GPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **720** ist im wesentlichen ein I/O- bzw. Eingabe/Ausgabe-Board. Es ist mit einem Datenradio **714** und einer GPS-Datensammelvorrichtung **718** gekoppelt. Der GPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **720** koordiniert den Datenaustausch zwischen dem GPS-Prozessor **710** und sowohl dem Datenradio **714** als auch der GPS-Datensammelvorrichtung **718**. Der Kommunikations-Schnittstellenprozessor **720** im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Modell Nr. MVME331, welches von Motorola Inc. USA, im Handel erhältlich ist.

[0159] Das Datenradio **714** richtet eine Kommunikationsverbindung zwischen dem GPS-Prozessor **710** beim Fahrzeug **102** (durch den GPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **720**) und einem ähnlichen Datenradio **714** ein, welches bei der Basisstation **188** gelegen ist (siehe Fig. 6). Im bevorzugten Ausführungsbeispiel kommuniziert das Datenradio **714** synchron bei 9600 Baud unter Verwendung von RF-Frequenzen (Radiofrequenz bzw. Hoch-Frequenz). Das Datenradio **714** an der Basisstation **188** liefert periodische Aktualisierungen des Ausmaßes an räumlicher Ableitung und Takt-Ableitung für jeden Satelliten an das Datenradio **714** beim Fahrzeug **102**, und zwar mit einer Rate von 2 Hz (zweimal pro Sekunde). Räumliche und Clock-Ableitungen, die von der Basisstation **188** berechnet werden, werden unten weiter besprochen werden.

[0160] Die GPS-Datensammelvorrichtung **718** kann irgendeine von zahlreichen herkömmlichen elektronischen Verarbeitungs- und Speichervorrichtungen sein, wie beispielsweise ein Desktop-Computer. Irgendein Personal Computer (PC), der von der International Business Machines Corporation (IBM), Boca Raton, Florida, USA, hergestellt wird, kann implementiert bzw. verwendet werden.

#### C. Bewegungspositionsbestimmungssystem (MPS)

[0161] Das MPS **900** (MPS = motion positioning system) des bevorzugten Ausführungsbeispiels ist in Fig. 9 veranschaulicht. Das MPS **900** leitet die zweite Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** ab. Gewöhnlicherweise wird diese zweite Positionsabschätzung mit der ersten Positionsabschätzung kombiniert und gefiltert, um dadurch eine genauere dritte Positionsabschätzung abzuleiten. Jedoch ist es vorgesehen, daß in manchen Beispielen die zweite Positionsabschätzung exclusiv bzw. außerordentlich als dritte Positionsabschätzung verwendet werden kann, wenn die erste Positionsabschätzung für vollkommen ungenau gehalten wird.

[0162] Für das MPS **900** sieht das bevorzugte Ausführungsbeispiel die Kombination des Wegmessers **902** und der IRU **904** vor. Jedoch könnte die IRU **904** ohne den Wegmesser **902** verwendet werden. Der Wegmesser und die IRU **904** sind an einen MPS-Kommunikationsprozessor **906** gekoppelt, um dadurch das MPS **900** aufzuweisen bzw. vorzusehen. IRUs und Wegmesser sind in der Technik wohlbekannt und sind im Handel erhältlich, und zwar von Honeywell Inc., Minneapolis, Minnesota, unter der Modell-Nr. HG1050-SR01 bzw. von Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, unter der Teil-Nr. 7T6337.

[0163] Die IRU **904** weist Ring-Laser-Gyroskop und Beschleunigungsmesser von bekannter Konstruktion auf. Die IRU **904**, die im bevorzugten Ausführungsbeispiel verwendet wird, ist eine Replik bzw. ein Nachbau des Systems, das von den Boeing 767-Flugzeugen verwendet wird, um die Flugzeugposition zu bestimmen, außer daß die IRU **904** modifiziert worden ist, um den geringen Dynamiken bzw. dynamischen Effekten (beispielsweise Geschwindigkeit) Rechnung zu tragen, die das Fahrzeug **102** relativ zu denen eines 767-Flugzeugs zeigt.

[0164] Die IRU **904** kann die Fahrzeugposition bei 5 Hz, die Geschwindigkeit bei 10 Hz, die Längsneigung bei 50 Hz, die Höhe bei 50 Hz und die Neigungsdaten bei 50 Hz ausgeben. Darüberhinaus kann der Fahrzeugswegmesser **902** im bevorzugten Ausführungsbeispiel die vom Fahrzeug **102** gefahrene Distanz bei 20 Hz aus-

geben.

[0165] Den Laser-Gyroskopen der IRU **904** muß, damit sie ordentlich funktionieren, zuerst eine Schätzung der Länge, Breite und Höhe des Fahrzeugs **102** gegeben werden. Unter Verwendung dieser Daten als eine Grundlinienpositionsabschätzung verwenden die Gyroskope dann eine vorbestimmte Kalibrierung in Verbindung mit Kräften, die mit der Drehung der Erde **172** assoziiert sind, um eine Schätzung der laufenden bzw. Ist-Position des Fahrzeugs **102** zu bestimmen.

[0166] Diese Information wird dann durch die IRU **904** mit den Daten kombiniert, die von den Beschleunigungsmessern der IRU **904** aufgenommen wurden, um eine genauere zweite Positionsabschätzung der Fahrzeug-Ist-Position zu erzeugen. Die zweite Positionsabschätzung von der IRU **904** und den Daten vom Fahrzeugwegmeser **902** werden an den MPS-Kommunikationsprozessor **906** übertragen, wie durch die jeweiligen Pfeile **910** und **908** der Fig. 9 gezeigt. Der Pfeil **114** der Fig. 1 umfaßt die Pfeile **908** und **910**.

[0167] Bei Experimenten ist bestimmt worden, daß die IRU **904** irrtümliche Schätzungen der zweiten Position des Fahrzeugs **102** liefern kann, und zwar aufgrund von unpräzise zusammengestellten Teilen. Insbesondere ist im bevorzugten Ausführungsbeispiel beobachtet worden, daß die direkte Ausgabe der IRU **904** entgegen des Uhrzeigersinns von der Nordrichtung während des Betriebes abgedriftet ist. Die Drift bzw. Abweichung hängt von der Richtung ab, in welcher das Fahrzeug **102** und folglich die IRU **904** fährt bzw. läuft.

[0168] Darüberhinaus kann die Abweichung bzw. Drift durch eine IRU-Abweichungsgleichung definiert werden. Die IRU-Abweichungsgleichung kann ähnlich der Konstruktion der Pfadgleichungen abgeleitet werden, die mit Bezug auf die Technik mit gewichteter Pfadhistorie bzw. Pfadverlauf beschrieben sind oder ähnlich der Konstruktion der parabolischen Gleichungen, die mit Bezug auf die parabolische Ableitungstechnik beschrieben sind. Nachdem sie abgeleitet worden ist, kann die IRU-Drift- bzw. IRU-Abweichungsgleichung verwendet werden, um genauere zweite Positionsabschätzungen zu extrapoliieren.

[0169] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Kommunikationsprozessor **1002** den im Handel erhältlichen 68000 Mikroprozessor von Motorola Inc. auf. Der Kommunikationsprozessor **1002** koordiniert den Datenaustausch zwischen dem MPS **900** und dem VPS **1000**. Irgendein Prozessor mit einer ähnlichen Funktion bzw. Funktionsweise, wie hier beschrieben, kann verwendet werden.

#### D. Fahrzeugpositionsbestimmungssystem (VPS)

[0170] Mit Bezug auf Fig. 10 ist das bevorzugte Ausführungsbeispiel der Architektur des VPS **1000** (VPS = vehicle positioning system = Fahrzeugpositionierungs- bzw. Fahrzeugpositionsbestimmungssystem) abgebildet. Fig. 11 zeigt im Detail eine Abbildung des VPS **1000**, das mit dem GPS-Verarbeitungssystem **700** und dem MPS **900** vverbunden ist.

[0171] Das GPS-Verarbeitungssystem **700** und das MPS **900** sind unabhängig mit dem VPS-Hauptprozessor **1002** gekoppelt. Die unabhängige Kupplung ist ein wichtiges neuartiges Merkmal der vorliegenden Erfindung. Da sie unabhängig sind, wird das Versagen eines der Systeme nicht bewirken, daß das andere außer Betrieb gerät. Wenn somit das GPS-Verarbeitungssystem **700** nicht im Betrieb ist, können immer noch Daten vom MPS **900** gesammelt und verarbeitet werden und folglich auch vom VPS **1000**. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** und das MPS **900** übertragen Signale **716**, **908**, **910** an den VPS-Hauptprozessor **1002**, wie gezeigt. Diese Signale enthalten Positions-, Geschwindigkeits-, Zeit-, Höhen-, Längsneigungs- bzw. Roll-, Neigungs- bzw. Gierungs- und Distanzdaten (siehe Fig. 7 und 9 und die assoziierten Besprechungen).

[0172] Der VPS-Hauptprozessor **1002** ist mit dem VPS I/O-Prozessor **1004** gekoppelt. Der VPS-Hauptprozessor **1002** überträgt ein Signal **1008** an einen VPS I/O-Prozessor **1004**, wie gezeigt. Das Signal **1008** weist die dritte Positionsabschätzung auf. Die dritte Positionsabschätzung wird von den GPS-, IRU- und Wegmesserdaten abgeleitet, wie oben bemerkt und insbesondere den ersten und zweiten Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102**.

[0173] Die vorliegende Erfindung zieht irgendein System und irgendein Verfahren in Betracht, durch welches die Signale, die durch die Pfeile **716**, **908** und **910** angezeigt sind, vom VPS-Hauptprozessor **1002** des GPS-Verarbeitungssystems **700** und vom MPS-System **900** empfangen werden können und an den VPS-Hauptprozessor **1002** geliefert werden können. Der VPS-Hauptprozessor **1002** ist der 68020 Mikroprozessor, der von Motorola Inc., USA, im Handel erhältlich ist.

[0174] Fig. 12 ist ein Zwischenneublockdiagramm **1200** eines VPS-Hauptprozessors **1002** der Fig. 10, welches einen VPS-Kalman-Filter **1202** und eine gewichtete Kombinationsvorrichtung bzw. Gewichtungskombinationsvorrichtung **1204** zeigt. Wie gezeigt, werden das GPS-Signal **716** und das Wegmessersignal **908** direkt an eine gewichtete Kombinationsvorrichtung bzw. Gewichtungskombinationsvorrichtung **1204** übertragen. Das IRU-Signal **910** wird in einen VPS-Kalman-Filter **1202** übertragen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das GPS-Signal **716** mit einer Rate von 2 Hz übertragen. Das Wegmessersignal **908** wird mit einer Rate von 20 Hz übertragen. Darüberhinaus wird das IRU-Signal **910**, welches die zweite Positionsabschätzung beinhaltet, mit einer Rate von 50 Hz übertragen.

[0175] Der VPS-Kalman-Filter **1202** verarbeitet das IRU-Signal **910**, filtert Fremdrauschen aus den Daten und

gibt die verarbeiteten Daten an die gewichtete Kombinationsvorrichtung **1204** aus. Weiter empfängt der VPS-Kalman-Filter **1202** ein Signal von der gewichteten Kombinationsvorrichtung **1204**, wie durch einen Pfeil **1208** gezeigt, welche verwendet wird, um den VPS-Kalman-Filter **1202** mit neuer Positionsinformation zurückzusetzen.

[0176] Die gewichtete Kombinationsvorrichtung **1204** verarbeitet die Signale und gibt einen vorbestimmten Gewichtungsfaktor für alle Daten aus, und zwar basierend auf der geschätzten Genauigkeit der verwendeten Datensammeltechnik. Somit wird im bevorzugten Ausführungsbeispiel die erste Positionsabschätzung des GPS-Signals **716** schwerer gewichtet als die zweite Positionsabschätzung des IRU-Signals **910**. Der Grund für dieses Gewichtungsschema ist, daß die erste Positionsabschätzung inherent bzw. innewohnend genauer ist als die zweite Positionsabschätzung von der IRU **904**.

[0177] Jedoch kann die Geschwindigkeit genauer von der IRU bestimmt werden. Daher kann die Geschwindigkeitskomponente des IRU-Signals **910** schwerer gewichtet werden als die Geschwindigkeitskomponente des GPS-Signals **716**. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird die Geschwindigkeitskomponente des IRU-Signals **910** ausschließlich von der Geschwindigkeitskomponente des GPS-Signals **716** verwendet.

[0178] Die gewichtete Kombinationsvorrichtung bzw. Gewichtungskombinationsvorrichtung **1204** erzeugt eine Ausgangsgröße **1206** bei 20 Hz. Die Ausgangsgröße **1206** enthält alle berechneten Daten und wird an zwei Stellen gesandt: den VPS-Kalman-Filter **1202**, wie durch einen Pfeil **1208** gezeigt, und an den VPS I/O-Prozessor **1004**, wie von Pfeil **1008** gezeigt. Die Ausgangsgröße **1206** enthält Zeitinformation, mit Bezug auf die GPS-Satelliten. Die Ausgangsgröße **1206** enthält weiter Information bezüglich der Fahrzeugposition, Geschwindigkeit, Gierung, Höhe und Längsneigung. Schließlich sei bemerkt, daß die VPS-Ausgangsgröße **1206** die dritte Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** aufweist.

[0179] Eine weitere Ausgabe, die bei einem Pfeil **1008** von der gewichteten Kombinationsvorrichtung **1204** gezeigt ist, enthält nur Geschwindigkeitsdaten, die sich auf das Fahrzeug **102** beziehen. Geschwindigkeitsdaten werden an das GPS-Verarbeitungssystem **700** vom VPS-Hauptprozessor **1002** gesandt. Die Geschwindigkeitsdaten werden verwendet, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung zu vergrößern, wie im folgenden besprochen wird.

[0180] Die vorliegende Erfindung zieht irgendein System und ein Verfahren in Erwägung, durch welches die Signale **716**, **908** und **910** im VPS-Hauptprozessor **1002** gemäß der oben erwähnten Verarbeitungsschritte verarbeitet werden können. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist der VPS-Hauptprozessor **1002** der 68020 Mikroprozessor, welcher im Handel von Motorola, Inc., USA, erhältlich ist.

[0181] Fig. 12A veranschaulicht einen Super-Kalman-Filter **1200A** der vorliegenden Erfindung. Der Super-Kalman-Filter **1200A** ist ein System und ein Verfahren zum Verarbeiten von Daten, um die Genauigkeit von Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102** zu vergrößern. Insbesondere vergrößert der Super-Kalman-Filter direkt die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung. Dementsprechend wird die Genauigkeit der dritten Positionsabschätzung indirekt verbessert. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel weist der Super-Kalman-Filter **1200A** eine Software innerhalb der Architekturen des GPS-Verarbeitungssystems **700** in Fig. 7 und dem VPS **1000** in Fig. 10 auf. Es ist vorgesehen, daß der Super-Kalman-Filter **1200A** in Hardware bzw. Schaltungen konstruiert sein könnte, beispielsweise in einer integrierten Schaltung, einem optischen Filter oder ähnlichem.

[0182] Wie vom Pfeil **1210** gezeigt, empfängt der GPS-Kalman-Filter **802** Daten von einem terrestrischen Positionsbestimmungssystem, welches beispielsweise GPS-Daten und/oder Pseudolitendaten aufweisen könnte. Der GPS-Kalman-Filter **802** arbeitet mit den Daten und gibt eine erste Positionsabschätzung (FPE = first position estimate) aus, wie vom Pfeil **716** angezeigt.

[0183] Wie vom Pfeil **910** gezeigt, empfängt der VPS-Kalman-Filter **1202** MPS-Daten vom MPS **900**. Der VPS-Kalman-Filter arbeitet mit den MPS-Daten und gibt die zweite Positionsabschätzung (SPE = second position estimate) aus.

[0184] Die gewichtete Kombinationsvorrichtung **1204** empfängt die FPE bzw. erste Positionsabschätzung und die SPE bzw. zweite Positionsabschätzung, wie durch die jeweiligen Pfeile **716** und **1210** angezeigt. Die gewichtete Kombinationsvorrichtung **1204** gibt die Geschwindigkeit **1018** des Fahrzeugs **102** an den GPS-Kalman-Filter **802** aus. Der GPS-Kalman-Filter **802** paßt sich folgend der Geschwindigkeit **1018** des Fahrzeugs an, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung beim Pfeil **716** zu vergrößern.

[0185] Der GPS-Kalman-Filter **802** kann ausgelegt bzw. konstruiert sein, um sich in diskreten bzw. getrennten Zeitintervallen anzupassen, oder um sich kontinuierlich anzupassen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel paßt sich der GPS-Kalman-Filter **802** in diskreten Zeitintervallen an, und zwar aufgrund einer Balance zwischen Kosten und Leistung.

[0186] Es ist vorgesehen, daß nur ein Kalman-Filter (nicht gezeigt) vorgesehen werden könnte, um ein genaues terrestrisches Positionsbestimmungssystem vorzusehen. Insbesondere ist es möglich, daß man das GPS-Verarbeitungssystem **700** und das MPS **900** (mit einem Geschwindigkeitsmesser **902** und/oder einer IRU **904**) nur mit einem Kalman-Filter verbinden kann, der die dritte Positionsabschätzung ableitet. Jedoch würde eine solche Konfiguration nicht alle der vorteilhaften Attribute bzw. Merkmale wie das bevorzugte Ausführungs-

beispiel besitzen.

[0187] Der Super-Kalman-Filter der **Fig. 12** und **12A** besitzt die vorteilhaften Attributte bzw. Merkmale von sowohl einem einzelnen Kalman-Filter als auch von getrennten Kalman-Filtren. Wie konfiguriert, können der GPS-Kalman-Filter **710** und der VPS-Kalman-Filter **1202** kontinuierlich Daten austauschen und dadurch die Genauigkeit der ersten und zweiten Positionsabschätzungen vergrößern. Folglich werden die dritten Positionsabschätzungen verbessert. In gewisser Weise liegt ein einzelnes Kalman-Filter-System zwischen dem letztendlichen Ausgang bzw. der Ausgabe der dritten Positionsabschätzung und den eingegebenen Positionsdaten.

[0188] In einer anderen Weise wirken der GPS-Kalman-Filter **710** und der VPS-Kalman-Filter **1202** vollständig als getrennte unabhängige Filter. Wenn beispielsweise entweder GPS-Daten oder MPS-Daten verfärbt bzw. verrauscht sind, dann können die verfärbten Daten ganz oder teilweise durch die gewichtete Kombinationsvorrichtung **1204** mißachtet bzw. nicht beachtet werden, ohne die Genauigkeit der nicht verfärbten Daten zu beeinträchtigen. In einem System, welches einen einzelnen Kalman-Filter verwendet, wird die letztendliche Ausgabe oder dritte Positionsabschätzung im wesentlichen ungenau sein, wenn die GPS-Daten oder die MPS-Daten wesentlich verfärbt bzw. verfälscht sind.

[0189] Mit Bezug auf **Fig. 10** ist der VPS-I/O-Prozessor **1004** mit einem VPS-Kommunikationsschnittstellenprozessor **1020** gekoppelt. Der Kommunikationsschnittstellenprozessor **1020** ist der MVME331-Prozessor, der von Motorola, Inc., USA, im Handel erhältlich ist. Irgendein Prozessor, der denselben Zweck wie unten beschrieben durchführt, kann verwendet werden.

[0190] Der VPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **1020** kann mit drei unterschiedlichen Vorrichtungen gekoppelt sein: (1) einer VPS-Konsole **1012**, (2) einer Datensammelvorrichtung **1014** und (3) dem Navigationssystem **1022**. Der VPS-Kommunikations-Schnittstellenprozessor **1020** leitet die Daten, einschließlich der dritten Positionsabschätzung, die in der Ausgabe bzw. Ausgangsgröße **1016** enthalten sind an die obigen drei Vorrichtungen mit einer Rate von 20 Hz.

[0191] Die VPS-Konsole **1012** ist in der Technik wohlbekannt und ist von Digital Equipment Corporation, Minneapolis, Minnesota, unter der Modell-Nr. VT220 erhältlich. Diese VPS-Konsole **1012** wird verwendet, um den Ist-Zustand des VPS I/O-Prozessors **1004** abzubilden.

[0192] Die VPS-Datensammelvorrichtung **1014** kann irgendeine von zahlreichen im Handel erhältlichen elektronischen Verarbeitungs- und Speichervorrichtungen sein, beispielsweise ein Desktop PC. Irgendein Macintosh PC von Apple Computer, Cupertino, Kalifornien, erhältlich, kann erfolgreich verwendet werden, um diesen Zweck zu erreichen.

[0193] Das Navigationssystem **1022** weist die mit der Navigation des Fahrzeugs **102** assoziierten Merkmale auf. Das VPS **1000** überträgt die dritte Positionsabschätzung an das Navigationssystem **1022**, so daß das Navigationssystem **1022** genau und sicher das autonome bzw. automatische Fahrzeug **102** leiten kann.

#### E. Basisstation

[0194] Mit Bezug auf **Fig. 7** weist das Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** das GPS-Verarbeitungssystem **700** der **Fig. 7** auf. Die Zwecke bzw. Aufgaben des Host-Verarbeitungssystems **186** an der Basisstation **188** sind folgende: (1) Überwachen des Betriebs des Fahrzeugs **102**, (2) Vorsehen eines bekannten terrestrischen Referenzpunktes, von dem räumliche Ableitungen erzeugt werden können, und (3) Vorsehen bzw. Liefern irgendeiner anderen Information an das Fahrzeug **102**, falls nötig, und zwar über den Hochgeschwindigkeitsdatenkommunikationskanal **618**.

[0195] Die Basisstation **188** kann nahe am Fahrzeug **102** gelegen sein, vorzugsweise innerhalb von 20 Meilen. Die enge geographische Beziehung wird eine effektive bzw. wirksame Radiokommunikation bzw. Funkverbindung zwischen der Basisstation **188** und dem Fahrzeug **102** über den Kommunikationskanal **618** vorsehen. Sie wird auch einen genauen Referenzpunkt vorsehen zum Vergleichen der Satellitenübertragungen, die vom Fahrzeug **102** empfangen werden mit jenen, die von der Basisstation **188** empfangen werden.

[0196] Ein geographischer naher Referenzpunkt wird benötigt, um ordnungsgemäße bzw. genaue räumliche Ableitungen zu berechnen. Räumliche und Clock- bzw. Takttableitungen sind effektiv das Allgemeinmodus- bzw. Gesamtrauschen, das inhärent bzw. innewohnend in dem NAVSTAR-GPS und dem GPS-Verarbeitungssystem **700** existiert. Sobald sie in der Basisstation **188** berechnet worden sind, werden die räumlichen bzw. Raum- und Clockableitungen dann an das Fahrzeug **102** unter Verwendung des Datenradius **714** gesandt, wie in **Fig. 7** gezeigt. Die räumlichen Ableitungen werden unter Verwendung verschiedener Verfahren berechnet, die unten weiter besprochen werden.

[0197] Das Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** kann weiter die autonomen bzw. eigenständigen Aktivitäten des Fahrzeugs **102** koordinieren und bietet eine Schnittstelle für das VPS **1000** mit den menschlichen Überwachern.

## F. Satellitenbasierte Genauigkeitsverbesserungen

[0198] Die vorliegende Erfindung verbessert die Genauigkeit der Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102** über eine Anzahl von Differentialkorrekturtechniken. Diese Differentialableitungstechniken werden verwendet, um die ersten, zweiten und dritten Positionsabschätzungen zu verbessern.

[0199] Mehrere dieser Differentialkorrekturtechniken sind dazu ausgelegt, direkt Fehler (Rauschen oder Interferenzen) bei der Berechnung der Pseudobereiche R0, R2, R4 und R6 zu entfernen (sowohl tatsächliche als auch geschätzte Pseudobereiche). Die Entfernung dieser Fehler hat eine präzisere erste Positionsabschätzung zur Folge, die vom GPS-Verarbeitungssystem **700** an das VPS **1000** ausgegeben wird, und schließlich hat sie eine präzisere dritte Positionsabschätzung zur Folge, die vom VPS **1000** an das Navigationssystem **1022** ausgegeben wird.

[0200] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** für die Ausführung dieser Differential- bzw. Unterschiedstechniken verantwortlich und zum Liefern der Ergebnisse an das Fahrzeug **102**. Es sei daran erinnert, daß das Host-Verarbeitungssystem **186** das GPS-Verarbeitungssystem **700** ebenso wie das Fahrzeug **102** aufweist. Der Ausdruck "Differential" wird verwendet, da die Basisstation **188** und das Fahrzeug **102** ein unabhängiges, jedoch im wesentlichen identisches GPS-Verarbeitungssystem **700** verwenden. Weiterhin, da die Basisstation **188** stationär ist und ihre Absolutposition bekannt ist, dient sie als ein Referenzpunkt, von dem elektronische Fehler (Rauschen oder Interferenz) und andere phänomen- bzw. abweichungserzeugende Fehler zu messen sind.

## 1. Konstellationseffekte

[0201] **Fig. 13** ist ein Flußdiagramm **1300** des Konstellationseffektverfahrens zum Verbessern der Genauigkeit von ersten Positionsabschätzungen im bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Verfahren kann im GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** implementiert bzw. eingerichtet werden. Alternativ kann das Verfahren im Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** eingerichtet werden. Im letzteren Fall würde die durch das Verfahren bestimmte Information darauffolgend an das Fahrzeug **102** übermittelt werden, und zwar zur geeigneten Verbesserung der ersten Positionsabschätzungen.

[0202] Das Flußdiagramm **1300** zeigt ein Verfahren zum Auswählen der besten Satellitenkonstellation im Blickfeld der GPS-Antenne **702**. Für das Fahrzeug **102** können viele der GPS-Satelliten **132–170** im Blickfeld der GPS-Antenne **702** sein. Nur ein Untersatz bzw. ein Teil dieser Satelliten wird ausgewählt, um eine spezielle Konstellation aus irgendeiner Anzahl von Satelliten zu bilden (zumindest vier im bevorzugten Ausführungsbeispiel).

[0203] Im wesentlichen wird die "beste" oder "optimale" Konstellation, basierend auf geometrischen Betrachtungen ausgewählt. Die Lage im Raum der GPS-Satelliten **132–170** im Blickfeld der GPS-Antenne und der vorgesehene bzw. geplante Pfad des Fahrzeugs **102** werden in Betracht gezogen, wie im Detail unten besprochen werden wird.

[0204] Das Flußdiagramm **1300** beginnt mit einem Flußdiagrammblock **1302**. Im Flußdiagrammblock **1304** werden die geschätzten Pseudobereiche eines jeden GPS-Satelliten im Blickfeld von und mit Bezug auf die GPS-Antenne **702** berechnet. Geschätzte Pseudobereiche werden im Zusammenhang mit diesem Dokument als geschätzte Pseudobereich definiert, die von Almanach- bzw. Verzeichnisdaten und der Ephemeris bzw. der Himmelsstellung von GPS-Satelliten abgeleitet werden. Verzeichnisdaten beziehen sich auf zuvor aufgenommene Daten, die die Lage im Raum der GPS-Satelliten **132–170** zu bestimmten Zeiten während des Tages speichern.

[0205] Für das NAVSTAR-GPS liegen die Verzeichnisdaten in Form von Gleichungen mit Variablen vor. Diese Almanach- bzw. Verzeichnisgleichungen sind öffentlich von der US-Regierung verfügbar. Einige der Variablen identifizieren die GPS-Satelliten **132–170**. Weitere übrige Eingaben bzw. Eingangsgrößen weisen die Zeit auf, zu der ein geschätzter Pseudobereich zu bestimmen ist und die bekannte Lage des relevanten Punktes auf der Erde.

[0206] Um die geschätzten Pseudobereiche zu bestimmen, die sich auf jeden GPS-Satelliten beziehen, wird die folgende Information in diese Verzeichnisgleichungen eingesetzt: (1) die Parameter, die die GPS-Satelliten identifizieren, die in den GPS-Daten von den GPS-Satelliten codiert sind, (2) die laufende bzw. Ist-Zeit und (3) die bekannte Lage der Basisstation **188**.

[0207] Als nächstes werden im Flußdiagramm **1306** die geschätzten Pseudobereiche aufgezeichnet, und zwar unter Verwendung von Polarkoordinaten. **Fig. 14** ist eine Polardarstellung **1400** eines Koordinatensystems **1402**, die einen Satz von geschätzten Pseudobereichskreisen **1404, 1406, 1408** und **1410** veranschaulicht, die sich auf eine GPS-Satellitenkonstellation von vier (nicht gezeigten) GPS-Satelliten bezieht. Die geschätzten Pseudobereichskreise **1404, 1406, 1408** und **1410** werden gezogen, so daß eine Überschneidung am Mittelpunkt **1412** der Polarkarte **1400** existiert. Das Koordinatensystem **1402** reflektiert bzw. bestimmt den Azimuth von der Nordrichtung, wie angezeigt.

[0208] Die relativen Abstände zwischen den GPS-Satelliten und der GPS-Antenne werden auch in der Polar-karte **1400** dargestellt, und zwar durch die Größe der geschätzten Pseudobereichskreise **1404**, **1406**, **1408** und **1410**. Insbesondere ist der GPS-Satellit, der durch den geschätzten Pseudobereichskreis **1406** dargestellt wird, weiter weg als der GPS-Satellit, der durch den geschätzten Pseudobereichskreis **1408** dargestellt wird.

[0209] Mit Bezug auf **Fig. 14** zeigt eine schattierte elliptische Region bzw. Fläche **1412** die mögliche Position des Fahrzeugs **102**, wenn die (nicht gezeigten) GPS-Satelliten in Betracht gezogen werden, die die geschätzten Pseudobereichskreise **1406** und **1408** erzeugen. Ein wichtiger Parameter bei der Ellipsoiddarstellung ist das Verhältnis zwischen dem halb-groß und dem halbklein-Zugang (semi-major and semi-minor access) der Ellipse bzw. des Ellipsoiden, die das geometrische Verhältnis des Access- bzw. Zugangsfaktors genannt werden (GRAF = geometric ratio of access factor). Es ist vorgesehen, daß der GRAF in einem nächsten Flußdiagramm **1308** berechnet werden kann.

[0210] Mit Bezug auf den Flußdiagrammblock **1308** wird der GRAF zusammen mit dem Winkel des Hauptzugs verwendet, um einen Gewichtungsfaktor zu berechnen, der schließlich dem GPS-Verarbeitungssystem **700** helfen wird, eine genauere erste Positionsabschätzung zu berechnen, wie unten beschrieben. Wie im Flußdiagrammblock **1312** gezeigt, ist der GPS-Kalman-Filter **802** im GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** modifiziert, um sich der Form des geschätzten Ellipsoiden anzupassen, und auch den berechneten Nord-Ost-Koordinaten des Fahrzeugs **102**, wie in **Fig. 14** veranschaulicht. Darüberhinaus wird, wie durch einen Pfeil **1314** angezeigt, das vorangegangene Verfahren kontinuierlich wiederholt, um kontinuierlich die geschätzte Position der Mitte **1412** zu verbessern. In einem Flußdiagrammblock **1316** wird die optimale Satellitenkonstellation für den gewünschten bzw. Soll-Fahrzeugpfad bestimmt. Die optimale Konstellation wird eine sein, die den geringsten Fehler senkrecht zum gewünschten Fahrzeugpfad ergibt.

[0211] Wie in einem Flußdiagrammblock **1318** gezeigt, wird die optimale Satellitenkonstellation an das Fahrzeug **102** über das Datenradio **714** übertragen. Das Fahrzeug **102** verwendet die optimale Satellitenkonstellation, um die ersten Positionsabschätzungen zu berechnen.

## 2. Differentialkorrekturtechniken

### a. Originalableitungstechnik

[0212] Mit Bezug auf **Fig. 15** veranschaulicht ein Flußdiagramm **1500** die Originalableitungstechnik, die in der herkömmlichen Technik bekannt ist. Die Originalableitungstechnik ist ein Verfahren zum Berechnen von räumlichen Ableitungen, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen zu verbessern, die schließlich beim Definieren der dritten Positionsabschätzungen teilnehmen. Die Originalableitungstechnik, die unten im Detail beschrieben wird, verwendet eine bekannte Position der Basisstation **188** als einen Referenzpunkt zum Bestimmen von räumlichen Ableitungen (Originalableitungen = original biases).

[0213] Die Originalableitungstechnik kann im GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** implementiert bzw. vorgesehen werden. Darüberhinaus kann die Originalableitungstechnik im Host-Verarbeitungssystem **186** in der Basisstation **188** implementiert sein. Im letzteren Ansatz würde die Information, die durch das Verfahren bestimmt wird, darauffolgend an das Fahrzeug **102** übertragen bzw. übermittelt werden, und zwar für eine geeignete Verbesserung der ersten Positionsabschätzungen. Darüberhinaus übernimmt das bevorzugte Ausführungsbeispiel den letzteren Ansatz und implementiert die Originalableitungstechnik in das Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188**.

[0214] Die Originalableitungstechnik, wie in **Fig. 15** gezeigt, beginnt beim Flußdiagrammblock **1502**. Wie in einem Flußdiagrammblock **1504** gezeigt, werden der tatsächliche Pseudobereich (tatsächlicher Basispseudobereich) und der geschätzte Pseudobereich (geschätzter Basispseudobereich) für jeden GPS-Satelliten im Blickfeld der GPS-Antenne **702** im Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** berechnet. Der tatsächliche Basispseudobereich wird unabhängig von dem geschätzten Basispseudobereich berechnet. Der tatsächliche Basispseudobereich wird vom GPS-Empfänger **706** im Host-Verarbeitungssystem **186** berechnet. Darüberhinaus wird der geschätzte Basispseudobereich vom GPS-Prozessor **710** berechnet.

[0215] Die tatsächlichen Basispseudobereiche werden durch Messen der vergangenen Fortpflanzungszeit zwischen der Übertragung der elektromagnetischen Signale von einem GPS-Satelliten (oder Pseudoliten) und den Empfang der Signale beim Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** berechnet. Die elektromagnetischen Signale codieren die Übertragungszeit. Darüberhinaus nimmt der GPS-Empfänger **706** die Empfangszeit auf. Durch die Annahme, daß diese elektromagnetischen Signale mit Lichtgeschwindigkeit oder  $2,9979245898 \cdot 10^8$  Metern pro Sekunde laufen, kann der tatsächliche Pseudobereich für jeden Satelliten durch Multiplizieren der vergangenen Fortpflanzungszeit mal der Lichtgeschwindigkeit (in geeigneten Einheiten) bestimmt werden.

[0216] Die geschätzten Basispseudobereiche werden aus folgenden Größen berechnet: (1) Almanach- bzw. Verzeichnisdaten (beim NAVSTAR-GPS eine Verzeichnisgleichung), (2) die Übertragungszeit der elektromagnetischen Signale von den GPS-Satelliten, und (3) die bekannte Position (bekannte Basisposition) der Basis-

station **188**. Die Übertragungszeit und die bekannte Basisposition (BKP = base known position) wird in die Verzeichnisgleichung eingefügt, um einen gewählten Pseudobereich für einen Satelliten abzuleiten.

[0217] Clock- bzw. Taktleitungen (Basis-Clock-Ableitungen) zwischen den Schaltungsclocks bzw. -takten des Host-Verarbeitungssystems **186** und den erkannten GPS-Satelliten werden auch berechnet, wie im Flußdiagrammblock **1604** gezeigt. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird eine Basis-Clock-Ableitung für alle Satelliten berechnet. Die Basis-Clock-Ableitungen wird durch Zählen der Clock-Impulse eines Satelliten und des Host-Verarbeitungssystems **188** über eine vorgewählte Zeitperiode berechnet. Die Impulse werden dann verglichen, um eine Differenz abzuleiten. Die Differenz wird dann mit der Lichtgeschwindigkeit oder mit  $2,998 \cdot 10^8$  Metern pro Sekunde multipliziert, um die Takt- bzw. Clock-Ableitung in Längeneinheiten umzuwandeln. Jedoch sei bemerkt, daß irgendein Verfahren zum Berechnen und Ausdrücken einer Basis-Clock-Ableitung in der vorliegenden Erfindung verkörpert bzw. vorgesehen werden kann.

[0218] Wie im Flußdiagrammblock **1508** gezeigt, wird eine räumliche Ableitung (Originalableitung) berechnet, und zwar durch Subtrahieren von sowohl dem geschätzten Basispseudobereich als auch der Basis-Clock-Ableitungen (in Längeneinheiten) vom tatsächlichen Basispseudobereich. Die Originalableitung wird durch viele unterschiedliche Effekte verursacht, wie beispielsweise atmosphärische Zustände, Empfängerfehler usw. Es sei bemerkt, daß die Berechnung der Originalableitung nicht unter Verwendung des Fahrzeugs **102** als ein Referenzpunkt ausgeführt werden kann, weil die tatsächliche Position des Fahrzeugs **102** nicht bekannt ist. Jedoch könnte die Berechnung der Originalableitungen im Fahrzeug **102** ausgeführt werden.

[0219] Wie in einem Flußdiagrammblock **1510** gezeigt, wird der GPS-Kalman-Filter **802** im Host-Verarbeitungssystem **188** mit der Originalableitung aktualisiert. Weiter, wie durch einen Pfeil **1512** gezeigt, wird das Verfahren zum Berechnen der Originalableitungen kontinuierlich ausgeführt und die abgeleiteten Originalableitungen werden verwendet, um iterativ bzw. schrittweise den GPS-Kalman-Filter **802** zu aktualisieren.

[0220] Da das Fahrzeug **102** in enger Nähe zur Basisstation **188** ist, wird angenommen, daß der Fehler bei den Pseudobereichsberechnungen identisch ist. Daher wird die Originalableitung, die wie im Flußdiagrammblock **1508** gezeigt, bestimmt wurde, auch verwendet, um die tatsächlichen Pseudobereiche zu modifizieren, die vom GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** erzeugt werden. Entsprechend werden, wie in einem Flußdiagrammblock **1514** gezeigt, die Originalableitungen von der Basisstation **188** zum Fahrzeug **102** übertragen, und zwar unter Verwendung der Datenradios **620** und **622**.

[0221] Die Originalableitungen werden verwendet, um den GPS-Kalman-Filter **802** im Fahrzeug **102** zu aktualisieren. Das Aktualisieren des GPS-Kalman-Filters **802** hat genauere erste Positionsabschätzungen zur Folge.

#### b. Parabolische Ableitungstechnik

[0222] Wenn die GPS-Satelliten **132–170** am Himmel steigen und fallen bzw. aufgehen und untergehen, folgt der Pfad bzw. die Bahn, die von jedem GPS-Satelliten **132–170** gebildet wird einer Parabel mit Bezug auf die Verfolgungs- bzw. Tracking-Pseudobereiche auf oder nahe der Erdoberfläche. Daher kann eine Parabelfunktion abgeleitet werden, die die Bahn bzw. den Pfad eines jeden GPS-Satelliten am Himmel darstellt. Das Vorangegangene beschreibt den Kern der parabolischen Ableitungstechnik, die im Host-Verarbeitungssystem **186** in der Basisstation **188** im bevorzugten Ausführungsbeispiel ausgeführt wird. Es sei jedoch bemerkt, daß die parabolische Ableitungstechnik im Fahrzeug **102** ausgeführt werden kann.

[0223] Mit Bezug auf Fig. 16 veranschaulicht ein Flußdiagramm **1600** die parabolische Ableitungstechnik. Eine Parabelfunktion (Modell) wird für jeden GPS-Satelliten im Blickfeld der GPS-Antenne **702** an der Basisstation **188** berechnet.

[0224] Das Flußdiagramm **1600** beginnt mit einem Flußdiagrammblock **1602**. Wie in einem Flußdiagrammblock **1604** gezeigt, werden zu einer Zeit bzw. einem Zeitpunkt  $t(n)$  tatsächliche Pseudobereiche für jeden GPS-Satelliten im Blickfeld der GPS-Antenne **702** an der Basisstation bestimmt, und zwar unter Verwendung des GPS-Empfängers **706**, wie oben beschrieben. Wie in einem Flußdiagrammblock **1606** gezeigt, werden (für jeden GPS-Satelliten) tatsächliche Pseudobereiche in parabolische Einpaßmodelle für jeden GPS-Satelliten verkörpert bzw. eingesetzt. Somit wird im Flußdiagrammblock **1606** ein Punkt zum parabolischen Modell für jeden GPS-Satelliten hinzugefügt. Wie in einem Flußdiagrammblock **1608** gezeigt, wird ein Test ausgeführt, ob genug Punkte der parabolischen Modelle bestimmt worden sind, um eine parabolische Funktion für jeden GPS-Satelliten zu schätzen. Die Anzahl der Punkte, die gesammelt worden sind, wird einen bestimmten statistischen  $R^2$ -Wert bestimmen. Gemäß der Erfindung wird der  $R^2$ -Wert wie folgt berechnet:

SUM<sup>2</sup> (geschätzter Pseudobereich (t) - Mittelwert  
der geschätzten Pseudobereiche)

$$R^2 = \frac{\text{SUM}^2 \text{ (tatsächlicher Pseudobereich (t) - Mittelwert der vorherigen tatsächlichen Pseudobereiche)}}{\text{SUM}^2 \text{ (geschätzter Pseudobereich (t) - Mittelwert der geschätzten Pseudobereiche)}}$$

[0225] Die obige statische Standardgleichung ist in der herkömmlichen Technik wohlbekannt. Zur weiteren Besprechung dieser Gleichung sei Bezug genommen auf Draper, "Applied Regression Analysis", Ausgabe 1966. Durch Definieren von N als die Anzahl der berechneten Pseudobereiche, und zwar sowohl der geschätzten als auch der tatsächlichen, und durch mathematisches Expandieren der Gleichung kann die folgende leichter verwendbare Form der Gleichung leicht abgeleitet werden:

$$\begin{aligned} & N * \text{SUM}(\text{Quadrat aller geschätzten Pseudobereiche}) - \\ & 2 * \text{SUM}(\text{geschätzte Pseudobereiche}) * \\ & \text{SUM}(\text{tatsächliche Pseudobereiche}) + \\ & \text{SUM}(\text{tatsächliche Pseudobereiche})^2 \end{aligned}$$

$$R^2 = \frac{N * \text{SUM}(\text{Quadrat aller tatsächlichen Pseudobereiche}) - \text{SUM}(\text{tatsächliche Pseudobereiche})}{N * \text{SUM}(\text{Quadrat aller tatsächlichen Pseudobereiche})}$$

[0226] Wie im Flußdiagrammblöck **1608** gezeigt, falls dieser R<sup>2</sup>-Wert im bevorzugten Ausführungsbeispiel größer als 0,98 ist, dann wird das parabolische Modell als genau genug angesehen, um den zukünftigen Pfad bzw. die Bahn des GPS-Satelliten zu schätzen. Wenn der R<sup>2</sup>-Wert kleiner oder gleich 0,98 ist, dann müssen mehr Punkte des parabolischen Modells berechnet werden. Diese Punkte werden durch Einsetzen der Pseudobereichsdaten berechnet, die kontinuierlich vom GPS-Empfänger **706** berechnet werden.

[0227] Wie in einem Flußdiagrammblöck **1610** gezeigt, inkrementiert bzw. steigt der N-Wert, um zu zeigen, daß die Zeit, zu der der Pseudobereich berechnet wurde, vorangeschritten bzw. gestiegen ist, wie im Flußdiagrammblöck **1604** gezeigt. Da der GPS-Empfänger **706** tatsächliche Pseudobereiche für jeden GPS-Satelliten bei 2 Hz (zweimal in der Sekunde) ausgibt, sollte jedes N-Inkrement bzw. jeder N-Schritt ungefähr eine halbe Sekunde darstellen.

[0228] Wenn genug Datenpunkte gesammelt worden sind, daß der R<sup>2</sup>-Wert größer als 0,98 ist, dann wird, wie in einem Flußdiagrammblöck **1612** gezeigt, angenommen, daß die parabolischen bzw. Parabelmodelle genau genug sind, um eine Umlaufbahn eines Satelliten darzustellen. Wie im Flußdiagrammblöck **1612** gezeigt, stellen die parabolischen Modelle Punkte auf den vergangenen und zukünftigen Satellitenpfaden dar. Nun, da die parabolischen Modelle vollständig sind, können zukünftige Punkte auf den Modellen extrapoliert werden, wie in einem Flußdiagrammblöck **1614** gezeigt.

[0229] Wie im Flußdiagrammblöck **1614** gezeigt, wird für die Zeit T(n + 1) der Lagepunkt für jedes der parabolischen Modelle berechnet. Die Lagepunkte sind die erwarteten tatsächlichen Pseudobereiche der GPS-Satelliten zur Zeit T(n + 1). Sobald dieser Lagepunkt berechnet wird, wird der Bereich für den Lagepunkt (Abstand zwischen der GPS-Antenne **702** und dem GPS-Satelliten) berechnet, wie in einem Flußdiagrammblöck **1616** gezeigt.

[0230] In einem Flußdiagrammblöck **1618** werden die tatsächlichen Pseudobereiche für die Zeit T(n + 1) berechnet, welche die laufende Zeit im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist. Die tatsächlichen Pseudobereiche werden vom GPS-Empfänger **706**, wie oben beschrieben, berechnet. Diese tatsächlichen Pseudobereiche bei T(n + 1) werden in die parabolischen Anpaßmodelle während der nächsten Iteration des Flußdiagramms **1600** eingesetzt.

[0231] Wie in einem Flußdiagrammblöck **1620** gezeigt, werden der tatsächliche Pseudobereich, der zur Zeit T(n + 1) berechnet wurde, und die Clock-Basisableitung (in Längeneinheiten) für jeden Satelliten vom Lagepunktbereich abgezogen, um eine parabolische Ableitung für jeden Satelliten zu erzeugen.

[0232] Wie im Flußdiagrammblöck **1624** gezeigt, werden die parabolischen Ableitungen dann an das GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** über das Datenradio **714** übertragen. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** verwendet die parabolischen Ableitungen, um die Genauigkeit der Berechnungen seines tatsächlichen Pseudobereiches (tatsächlicher Fahrzeugpseudobereich) zu verbessern, um da-

durch die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen zu vergrößern bzw. zu verbessern.

#### c. Basisresiduen-Ableitungstechnik

[0233] **Fig. 17** veranschaulicht ein Flußdiagramm **1700** zum Implementieren bzw. Anwenden der Basisresiduen-Ableitungstechnik. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Basisresiduen-Ableitungstechnik im Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** ausgeführt. Nachdem die Basisresiduen-Ableitung in der Basisstation **188** berechnet worden ist, wird sie an das GPS-Verarbeitungssystem **700** des Fahrzeugs **102** übertragen. Das GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** verwendet die Basisresiduen-Ableitung, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen zu verbessern.

[0234] Eine Basisresiduen-Ableitung im Zusammenhang mit diesem Dokument ist eine Differenz der bekannten Basisposition der Basisstation **188** und der Positionsabschätzung (erste Positionsabschätzung, wenn sie durch das Fahrzeug **102** berechnet wurde) der Basisstation **188**, die durch das Host-Verarbeitungssystem **186** in der Basisstation **188** berechnet wird. Um zu veranschaulichen, wie dies funktioniert, sei angenommen, daß die Basisstation an der Ecke der Elm- und der Maple-Straße ist. Es sei auch angenommen, daß das GPS-Verarbeitungssystem **700** in der Basisstation **188** die Position der Basisstation **188** so einschätzt, daß sie vier Meilen nach Süden von der in der bekannten Basisposition ist (der Ecke Elm/Maple-Straße). Es ist offensichtlich, daß die Basisresiduen-Ableitung eine Distanz gleich vier Meilen in einer Südrichtung ist.

[0235] Da das GPS-Verarbeitungssystem **700** im Fahrzeug **102** gleich dem GPS-Verarbeitungssystem **700** in der Basisstation **188** ist, kann der Vier-Meilen-Fehler bei der Berechnung als im Fahrzeug **102**, genauso wie in der Basisstation **188** auftretend angesehen werden. Das Fahrzeug **102** kann dann diese Information in seinem GPS-Prozessor **710** verwenden. Im Endeffekt wird der GPS-Prozessor im Fahrzeug **102** seine ersten Positionsabschätzungen modifizieren, um einem Vier-Meilen-Süd-Fehler in den Daten Rechnung zu tragen.

[0236] Das Verfahren der Basisresiduen-Ableitungstechnik wird nun im Detail mit Bezug auf **Fig. 17** besprochen werden. Bei einem Flußdiagrammblock **1704** werden die exakten Polarkoordinaten  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  der Basisstation **188** aus der bekannten Basisposition gehalten.

[0237] Bei einem Flußdiagrammblock **1706** werden die tatsächlichen Basispseudobereiche, die geschätzten Basis-Pseudobereiche und die Basisclock- bzw. Basistakt-Ableitungen durch das Host-Verarbeitungssystem **186** an der Basisstation **188** berechnet. Wenn der GPS-Empfänger **706** am Fahrzeug **102** konfiguriert ist, um Daten aus einer speziellen Konstellation von (nicht gezeigten) GPS-Satelliten zu lesen, dann wird der GPS-Empfänger **706** in der Basisstation **188** die gleiche Satellitenkonstellation verwenden. Wie im Flußdiagrammblock **1708** angezeigt, wird eine Positionsabschätzung (Basispositionsabschätzung) der Basisstation **188** berechnet. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Basispositionsabschätzung in derselben Weise berechnet wie die erste Positionsabschätzung im Fahrzeug **102**.

[0238] Als nächstes wird in einem Flußdiagrammblock **1710** die Basispositionsabschätzung mit der bekannten Basisposition verglichen. Die Differenz (wie beispielsweise die vier Meilen in dem obigen Beispiel), falls es eine gibt, zwischen der Basispositionsabschätzung und der bekannten Basisposition wird in diesem Dokument als Basisresiduen-Ableitung bezeichnet.

[0239] Die Basisresiduen-Ableitung wird an das Fahrzeug **102** über das Datenradio **714** übertragen, wie im Flußdiagrammblock **1712** angezeigt. Die Basisresiduen-Ableitung wird im GPS-Prozessor **710** des Fahrzeugs **102** verarbeitet, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung zu verbessern.

#### d. Basiskorrelationsableitungstechnik

[0240] **Fig. 17A** veranschaulicht ein High-Level-Flußdiagramm **1700A** der Basiskorrelatortechnik bzw. Basiskorrelationstechnik, die in der vorliegenden Erfindung verwendet wird, um die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102** zu verbessern. Im allgemeinen weist die Technik die Verwendung der bekannten Position eines Referenzpunktes als einen Weg zur Verbesserung der Genauigkeit auf. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel dient die Basisstation **188** als der Referenzpunkt. Die Methode des Flußdiagramms **1700A** wird im Detail insbesondere mit Bezug auf **Fig. 6** besprochen werden.

[0241] Bei der Basiskorrelatortechnik bzw. Basiskorrelationstechnik werden räumliche Ableitungen (räumliche Basisableitungen) und Takt-Ableitungen (Basistakt-Ableitungen) anfangs durch das Host-Verarbeitungssystem **186** in der Basisstation **188** der **Fig. 6** berechnet, wie im Flußdiagrammblock **1705** angezeigt. Die räumlichen Basisableitungen können irgendeine räumliche Fehlerberechnung sein, und zwar einschließlich der originalen und parabolischen Ableitungen, die zuvor in diesem Dokument besprochen wurden, jedoch nicht darauf beschränkt.

[0242] Insbesondere sei daran erinnert, daß die Originalableitung durch das Abziehen von sowohl geschätzten Pseudobereichen (geschätzter Basispseudobereich) als auch Basis-Clock-Ableitungen von tatsächlichen Pseudobereichen (tatsächliche Basispseudobereiche) berechnet wird. Die geschätzten Basispseudobereiche werden aus folgendem bestimmt: (1) Almanach- bzw. Verzeichnisdaten, (2) die Übertragungszeit der Satelli-

tensignale, und (3) die bekannte Position (bekannte Basisposition) der Basisstation **188**. Die Basis-Clock- bzw. Basis-Takt-Ableitungen sind die Differenzen bei den Clock-Zeiten zwischen der Übertragungsschaltung der GPS-Satelliten und/oder den Pseudolitzen und der Empfangsschaltung der Basisstation **188**. Die Basis-Clock-Ableitungen werden in Längeneinheiten ausgedrückt, und zwar dadurch, daß man sie mit der Lichtgeschwindigkeit multipliziert. Die tatsächlichen Basispseudobereiche werden aus den Fortpflanzungszeitverzögerungen zwischen Übertragung und Empfang der elektromagnetischen Signale bestimmt, die von den GPS-Satelliten und/oder Pseudolitzen an die Basisstation **188** gesandt werden.

[0243] Darüberhinaus wird die parabolische Ableitung durch das Konstruieren bzw. Bilden von parabolischen Modellen für die tatsächlichen Basispseudobereiche eines jeden beobachteten GPS-Satelliten berechnet, und durch das Extrapolieren von Werten aus den parabolischen Modellen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die parabolischen Ableitungen die tatsächliche Basispseudobereiche minus dem Wert, der von den konstruierten bzw. festgelegten parabolischen Modellen extrapoliert bzw. abgeleitet wurde, und minus der Basis-Clock-Ableitungen (in Längeneinheiten).

[0244] Wie im Flußdiagrammblock **1709** gezeigt, überträgt die Basisstation **188** an das Fahrzeug **102** entlang des Kommunikationskanals **618** seine tatsächlichen Basispseudobereiche, die geschätzten Basispseudobereiche, räumliche Basisableitungen, Basis-Clock- bzw. Basis-Takt-Ableitungen und die bekannte Basisposition der Basisstation **188**. Da sie selbst als eine sehr genaue Schätzung gedacht ist, kann die bekannte Basisposition durch irgendwelche geeigneten Mittel bestimmt werden, einschließlich des neuartigen Systems und Verfahrens der vorliegenden Erfindung oder irgendwelchen anderen herkömmlichen Systemen und Verfahren, jedoch nicht darauf beschränkt. Nachdem das Fahrzeug **102** die vorangegangene Information von der Basisstation **188** empfängt, verwendet der GPS-Prozessor **710** des Fahrzeugs **102** diese Information in der Berechnung seiner eigenen räumlichen Ableitungen (räumliche Fahrzeugableitungen).

[0245] Bevor das Fahrzeug **102** Berechnungen ausführt, um die räumlichen Fahrzeugableitungen im Flußdiagrammblock **1713** abzuleiten, berechnet sein GPS-Empfänger **706** seine eigenen tatsächlichen Pseudobereiche (tatsächliche Fahrzeugpseudobereiche), seine eigenen geschätzten Pseudobereiche (geschätzte Fahrzeugpseudobereiche) und seine eigenen Clock-Ableitungen (Fahrzeug-Clock-Ableitungen). Aus den tatsächlichen Fahrzeugpseudobereichen zieht sein GPS-Prozessor **710** die geschätzten Fahrzeug-Pseudobereiche, die Fahrzeug-Clock-Ableitungen und die räumlichen Basisableitungen ab, die von der Basisstation **188** in einem Flußdiagrammblock **1709** gesandt worden sind. Das Resultat ist eine genauere Berechnung der räumlichen Fahrzeugableitung beim Fahrzeug **102**.

[0246] Die räumliche Fahrzeugableitung wird dann verwendet, um genauer die erste Positionsabschätzung (FPE) des Fahrzeugs **102** zu schätzen, wie im Flußdiagrammblock **1717** gezeigt. Es sei bemerkt, daß die erste Positionsabschätzung eine Schätzung der absoluten Position des Fahrzeugs **102** ist (mit Bezug auf den Mittelpunkt der Erde **172**).

[0247] Beginnend mit einem Flußdiagrammblock **1721** ist ein iteratives Verfahren eingeführt worden, um die erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** zu verbessern. Das Verfahren sieht die Verwendung einer Basisstation **314** als eine Art von Korrelator- bzw. Korrelationsvorrichtung vor. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird das Verfahren durch den GPS-Kalman-Filter **802** implementiert bzw. festgelegt.

[0248] Beim Flußdiagrammblock **1721** wird eine geschätzte Relativposition (HBE) der Basisstation **188** mit Bezug auf das Fahrzeug **102** bestimmt. Es wird angenommen, daß der Anfangszustand des FPE der laufende Wert FPE(i) ist, wobei i der positive Integer bzw. ganzzahlige Wert ist, der der Iteration entspricht. Folglich, wenn das Verfahren vom Flußdiagrammblock **1717** zum Block **1721** voranschreitet, wird der laufende Wert von FPE(i) FPE(0) sein.

[0249] Immer noch im Flußdiagrammblock **1721** berechnet das Fahrzeug **102** als nächstes eine geschätzte Position (geschätzte Basisposition; BEP = base estimated position) der Basisstation **188** unter Verwendung der tatsächlichen Basispseudobereiche, der geschätzten Basispseudobereiche, der räumlichen Basisableitungen und der Basis-Clock- bzw. Basis-Takt-Ableitungen, die alle an das Fahrzeug **102** von der Basisstation **188** übertragen werden. Es sei bemerkt, daß die geschätzte Basisposition eine absolute Position ist (relativ zur Oberfläche der Erde **172**). Durch das Abziehen der geschätzten Basisposition von der ersten Positionsabschätzung wird eine geschätzte Relativposition (HBE) der Basisstation **188** mit Bezug auf das Fahrzeug **102** bestimmt.

[0250] Wie im Flußdiagrammblock **1725** angezeigt, wird ein HBA bestimmt. HBA ist eine weitere geschätzte Relativposition der Basisstation **188** mit Bezug auf das Fahrzeug **102**. Jedoch wird die HBA anders als die HBE durch Abziehen der bekannten Basisposition (BKP) von der ersten Positionsabschätzung (FPE) berechnet. Somit sind HBE und HBA dahingehend unterschiedlich, daß die erstere unter Verwendung von GPS-Daten und/oder Pseudolitendaten berechnet wird, während die letztere unter Verwendung der bekannten Daten berechnet wird.

[0251] Als nächstes wird in einem Flußdiagrammblock **1729** eine Versetzung (offset) berechnet, und zwar durch Abziehen von HBE und HBA. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist das Offset bzw. die Versetzung ein Vektor in einem zweidimensionalen orthogonalen Koordinatensystem. Es ist vorgesehen, daß ein dreidimen-

sionaler Vektor implementiert bzw. verwendet werden könnte, um die Anhebungs- bzw. Höhenunterschiede zwischen dem Fahrzeug **102** und der Basisstation **188** in Betracht zu ziehen.

[0252] In einem Flußdiagrammblock **1733** wird eine neue FPE(i) bzw. erste Positionsabschätzung berechnet, und zwar durch Subtrahieren des Offsets bzw. der Versetzung von der alten FPE bzw. ersten Positionsabschätzung. In anderen Worten, wird die Versetzung als eine Ableitung verwendet und wird von der FPE(i) abgezogen, um die Genauigkeit der FPE(i) zu vergrößern.

[0253] Im Flußdiagrammblock **1737** wird das Offset bzw. die Versetzung mit einer vorgewählten Schwelle verglichen. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel besitzt jede Vektorkomponente eine entsprechende Schwelle. Wenn alle Vektorkomponenten nicht geringer als ihre entsprechenden vorgewählten Schwellen sind, dann beginnt das Flußdiagramm **1700A** wieder mit dem Flußdiagrammblock **1721**, wie von einem Feedback- bzw. Rückkoppelungspfeil **1739** angezeigt. In diesem Fall wird die positive ganzzahlige Zahl i um eins vergrößert, um eine weitere Iteration und eine unterschiedliche FPE(i) bzw. erste Positionsabschätzung anzuzeigen. Die vorliegende Erfindung wird in zyklischer oder schleifenartiger Weise arbeiten, bis die vorgewählte Schwelle erreicht oder überschritten wurde.

[0254] Wenn die Versetzung schließlich die vorgewählte Schwelle erreicht, dann wird angenommen, daß die FPE bzw. erste Positionsabschätzung der laufende Zustand von FPE(i) ist, wie im Flußdiagrammblock **1743** gezeigt. Daher liefert die Basiskorrelationsableitungstechnik eine größere Genauigkeit der FPE.

#### G. Satellitenpositions vorhersagevorrichtung

[0255] Die vorliegende Erfindung weist ein Verfahren auf, durch welches die zukünftigen Positionen der GPS-Satelliten **132–170** vorhergesagt werden können, und zwar mit Bezug auf eine absolute Position der Basisstation **188** und/oder des Fahrzeugs **102**. Die zukünftigen Positionen basieren auf geschätzten Pseudobereichen, die vom GPS-Prozessor **710** im Host-Verarbeitungsprozessor **188** und/oder dem VPS **1000** berechnet worden sind. Darüberhinaus können Berechnungen in der Basisstation **188** und/oder dem Fahrzeug **102** ausgeführt werden und irgendwohin übertragen werden, falls nötig.

[0256] Durch Vorhersagen der zukünftigen Positionen der GPS-Satelliten **132–170** können optimale Satellitenkonstellationen für das Fahrzeug **102** gut im voraus bestimmt werden. Somit kann die vorliegende Erfindung die Vorhersage der Satellitenverfügbarkeit und -nichtverfügbarkeit in systematischer Weise vorsehen. Sie gestattet weiter eine zukünftige Planung bezüglich des Betriebs, des Services und der Instandhaltung des Fahrzeugs **102**.

[0257] Mit Bezug auf **Fig. 18** veranschaulicht ein Flußdiagramm **1800** das Satellitenpositions vorhersageverfahren der vorliegenden Erfindung. In einem Flußdiagrammblock **1804** werden für einen speziellen GPS-Satelliten zukünftige Daten und die Zeit erhalten oder ausgewählt, und zwar aus einer Anzahl von oben besprochenen Gründen.

[0258] Nachdem zukünftige Daten und die Zeit aufgenommen worden sind, wird die Position der Basisstation **188** und/oder des Fahrzeugs **102** bestimmt, wie in einem Flußdiagrammblock **1806** gezeigt. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Basisstation **188** als der Referenzpunkt verwendet. Die Position der Basisstation **188** könnte die bekannte Basisposition oder die Basispositionsabschätzung sein (von denen beide mit Bezug auf die Basisresiduentechnik besprochen worden sind). Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die bekannte Basisposition verwendet und es wird im folgenden darauf Bezug genommen.

[0259] Wie in einem Flußdiagrammblock **1808** gezeigt, werden dann die Verzeichnisdaten befragt. Wie zuvor in diesem Dokument besprochen, liegen die Verzeichnisdaten für das NAVSTAR-GPS in Form von Almanach- bzw. Verzeichnisgleichungen vor. Durch das Eingeben einer Satellitenidentität in die Verzeichnisgleichungen können die zukünftigen Daten bzw. das Datum und die Zeit und die bekannte Basisposition und die zukünftige Position von irgendeinem Satelliten bestimmt werden.

[0260] Wenn die zukünftige Position eines Satelliten relativ zur Basisstation **188** unter Verwendung der Verzeichnisgleichungen bestimmt worden ist, ist die zukünftige Position in orthogonalen XYZ-Koordinaten, wie bei einem Flußdiagrammblock **1808** gezeigt. Schließlich werden im bevorzugten Ausführungsbeispiel in einem Flußdiagrammblock **1810** die Länge, Breite, Höhe und der Azimuth des Satelliten aus den XYZ-Koordinaten und der Position der Basisstation **188** berechnet.

[0261] Aus der Berechnung der zukünftigen Positionen von Satelliten können optimale Satellitenkonstellationen bestimmt werden. Optimale Satellitenkonstellationen, die unter Verwendung der Basisstation **188** als der Referenzpunkt bestimmt worden sind, können in das Fahrzeug **102** eingegeben werden, wenn es nahe der Basisstation **188** ist.

#### N. Gewichtete Pfadhistorie

[0262] Die gewichtete Pfadhistorientechnik bzw. Technik mit gewichteter Pfadhistorie der vorliegenden Erfindung verbessert die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzungen des Fahrzeugs **102**, die von dem

GPS-Verarbeitungssystem **700** abgeleitet werden. Es sei bemerkt, daß die Technik mit gewichteter Pfadhisto-  
rie in einer identischen Weise implementiert bzw. eingerichtet werden könnte, wie sie unten beschrieben ist, um  
die Genauigkeit der dritten Positionsabschätzungen zu verbessern, die vom VPS **1000** abgeleitet sind. Die  
Technik mit gewichteter Pfadhisto-  
rie ist in den **Fig.** 19 und 20 abgebildet.

[0263] Im wesentlichen verwendet die Technik mit gewichteter Pfadhisto-  
rie die vorherigen ersten Positions-  
abschätzungen, um ein Fahrzeugpfad- bzw. Fahrzeugwegmodell zum Testen der Gültigkeit der zukünftigen  
ersten Positionsabschätzungen abzuleiten. Die Verwendung der Technik mit gewichteter Pfadhisto-  
rie hat eine  
Verringerung des Wanderns bzw. Abwanderns der ersten Positionsabschätzungen und eine verbesserte Un-  
empfindlichkeit gegen fehlerhafte Positions berechnungen zur Folge. Der Ausdruck "Wandern" bzw. "Abwan-  
dern" im Zusammenhang mit diesem Dokument bedeutet die Tendenz des GPS-Verarbeitungssystems **700**,  
fehlerhafte Fahrzeugpositionen zu schätzen, die von dem tatsächlichen Fahrzeugpfad abweichen.

[0264] Mit Bezug auf **Fig.** 19 beginnt das Flußdiagramm der gewichteten Pfadhisto-  
rie mit einem Flußdiagrammblock **1902**. Eine erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** wird berechnet und vom GPS-Verar-  
beitungssystem **700** aufgenommen, wie in einem Flußdiagrammblock **1904** angezeigt. Erste Positionsabschätzun-  
gen können über die Zeit aufgenommen werden. Wie in **Fig.** 20 gezeigt, werden erste Positionsabschätzun-  
gen **2002, 2004, 2006, 2008, 2010** und **2012** des Fahrzeugs **102** in einem Diagramm **2000** dargestellt bzw.  
gezeichnet, um letztendlich einen Fahrzeugpfad **2022** abzuleiten.

[0265] Bei einem Flußdiagrammblock **1906** wird die erste Positionsabschätzung verwendet, um eine Pfad-  
gleichung zu manipulieren/abzuleiten, die sich am besten dem Pfad bzw. Weg des Fahrzeugs **102** anpaßt. In  
anderen Worten, werden die ersten Positionsabschätzungen über die Zeit akkumuliert bzw. gesammelt, um  
eine genaue "Pfadgleichung" abzuleiten. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die Pfadgleichung eine (pa-  
rabolische) Gleichung zweiten Grades. Jedoch sei bemerkt, daß eine Gleichung dritten Grades (mit einem ma-  
thematischen Wendepunkt) vorgesehen ist, um die Fahrzeugpfade und die Fahrzeugwendungen aufzuneh-  
men. Darüberhinaus könnte ein Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung Kombinationen von irgend-  
welchen Arten von Gleichungen verwenden, um eine unendliche Anzahl von unterschiedlichen Fahrzeugpfad-  
en einzupassen bzw. aufzuzeichnen.

[0266] Bei einem Flußdiagrammblock **1908** wird der statistische  $R^2$ -Wert mit Bezug auf die Pfadgleichung und  
die erste Positionsabschätzung berechnet und mit einem numerischen Schwellenwert verglichen. Im bevor-  
zugten Ausführungsbeispiel ist die Schwelle auf 0,98 eingestellt worden. Der statistische  $R^2$ -Wert wurde im De-  
tail zuvor in diesem Dokument besprochen. Im Zusammenhang mit der Technik mit gewichteter Pfadhisto-  
rie der **Fig.** 19 stellt der  $R^2$ -Wert die Anzahl der ersten Positionsabschätzungen dar, die soweit bzw. bis jetzt auf-  
genommen worden sind, und daher stellt er die statistische Genauigkeit einer zukünftigen Vorhersage aus der  
Pfadgleichung dar.

[0267] Wenn der  $R^2$ -Wert nicht größer als oder gleich 0,98 ist, dann wird ein Test in einem Flußdiagrammblock  
**1910** ausgeführt, um zu bestimmen, ob eine neue Pfadgleichung abgeleitet werden sollte. In anderen Worten,  
wird die Bestimmung gemacht, ob die laufend gesammelten ersten Positionsabschätzungen genauso wie die  
Pfadgleichung ungenau sind und man sich daher nicht auf sie verlassen sollte.

[0268] Im bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Anzahl der ersten Positionsabschätzungen gezählt und  
mit einer Schwelle von 20 verglichen. Irgendeine Schwellenanzahl könnte vorgewählt sein. Wenn mehr als 20  
erste Positionsabschätzungen berechnet worden sind, dann bewegt sich das Flußdiagramm zum Block **1914**.  
Der Flußdiagrammblock **1914** zeigt an, daß eine neue Pfadgleichung gestartet bzw. begonnen werden wird,  
und zwar während der nächsten Iteration des Flußdiagramms **1900** beim Flußdiagrammblock **1906**.

[0269] Wenn weniger oder genau 20 erste Positionsabschätzungen berechnet und gesammelt wurden, dann  
wird die vorliegende Pfadgleichung des Flußdiagrammblocks **1906** immer noch verwendet und wird wiederum  
in Betracht gezogen, und zwar während der nächsten Iteration des Flußdiagramms **1900**. Darüberhinaus wird  
die erste Positionsabschätzung aus dem GPS-Verarbeitungssystem **700** ausgegeben, wie bei einem Flußdia-  
grammblock **1912** gezeigt.

[0270] Mit Bezug auf den Flußdiagrammblock **1908**, wenn der  $R^2$ -Wert der Pfadgleichung größer oder gleich  
als 0,98 ist, dann wird wie in einem Flußdiagrammblock **1916** gezeigt, die erste Positionsabschätzung modifi-  
ziert, um die am besten passende Voraussage aus der vorliegenden Pfadgleichung zu sein. Schließlich wird  
die Positionsabschätzung durch das GPS-Verarbeitungssystem **700** ausgegeben, und zwar wie durch den  
Flußdiagrammblock **1912** gezeigt.

[0271] Die **Fig.** 20 veranschaulicht graphisch das Szenario bei der Ausgabe. Die erste Positionsabschätzung  
**2010** des Fahrzeugs **102** ist radikal bzw. stark unterschiedlich von der eingepaßten Vorhersage **2006** der Pfad-  
gleichung. Schließlich wird die erste Positionsabschätzung **2010** durch die am besten passende Vorhersage  
**2006** ersetzt, solange der  $R^2$ -Wert der Pfadgleichung größer als oder gleich einer vorbestimmte Schwelle ist,  
und solange genug Positionsabschätzungen aufgenommen worden sind.

[0272] Die Linien **2014** und **2016** veranschaulichen den Annehmbarkeitsbereich mit Bezug auf die ersten Po-  
sitionsabschätzungen. Die Linien **2014** und **2016** stellen die physikalische Manifestation bzw. Verkörperung  
der  $R^2$ -Werte dar. Somit wird die Vorhersage zum besten Einpassen **2006** vom GPS-Verarbeitungssystem **700**

an das Navigationssystem **1022** ausgegeben, anstelle der ersten Positionsabschätzung **2010**, die außerhalb der Spanne bzw. Umhüllung der Linie **2016** liegt.

[0273] **Fig. 20A** zeigt ein Flußdiagramm **2000A** auf hohem Niveau eines Verfahrens zum Implementieren der Technik mit gewichteter Pfadhistorie, wie in den **Fig. 19** und **20** offenbart. Das Verfahren, wie gezeigt, nimmt einen Fahrzeuglaufpfad mit scharfen Ecken, Schnittpunkten und/oder einen stark nicht linearen Pfad auf. Das Verfahren vergrößert die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung (FPE) des Fahrzeugs **102**, ausgegeben durch das GPS-Verarbeitungssystem **700**.

[0274] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel implementiert die neue Methodik bzw. das neue Verfahren der **Fig. 20A** über Software. Die Software kann im GPS-Prozessor **710** des GPS-Verarbeitungssystems **700** im Fahrzeug **102** gelegen sein, und/oder bei der Basisstation **188**.

[0275] Das Flußdiagramm **2000A** beginnt im Flußdiagrammblock **2001** und endet im Flußdiagrammblock **2019**. Wie im Flußdiagrammblock **2005** gezeigt, berechnet das GPS-Verarbeitungssystem **700**, wie in den **Fig. 7** und **8** offenbart, die erste Positionsabschätzung unter Verwendung irgendeiner der zuvor in diesem Dokument besprochenen Ableitungstechniken. Im bevorzugten Ausführungsbeispiel stellen die Ableitungstechniken, die zum Verfahren der **Fig. 20A** gehören, beispielsweise die originale Ableitungstechnik der **Fig. 15** und die parabolische Ableitungstechnik der **Fig. 16** dar.

[0276] Beim Flußdiagrammblock **2009** wird eine Entscheidung gemacht, ob das Fahrzeug **102** sich nähert oder in der Mitte einer scharfen Ecke bzw. Kurve, einem Schnittpunkt oder einem unregelmäßigen Pfad ist. Die benötigte Information, um diese Frage zu beantworten, kann an den GPS-Prozessor **710** vom Navigator **406** der **Fig. 4** geliefert werden. Wenn die Antwort auf diese Frage negativ ist, dann schreitet das Flußdiagramm **2000A**, wie durch einen Pfeil **2013** angezeigt, fort. In der Alternative, d. h. wenn die Antwort auf diese Frage bestätigend ist, dann schreitet das Flußdiagramm **2000A**, wie durch einen Pfeil **2021** angezeigt, voran. Beide dieser Alternativwege werden unten im Detail besprochen.

[0277] Wenn das Fahrzeug **102** sich nicht einem drastisch nicht-linearen Pfad nähert oder in seiner Mitte ist, dann beginnt das Flußdiagramm **2000A** mit dem Flußdiagrammblock **2015**. Beim Flußdiagrammblock **2015** gibt der GPS-Prozessor **710** die erste Positionsabschätzung an das VPS **1000** aus, wobei die erste Positionsabschätzung unter Verwendung von einer oder mehreren Ableitungstechniken abgeleitet worden ist. Es sei daran erinnert, daß das VPS **1000**, welches in den **Fig. 10** und **11** offenbart ist, die dritte Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** unter Verwendung von teilweise der ersten Positionsabschätzung berechnet, die an es von dem GPS-Verarbeitungssystem **700** gesandt wird.

[0278] Wenn das Fahrzeugs **102** sich einem drastisch nicht-linearen Pfad nähert, dann beginnt das Flußdiagramm **2000A** mit dem Flußdiagrammblock **2023**. Beim Flußdiagrammblock **2023** werden die Ableitungstechniken zweitweise aufgegeben, bis ein mehrlinearer Pfad schließlich herauskommt. Der GPS-Prozessor **710** berechnet die erste Positionsabschätzung des Fahrzeugs **102** ohne Bezug auf die Ableitungstechniken, wie im Flußdiagrammblock **2027** angezeigt.

[0279] Das Flußdiagramm schreitet als nächstes zum Flußdiagrammblock **2031** voran. Eine Bestimmung wird gemacht, ob das Fahrzeug **102** sich einem relativ linearen Pfad nähert oder in seiner Mitte ist. Wenn dies so ist, dann kehrt das Flußdiagramm **2000A** zum Flußdiagrammblock **2005** zurück, wie durch einen Feedback-bzw. Rückkoppelungspfeil **2033** gezeigt. Beim Flußdiagrammblock **2005** wird wieder irgendeine von den zuvor beendeten Ableitungstechniken eingesetzt.

[0280] Im Fall der parabolischen Ableitungstechnik der **Fig. 16** werden neue parabolische Einpaßmodelle konstruiert, und zwar für jeden der beobachteten GPS-Satelliten. Es sei daran erinnert, daß tatsächliche Pseudobereiche für jeden der beobachteten GPS-Satelliten bestimmt werden, und zwar über eine Zeitperiode, um ein parabolisches Modell für jeden GPS-Satelliten zu konstruieren. Die parabolischen Modelle bzw. Parabelmodelle werden nicht verwendet, bis die Genauigkeit der Modelle größer ist als eine gewisse Schwelle. In der vorliegenden Erfindung werden die parabolischen Modelle nicht verwendet, bis ein statistischer  $R^2$ -Wert größer als 0,99 ist.

[0281] Wenn sich das Fahrzeug **102** alternativ nicht einem relativ linearen Pfad nähert oder in seiner Mitte ist, dann bewegt sich das Flußdiagramm **2000A** zum Flußdiagrammblock **2015**, der zuvor besprochen worden ist. Jedoch sollte bemerkt werden, daß die erste Positionsabschätzung, die an das VPS **1000** übermittelt wurde, an diesem Punkt ohne Bezug auf irgendeine Ableitungstechnik abgeleitet wurde.

#### IV. Navigationssystem

##### A. Überblick

[0282] Bei der Betrachtung der Einrichtung eines autonomen Navigationssystems gibt es gewisse grundlegende Fragen, die irgendein autonomes System beantworten können muß, um erfolgreich vom Punkt A zum Punkt B zu navigieren. Die erste Frage ist "Wo sind wir (das Fahrzeug) jetzt?". Die erste Frage wird beantwortet durch den Positionsbestimmungssystemteil der vorliegenden Erfindung, wie oben im Abschnitt II besprochen.

[0283] Die nächste oder zweite Frage ist "Wohin fahren wir und wie kommen wir dort hin?". Diese zweite Frage fällt in den Bereich des Navigationssystemteils der vorliegenden Erfindung, der in diesem Abschnitt (III) besprochen wird.

[0284] Eine weitere (dritte) Frage, eigentlich eine Verfeinerung der zweiten, ist "Wie bewegen wir tatsächlich physisch das Fahrzeug, beispielsweise welche Betätigungsgeräte (Lenkung, Geschwindigkeit, Bremse usw.) sind beteiligt, um dorthin zu kommen?". Dies ist der Bereich des Fahrzeugsteuerunsystems des Navigationssystems, der auch unten besprochen wird.

[0285] Wie implizit oben besprochen wurde, kann die autonome Navigation von beispielsweise einem Bergbaufahrzeug gewisse signifikante Vorteile gegenüber der herkömmlichen Navigation bieten. Unter Ihnen ist eine gesteigerte Produktivität eines 24stündigen Betriebes des Fahrzeugs rund um die Uhr. Die Probleme, die von gefährlichen Arbeitsumgebungen oder von Arbeitsumgebungen, wo die Sicht schlecht ist, dargestellt werden, sind insbesondere gut zur Lösung durch ein autonomes System geeignet.

[0286] Es gibt beispielsweise einige Bergbau- bzw. Tagebaugelände, wo die Sicht so schlecht ist, daß eine Arbeit für 200 Tage des Jahres nicht möglich ist. Es gibt andere Gebiete, die für menschliches Leben gefährlich sind, da sie durch industrielle oder nukleare Verschmutzung verunreinigt sind. Ein Gebiet kann so abgelegen oder verwüstet sein, daß wenn es erforderlich wäre, daß Menschen dort arbeiten, dies starke Einschränkungen mit sich bringen würde oder unpraktisch sein würde. Die Anwendung der vorliegenden Erfindung könnte in vorhersehbarer Weise Betriebsvorgänge außerhalb der Erde mit einschließen, beispielsweise Bergbau auf dem Mond, vorausgesetzt, daß die notwendigen GPS-Satelliten in die Umlaufbahn des Mondes gebracht werden.

[0287] Bei einer typischen Anwendung der vorliegenden Erfindung, wie in **Fig. 3** gezeigt, gibt es mit Bezug auf die Navigation eines Bergbaufahrzeugs auf einem Bergbaugelände drei grundlegende Arbeitsgebiete: die Beladungsstelle, das Liefersegment und die Abladestelle. An der Beladungsstelle kann ein Lieferfahrzeug mit Erz auf eine Vielzahl von Arten beladen werden, beispielsweise durch von Menschen bediente Schaufellader, die entweder direkt oder durch Fernsteuerung gesteuert werden, oder durch autonome Schaufellader. Das Lieferfahrzeug muß dann über ein Gebiet fahren, das Liefersegment genannt wird, welches nur ein paar hundert Meter sein kann oder mehrere Kilometer sein kann. Am Ende des Liefersegmentes liegt die Abladestelle, wo das Erz aus dem Lieferfahrzeug ausgeladen wird, um beispielsweise zerkleinert zu werden oder in anderer Weise bearbeitet zu werden. Die autonome Positionsbestimmung und Navigation kann verwendet werden, um das Lieferfahrzeug entlang des Liefersegmentes zu steuern. Autonom navigierte Tankfahrzeuge und Instandhaltungsfahrzeuge werden auch in Betracht gezogen.

[0288] Mit Bezug auf die **Fig. 4** und 5 umfaßt die Navigation des autonomen Bergbaulastwagens (AMT = Autonomous Mining Truck) verschiedene Systeme, Vorrichtungen und/oder Funktionen. Das Untersystem des Fahrzeugpositionsbestimmungssystems **1000** des gesamten autonomen Bergbaulastwagensystems wie oben besprochen gibt Positionsdaten aus, die anzeigen, wo das Fahrzeug gelegen ist, die beispielsweise die Nord- bzw. Längen- und die Ost- bzw. Breitenposition aufweisen.

[0289] Mit Bezug auf die **Fig. 4** und 5 werden Positionsdaten, die vom Fahrzeugspositionsbestimmungssystem ausgegeben werden, von einem Navigator **406** aufgenommen. Der Navigator bestimmt, wo das Fahrzeug hinfahren möchte (aus den Routendaten) und wie es dort hin kommt, und gibt wiederum Daten aus, die aus Lenk- und Geschwindigkeitsbefehlen an einen Fahrzeugsteuerfunktionsblock **408** zusammengesetzt sind, um das Fahrzeug zu bewegen.

[0290] Der Fahrzeugsteuerblock gibt dann Befehle auf niedrigem Niveau an die verschiedenen Systeme des Fahrzeugs **102** aus, wie beispielsweise an die Regelungsvorrichtung (governor) die Bremsen und das Getriebe. Wenn das Fahrzeug sich zu seinem Bestimmungsort hin bewegt, blockieren die Fahrzeugsteuerungen, und das Fahrzeugpositionsbestimmungssystem empfängt Rückkoppelungsinformationen von dem Fahrzeug, die beispielsweise irgendwelche Fehlerzustände in den Fahrzeugsystemen, die gegenwärtige Geschwindigkeit usw. anzeigen.

[0291] Die Navigation muß auch eine Hindernisbehandlungsfähigkeit (Detektion und Vermeidung) aufweisen, um mit dem Unerwarteten fertig zu werden. Ein Abtastsystem bzw. Scannersystem **404** detektiert Hindernisse in der projizierten Laufbahn des Fahrzeugs, genauso wie Hindernisse, die sich von den Seiten nähern können, und informiert den Navigator darüber.

[0292] Es kann erforderlich sein, daß der Navigator dann entscheidet, ob eine Handlung erforderlich ist, um an dem Hindernis vorbeizufahren. Wenn eine Handlung erforderlich ist, entscheidet der Navigator, wie das Hindernis zu vermeiden ist. Und nachdem das Hindernis vermieden bzw. umfahren worden ist, entscheidet der Navigator, wie das Fahrzeug zurück auf einen Pfad zu seinem Bestimmungsort hin kommen soll.

[0293] Konzeptionell können die Navigationsaspekte willkürlich in die folgenden Hauptfunktionen aufgeteilt werden:

Routenplanung/Pfaderzeugung;

Pfadverfolgung; und

Hindernisbehandlung.

## B. Routenplanung/Pfaderzeugung

[0294] Die Navigation eines automatischen Fahrzeuges besteht konzeptionell aus zwei Unterproblemen, der Pfaderzeugung und der Pfadverfolgung, die getrennt gelöst werden.

[0295] Die Pfaderzeugung verwendet Zwischenziele von einer Planungsvorrichtung auf hohem Niveau, um einen detaillierten Pfad zu erzeugen, dem das Fahrzeug **102** folgen soll. Es gibt einen gewissen Abstrich zwischen der Vereinfachung der Darstellung von solchen Ebenen und der Leichtigkeit, mit der sie ausgeführt werden können. Beispielsweise ist es ein einfaches Schema, einen Pfad in gerade Linien und kreisförmige Kurven zu zerlegen. Jedoch können solche Pfade nicht präzise in einfacher Weise verfolgt werden, und zwar wegen Ungleichmäßigkeiten der Krümmung an Übergangspunkten von Segmenten, die plötzliche Beschleunigungen erfordern.

[0296] Folgend auf die Pfaderzeugung nimmt die Pfadverfolgung als Eingangsgröße den detaillierten, erzeugten Pfad auf und steuert das Fahrzeug **102**, so daß es dem Pfad so präzise wie möglich folgt. Es ist nicht genug, einfach einer zuvor aufgestellten Liste von Lenkungsbefehlen zu folgen, da wenn man dabei versagt, die erforderlichen Lenkbewegungen genau zu erreichen, dies Versetzungsfehler im stetigen Zustand (steady state) zur Folge hat. Die Fehler sammeln sich mit der Zeit an. Eine globale Positionsrückkoppelung **432** kann verwendet werden, um weniger als ideale Betätigungs vorrichtungen zu kompensieren. Es sind Verfahren für die vorliegende Erfindung entwickelt worden, die von dem traditionellen Fahrzeugsteuerschemata abweichen, bei denen eine Zeithistorie der Position (eine Laufbahn bzw. Trajektorie) in dem Plan vorgesehen ist, der für das Fahrzeug **102** festgelegt wird.

[0297] Diese Verfahren werden in geeigneter Weise als "Pfadverfolgung" bezeichnet, und zwar dahingehend, daß die Lenkbewegung von der Zeit entkoppelt ist; d. h. Lenkbewegungen sind direkt in Bezug zur geometrischen Natur des festgelegten Pfades, was die Geschwindigkeit des Fahrzeugs **102** zu einem unabhängigen Parameter macht.

[0298] Mit Bezug auf **Fig. 3** kann ein autonomes Fahrzeug **102** erforderlich sein, um ein Liefersegment **320** zu einer Abladestelle **322** zu überqueren, und nachdem es seine Last abgeladen hat, über ein weiteres Liefersegment zu einer Werkstatt **324** zu fahren, und zwar unter der Anweisung des Host-Verarbeitungssystems **186**. Das Host-Verarbeitungssystem **186** bestimmt die Bestimmungsorte des Fahrzeugs **102**, was "Zyklusplanung" genannt wird. Die Bestimmung, welche Routen genommen werden sollten, um zu einem erwünschten Bestimmungsort zu kommen, müssen durch "Routenplanung" erreicht werden.

[0299] "Routenplanung" ist die Bestimmung, welche Pfadsegmente zu nehmen sind, um zu einem erwünschten Bestimmungsort zu kommen. Im allgemeinen kann eine Route als eine Abstraktion oder Darstellung eines Satzes von Punkten zwischen zwei definierten Lagen auf hohem Niveau angesehen werden. Wie man zu einem menschlichen Fahrer sagen kann "Nimm die Route 95 nach Süden von Lobster, Maine nach Miami, Florida", und der Fahrer die Anweisung in eine Abfolge von Operationen übersetzen werden wird (die das Starten des Fahrzeugs **102**, das Lösen der Bremse 4406, das Einlegen des Getriebes 4610, die Beschleunigung auf die angewiesene Geschwindigkeitsbegrenzung, das Lenken des Lenkrades 4910, das Umfahren von Hindernissen **4002** usw. miteinschließen können), arbeitet das autonome Navigationssystem der vorliegenden Erfindung in ähnlicher Weise. Wie sie in dem System der vorliegenden Erfindung verwendet wird, ist eine "Route" eine Abfolge von aneinander liegenden "Segmenten" zwischen dem Beginn und dem Ende einer Reise.

[0300] Ein autonomes Fahrzeug **102** kann an irgendeiner Position in der Sequenz beginnen und über die Route in jeder Richtung fahren. Ein "Segment" ist der "Pfad" zwischen "Knoten". Ein "Knoten" ist eine "Ausrichtung" auf einem Pfad, die eine Entscheidung erfordert. Beispiele von Knoten sind Beladungsstellen 3318, Abladestellen **322** und Schnittstellen **326**.

[0301] Es gibt verschiedene Arten von Segmenten. Beispielsweise gibt es lineare und kreisförmige Segmente. Die linearen Segmente (Linien) sind durch zwei Knoten definiert. Kreisförmige Segmente (Bögen) werden durch drei Knoten definiert.

[0302] "Lagen" (Postures) werden verwendet, um beispielsweise Teile einer Route, Pfade und Knoten zu modellieren. Lagen können aus einer Position, einer Richtung, einer Krümmung, einer maximalen Geschwindigkeit und anderen Informationen für einen gegebenen Punkt auf dem Pfad bestehen.

[0303] Ein "Pfad" ist eine Abfolge von aufeinander folgenden Lagen.

[0304] Ein Segment ist daher eine Abfolge von aneinanderfolgenden Lagen zwischen Knoten. Alle Segmente haben eine damit assoziierte Geschwindigkeit, die die maximale Geschwindigkeit festlegt, mit der das Fahrzeug **102** über dieses Segment fahren kann. Der Navigator **406** kann langsamere Geschwindigkeiten anzeigen, um andere Anforderungen zu erfüllen, falls nötig.

[0305] Die Bestimmung, welche Lagen erforderlich sind, um ein Pfadsegment durch analytische Verfahren, experimentelle Verfahren oder eine Kombination von beiden zu definieren, wird "Pfadplanung" gemäß der vorliegenden Erfindung genannt. Um die Besprechung zu vollenden, wird eine Abfolge von aneinander liegenden Routen, wie oben erwähnt, als "Zyklus" bezeichnet, und die Arbeitsziele eines Fahrzeugs **102** bestimmen seinen "Zyklus".

[0306] Um daher eine Route zu definieren, muß man zuerst die Knoten und Segmente definieren. Als nächstes müssen die Knoten und Segmente angewiesen werden. Schließlich müssen die Routen definiert werden durch Festlegen, wo in dem angewiesenen Satz eine Route beginnen soll, und in welcher Richtung der angewiesene Satz zu überfahren ist (siehe **Fig. 21**, die diese Konzepte der vorliegenden Erfindung veranschaulicht).

### C. Pfadverfolgung

[0307] Die Pfadspurbildung oder Pfadverfolgung (tracking) ist ein kritischer Aspekt der Fahrzeugnavigation. Die Technik des beispielhaften Systems verwendet eine positionsbasierte Navigation (anstelle einer sichtbasierten Navigation, die bei herkömmlichen Navigationssystemen verwendet wird) um sicher zu stellen, daß der korrekte Pfad 3312 des autonomen Fahrzeugs verfolgt wird. Das beispielhafte System ist auch dahingehend neu, daß es eine getrennte Steuerung des Lenkwinkels 3316 und der Fahrzeuggeschwindigkeit 3318 bietet. **Fig. 22** veranschaulicht grafisch ein Pfadverfolgungssystem 3102.

[0308] Für ein autonomes Fahrzeug **102** ist es zur Verfolgung von festgelegten Pfaden nötig, Referenzeingaben für die Fahrzeug-Servo-Steuervorrichtungen zu erzeugen. Somit kann eine Pfadverfolgung als ein Problem angesehen werden, einen Referenzlenkwinkel bzw. einen in Bezug gebrachten Lenkwinkel und eine Referenzgeschwindigkeit für den nächsten Zeitintervall zu erhalten, um auf den Referenzpfad vor der gegenwärtig abgewichenen Position zurückzukommen.

[0309] Allgemein gesagt bestimmt die Pfadverfolgung die Befehle des autonomen Fahrzeuges (Geschwindigkeit, Lenkwinkel) die erforderlich sind, um einem gegebenen Pfad zu folgen. Bei einem gegebenen zuvor festgelegten Lenkwinkel, gefahrenen Radgeschwindigkeitswerten und Fehlerkomponenten werden die Lenkbefehls- und Antriebseingaben in der vorliegenden Erfindung berechnet.

### D. Hindernisbehandlung

#### 1. Einleitung

[0310] Die Hindernisbehandlung sieht mindestens drei Hauptfunktionen vor: Detektieren von Hindernissen **4002**, Vermeidung von Hindernissen **4002** und Rückkehr zum Pfad 3312. Die Funktion des Zurückkehrens zum Pfad ist ähnlich wie die Pfaderzeugung und -verfolgung wie oben beschrieben.

[0311] Zusätzlich zur Pfadverfolgung (Verfolgung) erfordert die erfolgreiche Navigation des Fahrzeugs **102**, daß das Fahrzeug **102** Hindernisse **4002** in seinem Pfad erkennen kann, was somit gestattet, daß das Fahrzeug stoppt oder in anderer Weise ein solches Hindernis vermeidet, bevor eine Kollision auftritt.

[0312] Ein Infrarotlaserscanner bzw. eine Infrarotabtastvorrichtung **404** mit einer einzigen Linie (siehe **Fig. 23**) kann in einer Konfiguration verwendet werden, wo die Abtastung bzw. der Scan horizontal ist (nicht gezeigt). Die Abtastlinie **3810** berührt nicht den Erdboden, so daß irgendwelche Ungleichheiten in den Bereichsdaten den Objekten **4002** in der Umgebung zugeordnet werden können.

[0313] Da ein Referenzpfad 3312 verfügbar ist, und die Fahrzeugposition relativ zum Referenzpfad bekannt ist, werden nur die Bereichsdaten und eine Regionsabgrenzung des Referenzpfades 3312 für bedrohliche Objekte **4002** verarbeitet. Die Objekte außerhalb dieser Region oder Grenzzone werden ignoriert. Die Breite der (nicht gezeigten) Grenzzone ist gleich der Fahrzeugbreite zuzüglich einem gewissen ausgewählten Sicherheitspuffer, um Spur- und Positionsbestimmungsfehler auszugleichen. Dieses Verfahren ist bezüglich seiner Nützlichkeit eingeschränkt und wird als "Freiraumüberprüfung" bezeichnet.

#### 2. Hindernisdetektion

[0314] Im einfachsten Falle kann der Laser **404** in einem Abtastbetriebszustand mit einer einzigen Linie mit darauf folgenden Bereichsmessungen verwendet werden, die in regelmäßigen Winkelintervallen gemacht werden, wenn der Laser über das Blickfeld schwenkt. Wiederum können zur Vereinfachung diese Abtastungen in regelmäßigen Zeitintervallen beginnen. Der Ausdruck "Freiraumüberprüfung" ist verwendet worden, um dieses Verfahren zu beschreiben. In dieser Version ist das Verfahren auf die Verarbeitung von nur zweidimensionalen Daten eingeschränkt worden.

[0315] Diese Art eines Hindernisdetectionsverfahrens ist auf die Überprüfung eingeschränkt, zu sehen, ob der Pfad 3312 frei ist, und zwar unter Verwendung eines Abtastbetriebszustandes mit einer einzigen Linie mit darauf folgenden Bereichsmessungen, die in regelmäßigen Winkelintervallen ausgeführt werden, wenn der Scanner bzw. die Abtastvorrichtung **404** über das Sichtfeld läuft. Es schließt nicht irgendwelche Verfahren zum Einrichten bzw. Überprüfen der Existenz von irgend einem Hindernis **4002** ein, noch erzeugt es einen Pfad um dieses herum, wenn der Pfad nicht frei ist. Diese Art eines Verfahrens wird nicht als ein speziell nützliches Hindernisdetectionsverfahren angesehen, außer in sehr genau überwachten bzw. gesteuerten Umgebungen, wie

beispielsweise auf einem Fabrikboden.

### 3. Hindernisvermeidung

[0316] Sobald ein Hindernis **4002** im Pfad des Fahrzeugs **102** detektiert wurde (siehe **Fig. 24**), muß es dann eine Kollision mit dem Objekt vermeiden. Gewisse Annahmen werden bezüglich des Hindernisvermeidungsproblems gemacht:

1. Die Hindernisumgebung ist mit Hindernissen **4002** bevölkert, die durch konvexe Polygone oder konvexe Linien dargestellt werden können;
2. Die Navigationsverfahren haben nur Zugang zu den Informationen über die lokale Umgebung in Form einer lokalen Karte, die alle sichtbaren Stirnseiten des Hindernisses von der Position des Fahrzeugs **102** aus darstellt, die von nicht verarbeiteten Laserbereichsdaten erhalten werden können oder von Daten, die durch Fleckextraktion verarbeitet wurden;
3. Das Fahrzeug **102** ist eine in herkömmlicher Weise gelenkte Bauart, die Beschränkungen bezüglich ihrer Geschwindigkeit und Beschleunigung hat, und Einschränkungen bezüglich des Lenkwinkels und der Veränderungsrate des Lenkwinkels.

[0317] Um mit dem Problem der Vermeidung von Hindernissen fertig zu werden, ist dieses Problem in zwei Unterprobleme aufgeteilt.

[0318] Erstens, die Unterscheidung, ob irgendwelche Hindernisse im Weg sind, und falls dies so ist, zu welcher Seite das Fahrzeug weiterfahren sollte. Dann die Auswahl eines Unterziels **4006**, welches das Fahrzeug **102** um das Hindernis **4002** herumführen wird, was zu einem Ziel **4008** mit höherem Niveau führt, welches ist, auf den erwünschten Pfad zurückzukehren.

[0319] Zweitens, sobald ein Unterziel **4006** ausgewählt ist, eine Lenkentscheidung zu fällen, die das Fahrzeug **102** zu dem Unterziel **4006** hin fährt, während man um das Hindernis **4002** herumlenkt. Ein Unterzielauswahlverfahren und ein Lenkentscheidungsverfahren lösen diese zwei Unterprobleme.

[0320] Sobald die Steuereinschränkungen und der erwünschte Lenk- bzw. Steuervektor berechnet wurden, können die Steuervektoren unter Verwendung von in der Technik wohlbekannten Optimierungstechniken bestimmt werden.

### 4. Rückkehr zum Pfad

[0321] Das beispielhafte System weist ein Verfahren auf, wie es diagrammartig in **Fig. 24** gezeigt ist, wodurch ein sicherer Pfad um ein detektiertes Objekt **4002** herum aufgezeichnet wird und so navigiert wird, daß das Fahrzeug **102** wieder den Referenzpfad erreichen wird, nachdem es das Objekt **4002** vermieden hat.

### 5. Abtastsystem

[0322] Mit Bezug auf **Fig. 23** weist die vorliegende Erfindung auch ein Laserscannersystem **404** auf. Der Scanner **404** wird verwendet, um Hindernisse **4002** (siehe **Fig. 24**) zu finden, die sich zufälligerweise im Pfad des Fahrzeugs **102** ansammeln, wie zuvor besprochen.

[0323] Quellen von solchen Hindernissen **4002** können verschieden und zahlreich sein, und zwar abhängig von dem speziellen Arbeitsgelände. Sie können umgefallene Bäume und Zweige, Felsen, sich bewegende und parkende Fahrzeuge und Personen aufweisen.

[0324] Der Scanner **404** gibt dem autonomen Fahrzeug **102** die Fähigkeit, die umgebende Welt zu detektieren und mit ihr fertig zu werden, wie es die Umstände erfordern.

## Patentansprüche

1. Computerbasiertes System für ein autonomes Navigieren eines Fahrzeugs (**102**) entlang eines vorbestimmten Pfades, wobei das System folgendes aufweist:

erste Mittel (**1000**) für das Bestimmen eines Ortes des Fahrzeugs (**102**), wobei die ersten Mittel folgendes umfassen:

ein erstes Positionsbestimmungssystem (**700**) geeignet für das Vorsehen einer ersten Positionsabschätzung (**716**) des Fahrzeugs (**102**) basierend auf ersten Signalen (**110**) von einem terrestrischen Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**);

ein zweites Positionsbestimmungssystem (**900**) geeignet für das Vorsehen einer zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**) des Fahrzeugs (**102**) basierend auf zweiten Signalen (**908, 910**), die erhalten werden von einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit (**904**), die am Fahrzeug (**102**) montiert ist, und von einem Fahrzeugtachometer (**902**); und

ein Verarbeitungssystem (**1002, 1004, 1020**) geeignet für das Berechnen einer dritten Positionsabschätzung des Fahrzeugs (**102**) aus der ersten Positionsabschätzung (**716**) und der zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**); und

zweite Mittel (5306), um zu veranlassen, dass das Fahrzeug (**102**) dem vorbestimmten Pfad folgt; **dadurch gekennzeichnet**, dass das System weiter folgendes aufweist:

dritte Mittel (4150), um zu bewirken, dass das Fahrzeug (**102**) Hindernisse detektiert und vermeidet, während es dem vorbestimmten Pfad folgt; und dass

das Verarbeitungssystem einen gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) aufweist, der bei der Berechnung der dritten Positionsabschätzung des Fahrzeugs eingesetzt wird.

2. System gemäß Anspruch 1, wobei das terrestrische Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**) zumindest eine Quelle für das Aussenden der ersten Signale (**110**) besitzt, wobei die zumindest eine Quelle irgendeines von einem oder mehreren der folgenden Systeme aufweist: Pseudoliten (**624**), ein globales Positionsbestimmungssystem (**200–206**) mit zumindest einem Umlaufsatelliten (**200–206**) oder beides sowohl das globale Positionsbestimmungssystem (**200–206**) und einen oder mehrere Pseudoliten (**624**).

3. System gemäß Anspruch 1, wobei das Verarbeitungssystem (**1002, 1004, 1020**) folgendes aufweist:  
einen I/O-Prozessor bzw. Eingabe/Ausgabe-Prozessor (**1002**) gekoppelt mit dem ersten Positionsbestimmungssystem (**700**) und dem zweiten Positionsbestimmungssystem (**900**), wobei der I/O-Prozessor (**1002**) geeignet ist für den Empfang der ersten Positionsabschätzung (**716**) bzw. der zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**);

einen Hauptprozessor (**1004**) gekoppelt mit dem I/O-Prozessor (**1002**), wobei der Hauptprozessor (**1004**) vorgesehen ist für das Berechnen der dritten Positionsabschätzung aus der ersten Positionsabschätzung (**716**) und der zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**) und Software aufweist, und zwar einschließlich eines zweiten Kalman-Filters (**1202**) für das Filtern von Daten von der Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzseinheit (**904**); und

einen Kommunikations-Schnittstellenprozessor (**1020**) gekoppelt mit dem Hauptprozessor (**1004**), wobei der Kommunikations-Schnittstellenprozessor (**1020**) für das Verteilen der dritten Positionsabschätzung vorgesehen ist.

4. Systemgemäß Anspruch 2, wobei das erste Positionsbestimmungssystem (**700**) weiter einen Referenzempfänger (**316**) an einem bekannten Ort nahe zum Fahrzeug (**102**) gelegen aufweist, wobei der Referenzempfänger (**316**) vorgesehen ist für das Empfangen der ersten Signale (**110**) von dem terrestrischen Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**), und wobei der Referenzempfänger (**316**) vorgesehen ist für das Berechnen einer Differentialableitung (Differential-Bias).

5. System gemäß Anspruch 2, wobei das erste Positionsbestimmungssystem (**700**) folgendes aufweist:  
eine Antenne (**702**) für das Empfangen der ersten Signale (**110**);

einen Vorverstärker (**704**) gekoppelt mit der Antenne (**702**), wobei der Vorverstärker (**704**) vorgesehen ist für das Verstärken der ersten Signale (**110**); einen ersten Empfänger (**706**) gekoppelt mit dem Vorverstärker, wobei der erste Empfänger (**706**) vorgesehen ist für das Verfolgen von den Quellen (**200–206, 624**), die zum Zeitpunkt beobachtet werden und für das Ableiten von tatsächlichen Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) der Quellen (**200–206, 624**);

einen Zwischenkommunikations-Prozessor (**708**) gekoppelt mit dem ersten Empfänger (**706**), wobei der Zwischenkommunikations-Prozessor (**708**) vorgesehen ist für das Empfangen der tatsächlichen Pseudobereiche bzw. tatsächlichen Pseudoentfernung von dem ersten Empfänger (**706**) und für das Verteilen der tatsächlichen Pseudobereiche und von Statusinformation; und

einen GPS-Prozessor (**710**) gekoppelt mit dem Zwischenkommunikations-Prozessor (**708**), wobei der GPS-Prozessor (**710**) vorgesehen ist für das Berechnen der ersten Positionsabschätzung (**716**) aus den tatsächlichen Pseudobereichen.

6. System gemäß Anspruch 4, wobei die Differentialableitung (Differential-Bias) eine Orginalableitung (ursprünglichen Bias) bzw. einen ursprünglichen Vorwert aufweist, der durch Subtrahieren von geschätzten Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) und von Clock- bzw. Taktableitungen (Clock-Bias) von den tatsächlichen Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) berechnet wird.

7. System gemäß Anspruch 4, wobei die Differentialableitung (Differential-Bias) eine parabolische Ableitung (Bias) aufweist, die durch Nutzung eines parabolischen Modells berechnet wird, das über eine Zeitdauer hinweg aus vorangegangenen tatsächlichen Pseudobereichen aufgebaut wird.

8. System gemäß Anspruch 4, wobei der Differential-Bias berechnet wird durch Ableiten einer Differenz zwischen einem geschätzten Ort des Referenzempfängers (**316**) und dem bekannten Ort des Referenzempfängers (**316**), wobei der geschätzte Ort abgeleitet wird aus einer Konstellation der Quellen (**200–206, 624**), wobei die Konstellation genutzt wird durch das erste Positionsbestimmungssystem (**700**) des Fahrzeugs (**102**) für das Ableiten der ersten Positionsabschätzung (**716**) des Fahrzeugs (**102**).

9. System gemäß Anspruch 5, wobei der GPS-Prozessor (**710**) einen ersten Kalman-Filter (**802**) für das Filtern der ersten Signale (**110**) aufweist.

10. System gemäß Anspruch 3, wobei der gewichtete Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) (**1204**) gekoppelt ist mit dem Ausgang des zweiten Kalman-Filters (**802**).

11. System gemäß Anspruch 9, wobei der erste Kalman-Filter (**802**) seine annehmbaren Datenstörungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs (**102**) modifiziert.

12. System gemäß Anspruch 9, wobei das Verarbeitungssystem (**1002, 1004, 1020**), das geeignet ist für das Berechnen der dritten Positionsabschätzung, kontinuierlich Fahrzeuggeschwindigkeitsdaten (**1018**) an den ersten Kalman-Filter (**802**) des ersten Positionsbestimmungssystems (**700**) kommuniziert, wobei der erste Kalman-Filter (**802**) die Fahrzeuggeschwindigkeits-Daten nutzt, um somit die Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung (**716**) des ersten Positionsbestimmungssystems (**700**) zu verbessern.

13. Computerbasiertes Verfahren für das autonome bzw. selbständige Navigieren eines Fahrzeugs (**102**) entlang eines vorbestimmten Pfades, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:  
Bestimmen eines Ortes des Fahrzeugs (**102**) unter Nutzung eines terrestrischen Positionsbestimmungssystems (**200–206, 624**), einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit (**904**) und eines Fahrzeugtachometers (**902**);  
Bewirken (5306), dass das Fahrzeug (**102**) den vorbestimmten Pfad basierend auf dem Ort folgt; und  
Bewirken (4150), dass das Fahrzeug (**102**) Hindernisse detektiert und vermeidet, während es dem vorbestimmten Pfad folgt, gekennzeichnet dadurch, dass  
der Ort durch Erzeugen eines Ortes mit einem gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) bestimmt wird basierend auf einer Positionsabschätzung vom terrestrischen Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**) und einer Positionsabschätzung von einer Inertial-Bezugseinheit bzw. Trägheitsreferenzeinheit (**904**).

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei der Ortsbestimmungsschritt folgende Schritte aufweist:  
Herausziehen bzw. Gewinnen einer ersten Positionsabschätzung (**716**) des Fahrzeugs (**102**) basierend auf ersten Signalen (**110**) vom terrestrischen Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**);  
Gewinnen einer zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**) des Fahrzeugs (**102**) basierend auf zweiten Signalen (**908, 910**) erhalten von der Trägheitsreferenzeinheit (**904**), die am Fahrzeug (**102**) montiert ist, und vom Fahrzeugtachometer (**902**);  
Gewinnen des Ortes des Fahrzeugs (**102**) aus der ersten Positionsabschätzung (**716**) und der zweiten Positionsabschätzung (**908, 910**).

15. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei der Ortsbestimmungsschritt folgende Schritte aufweist:  
Empfangen von Signalen vom terrestrischen Positionsbestimmungssystem (**200–206, 624**) an einer Referenzposition; Verarbeiten der Signale an der Referenzposition zum Bestimmen einer Differentialableitung (Bias) bzw. eines Differential-Vorwertes;  
Kommunizieren der Differentialableitung (Bias) von der Referenzposition zum Fahrzeug; und  
Verarbeiten der Differentialableitung (Bias) am Fahrzeug, um genau den Ort zu bestimmen.

16. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei der Ortsbestimmungsschritt die folgenden Schritte aufweist:  
Vorhersagen (**1304, 1306**) der Relativposition von Satelliten (**200–206**) des terrestrischen Positionsbestimmungssystems in Bezug auf den Ort basierend auf Daten in einem Almanach;  
Auswählen (**1312**) einer besten Konstellation der Satelliten (**200–206**) basierend auf der Geometrie der Satelliten (**200–206**) relativ zum Ort; und ausschliessliche Erkennung (**1314**) von Signalen der besten Konstellation.

17. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei der erste Positionsabschätzungs-Ableitungsschritt die folgenden Schritte aufweist:  
Einpassen bzw. Einbeziehen (**1906**) von vorhergehenden ersten Positionsabschätzungen in einen Best-Fit-Algorithmus bzw. Algorithmus zur besten Einpassung;

Überwachen (1908) des Algorithmus zur besten Einpassung, bis der statistische R<sup>2</sup>-Wert des Algorithmus zur besten Einpassung größer oder gleich einem vorgewählten Schwellenwert 0,98 ist; und  
Extrapolieren (1916) der ersten Positionsabschätzung aus dem Algorithmus zur besten Einpassung.

18. Verfahren gemäß Anspruch 14, wobei der erste Positionsabschätzungs-Ableitungsschritt die folgenden Schritte aufweist:

Herausziehen (2104) von tatsächlichen Pseudobereichen der Satelliten (200–206) des terrestrischen Positionsbestimmungssystems unter Nutzung von Almanachdaten;

Berechnen (2104) von geschätzten Pseudobereichen der Satelliten (200–206) unter Nutzung von Ephemeriden-Daten;

Vergleichen (2106) der Unterschiede zwischen den tatsächlichen Pseudobereichen und den geschätzten Pseudobereichen gegen einen voraus gewählten Schwellenwert; –

Anpassen bzw. Verwenden (218) der geschätzten Pseudobereiche, wenn die Unterschiede größer sind als der vorausgewählte Schwellenwert; ansonsten Verwenden (2110) der tatsächlichen Pseudobereiche; und Nutzen der verwendeten Pseudobereiche für das Berechnen der ersten Positionsabschätzung.

19. Verfahren gemäß Anspruch 14, das weiter die folgenden Schritte aufweist:

Übertragen der zweiten Signale (908, 910) (1010) zu einem zweiten Kalman-Filter (1202);

Ausgeben der zweiten Positionsabschätzung aus dem zweiten Kalman-Filter (1202) an den gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) (1204);

Ausgeben aus dem gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) (1204) von einer Fahrzeuggeschwindigkeit (1018) des Fahrzeugs (102) an einen ersten Kalman-Filter (802) des ersten Positionsbestimmungssystems; und

Anpassen des ersten Kalman-Filters (802) gemäß bzw. folgend der Fahrzeuggeschwindigkeit (1018) zum Erhöhen der Genauigkeit der ersten Positionsabschätzung (1006), die vom ersten Kalman-Filter (802) ausgegeben wird.

20. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei der Schritt der Ausgabe aus dem gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) weiter den Schritt der Ausgabe von gewichteten Daten (1206) an den zweiten Kalman-Filte (1202) aufweist zum Erhöhen der Genauigkeit der zweiten Positionsabschätzung.

21. Verfahren gemäß Anspruch 19, wobei der Schritt der Ausgabe vom gewichteten Kombinierer (Vorrichtung zur gewichteten Kombination) weiter den Schritt der Ausgabe von gewichteten Daten (1016) an einen Fahrzeugnavigator (406, 1022) aufweist.

22. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei der Signalverarbeitungsschritt die folgenden Schritte aufweist:

Erhalten (1706) der bekannten Position der Referenzposition (316);

Berechnen(1706) von Referenzantennen-Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) von Quellen (200–206, 624) des terrestrischen Positionsbestimmungssystems im Hinblick auf die Referenzposition (316);

Herausziehen bzw. Gewinnen (1708) einer geschätzten Position der Referenzposition (316) unter Nutzung der Referenzantennen-Pseudobereiche (R0, R2, R4, R6); und

Vergleichen (1710) der geschätzten Position mit der exakten Position zum Ableiten bzw. Herausziehen der Differentialableitung (Bias).

23. Verfahren gemäß Anspruch 15, wobei der Signalverarbeitungsschritt die folgenden Schritte aufweist:

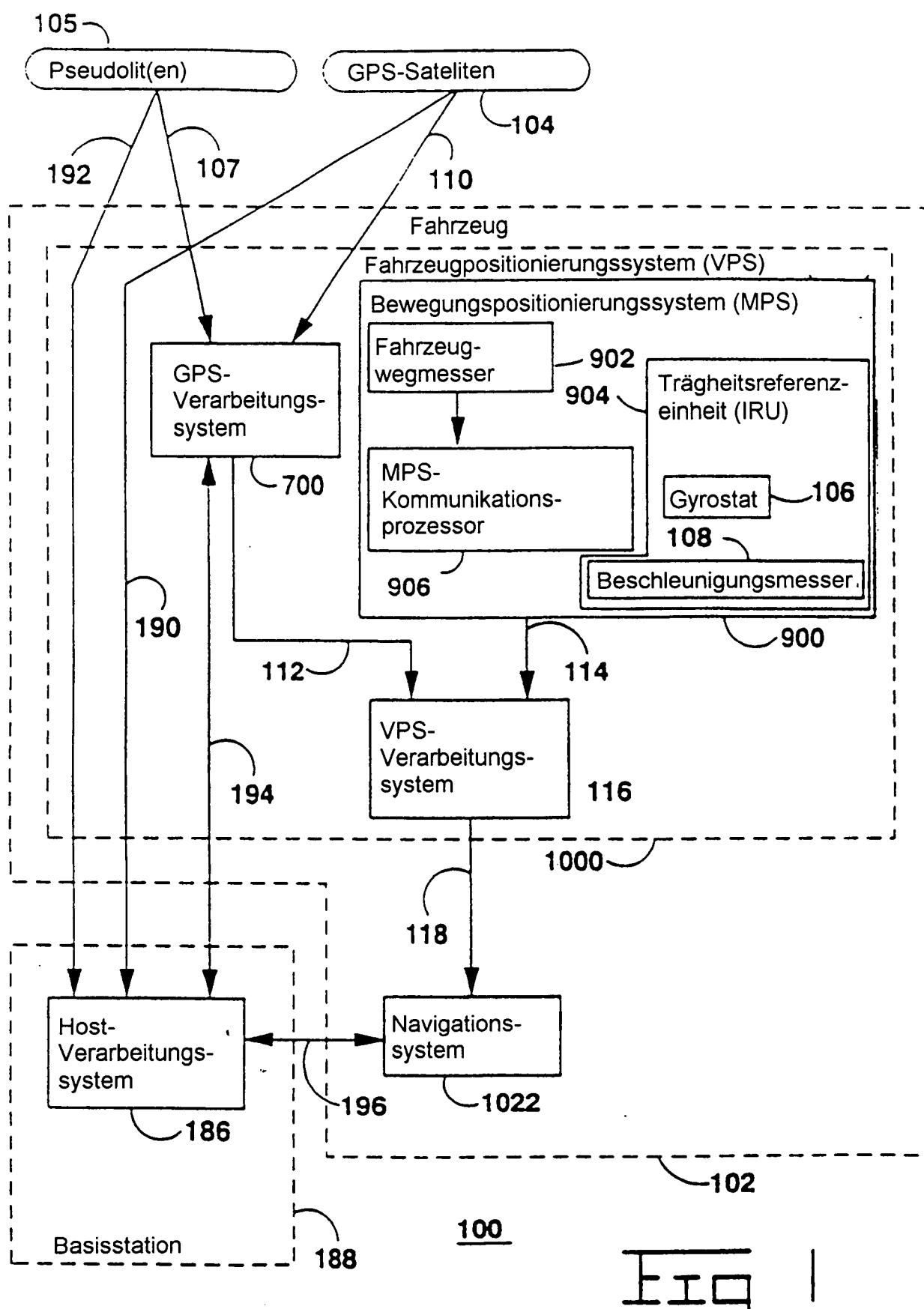
Berechnen von tatsächlichen Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) für Quellen (200–206, 624) des terrestrischen Positionsbestimmungssystems im Hinblick auf eine Referenzantenne (316) bei einer Referenzposition, bis zu einer Zeit, zu der ein parabolisches Modell aufgebaut werden kann basierend auf den tatsächlichen Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) mit einem vorausgewählten statistischen R<sup>2</sup>-Wert;

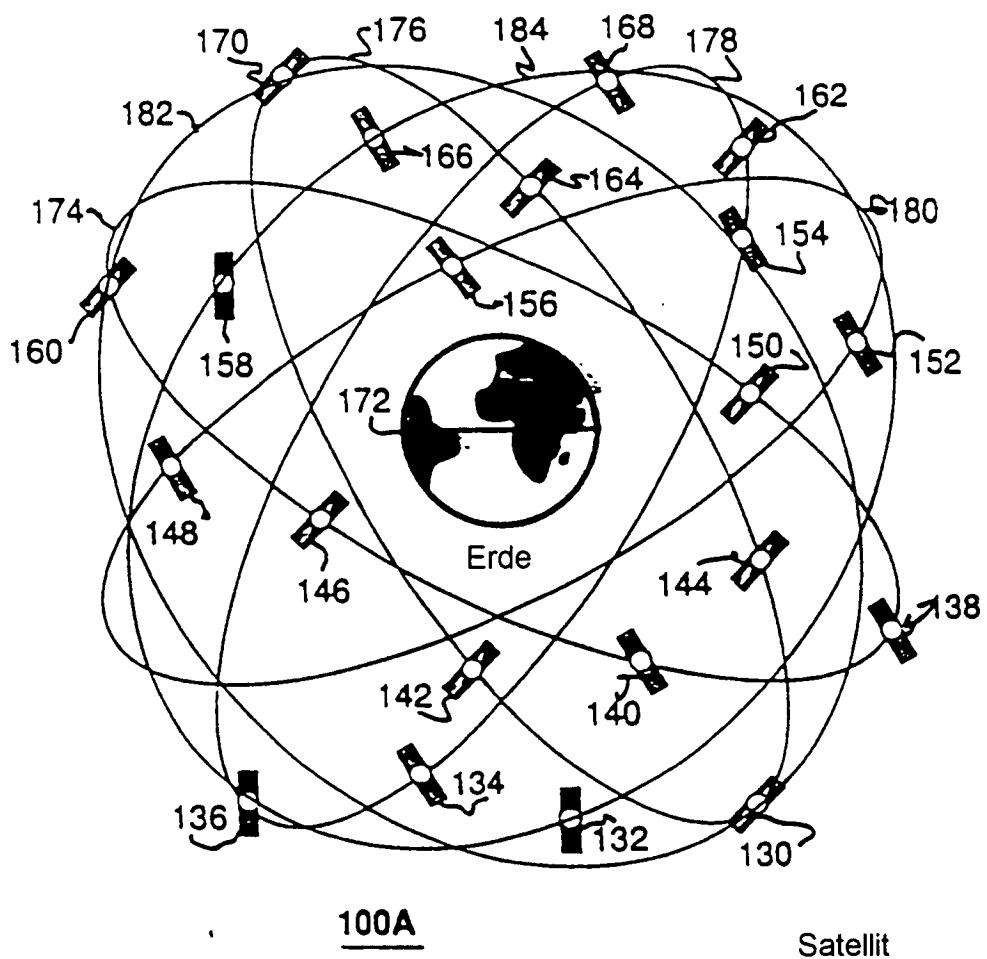
Extrapolieren von geschätzten Pseudobereichen (R0, R2, R4, R6) der Quellen (200–206, 624) zu zukünftigen Zeiten aus den parabolischen Modellen; und

Berechnen von Differentialableitungen (Bias) bzw. Differential-Vorwerten durch Vergleichen der tatsächlichen Pseudobereiche (R0, R2, R4, R6) und der abgeschätzten Pseudobereiche (R0, R2, R4, R6).

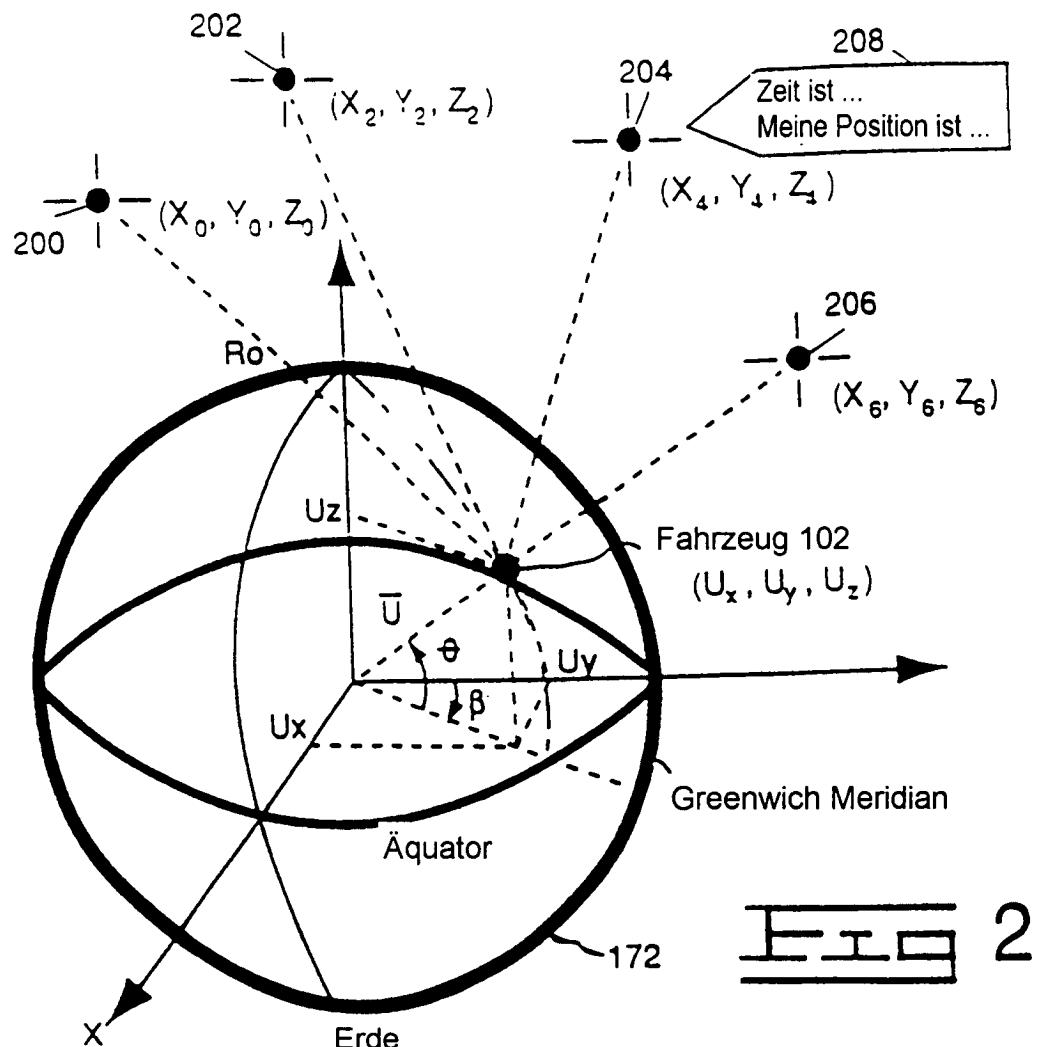
Es folgen 28 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen





E I O | A



$$(X_0 - U_x)^2 + (Y_0 - U_y)^2 + (Z_0 - U_z)^2 = (R_0 - C_0)^2$$

$$(X_2 - U_x)^2 + (Y_2 - U_y)^2 + (Z_2 - U_z)^2 = (R_2 - C_2)^2$$

$$(X_4 - U_x)^2 + (Y_4 - U_y)^2 + (Z_4 - U_z)^2 = (R_4 - C_4)^2$$

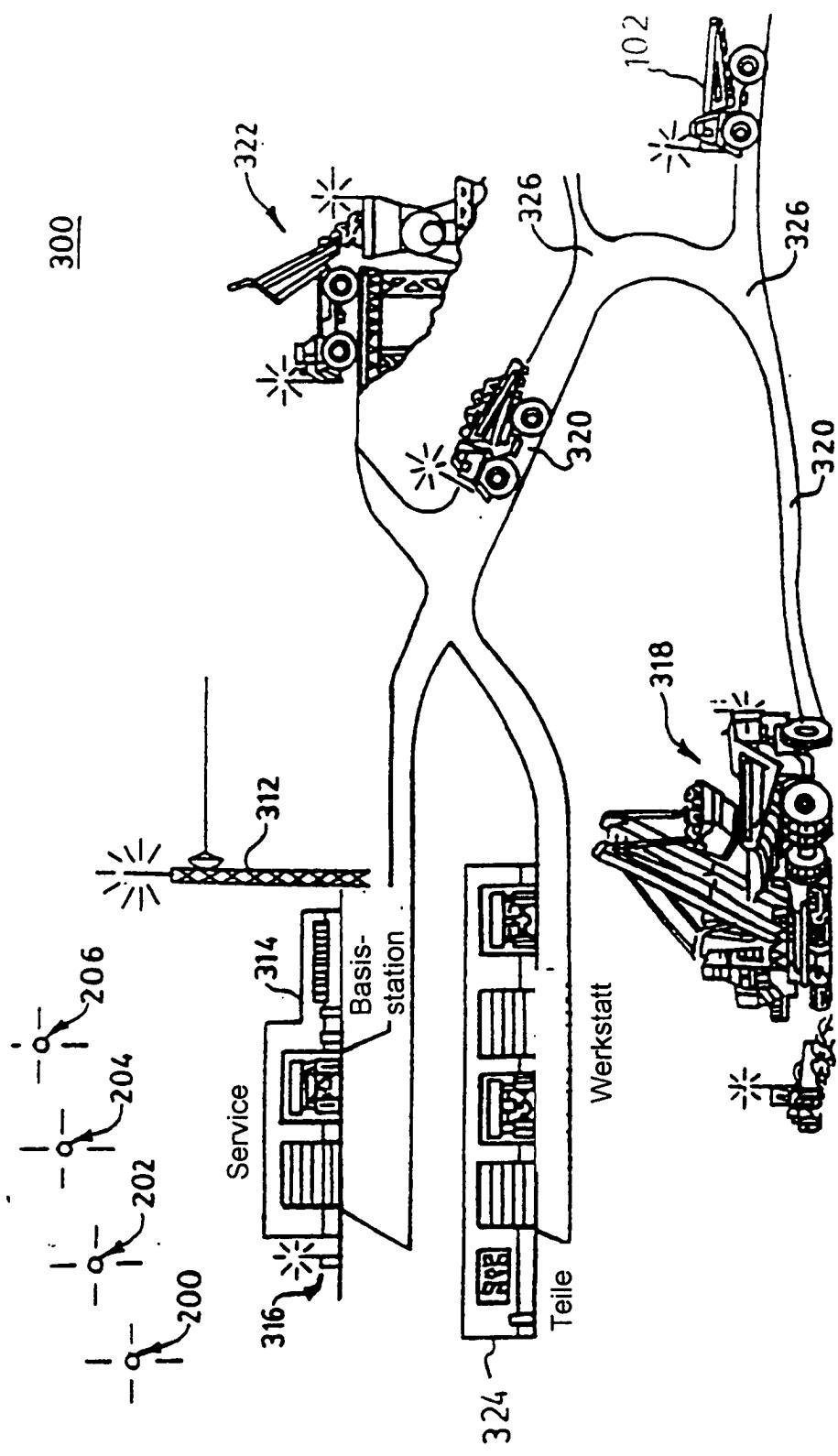
$$(X_6 - U_x)^2 + (Y_6 - U_y)^2 + (Z_6 - U_z)^2 = (R_6 - C_6)^2$$

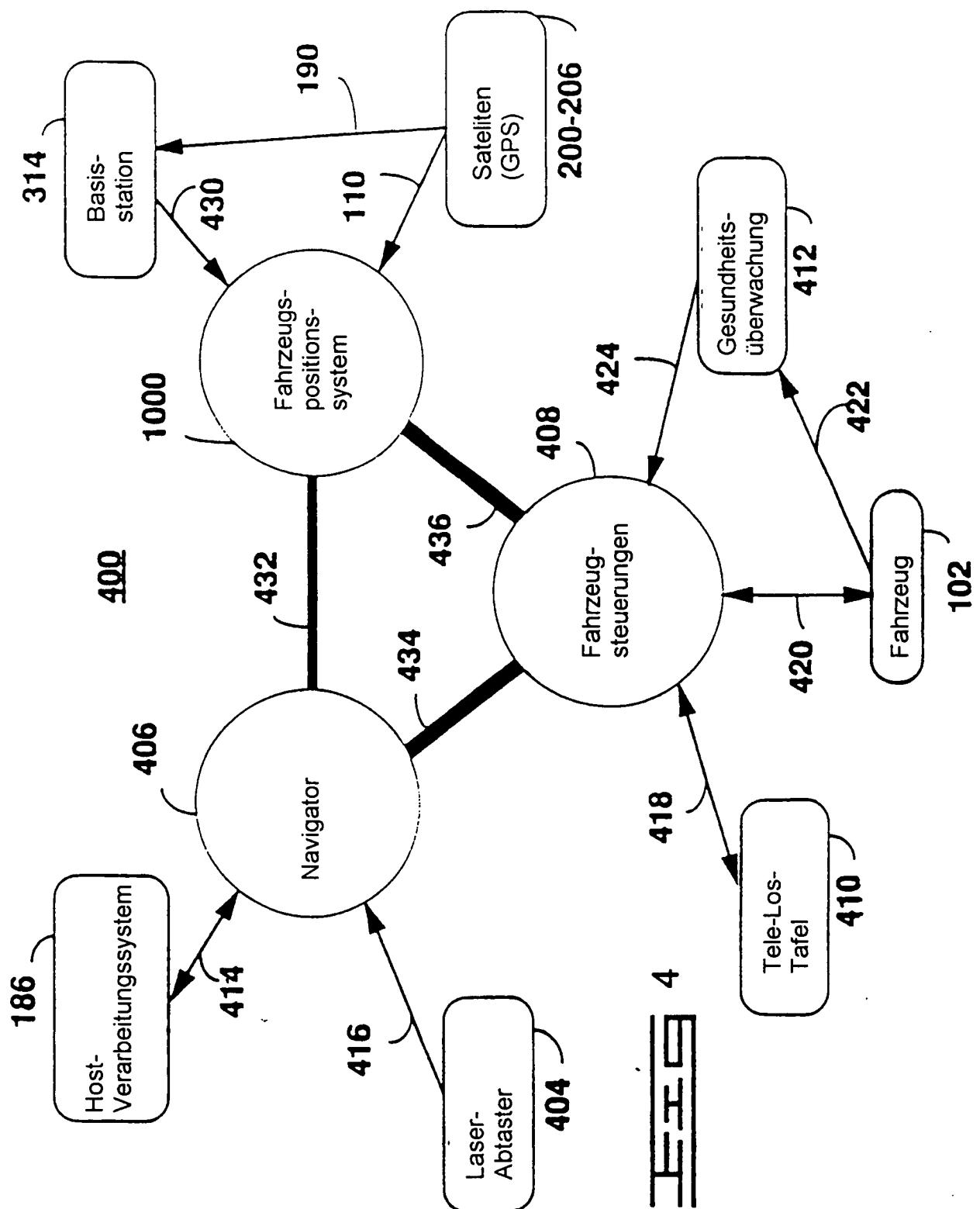
Breite des Fahrzeugs 102 =  $\theta = \cos^{-1} \frac{\sqrt{U_x^2 + U_y^2}}{|U|}$

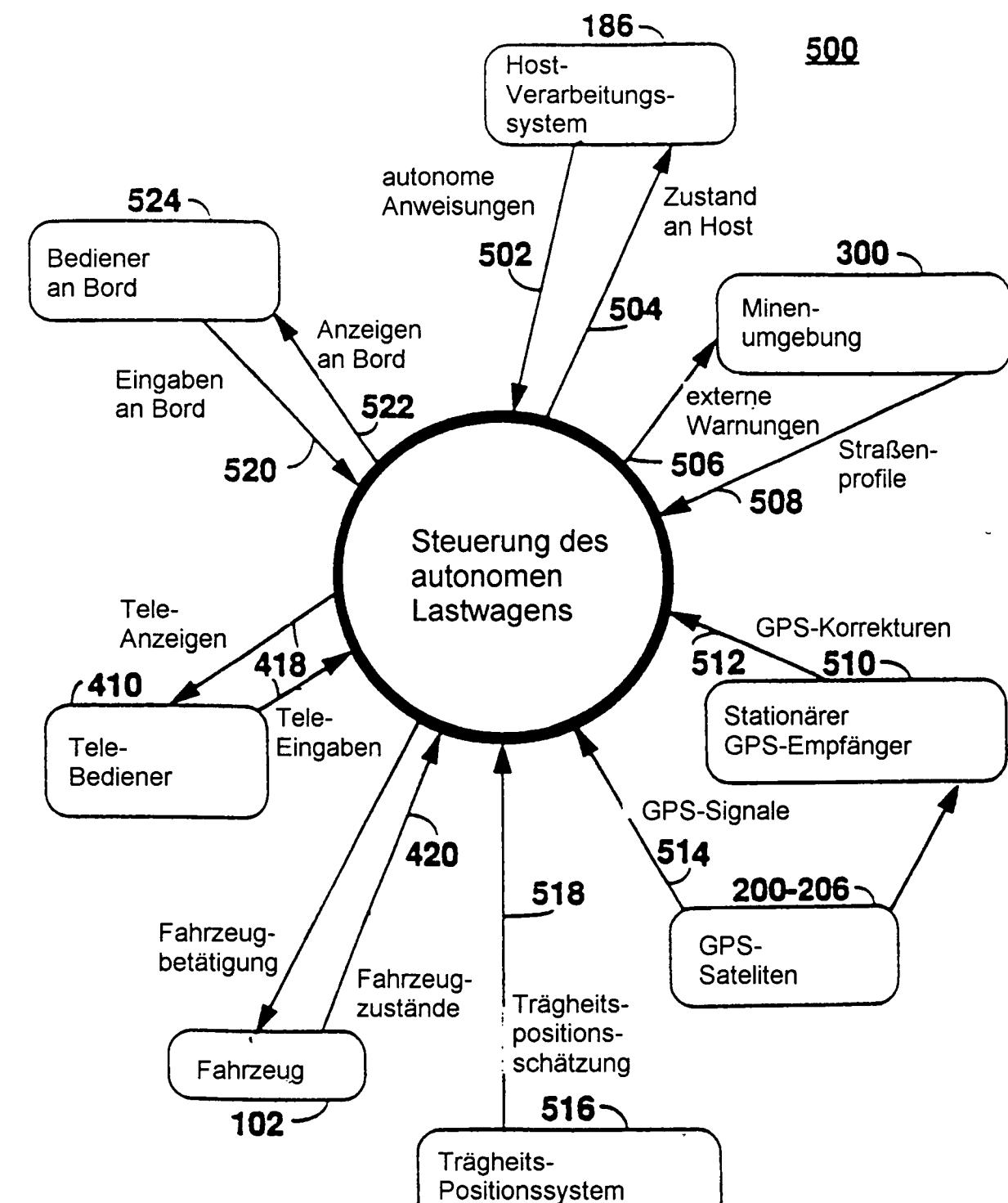
Länge des Fahrzeugs 102 =  $\beta = \tan^{-1} U_x/U_y$

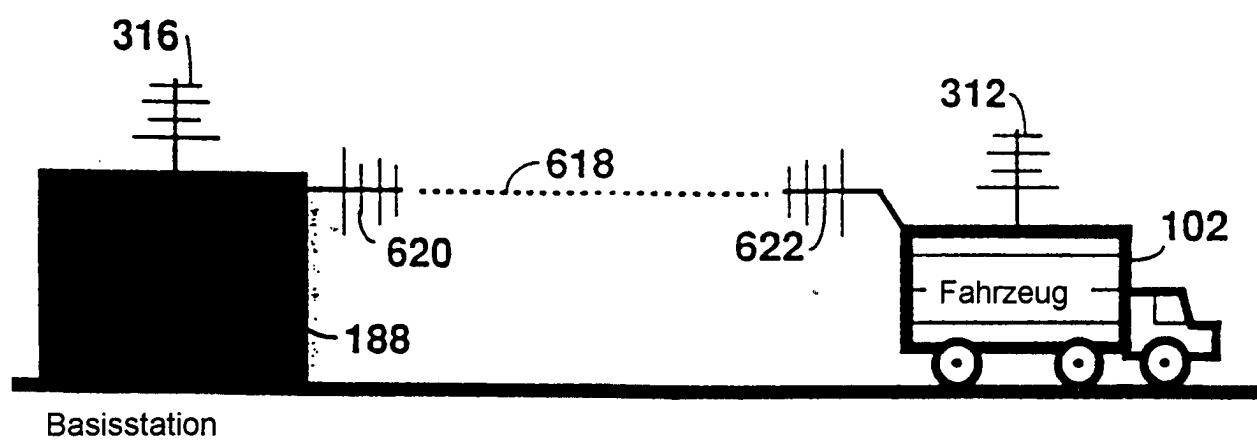
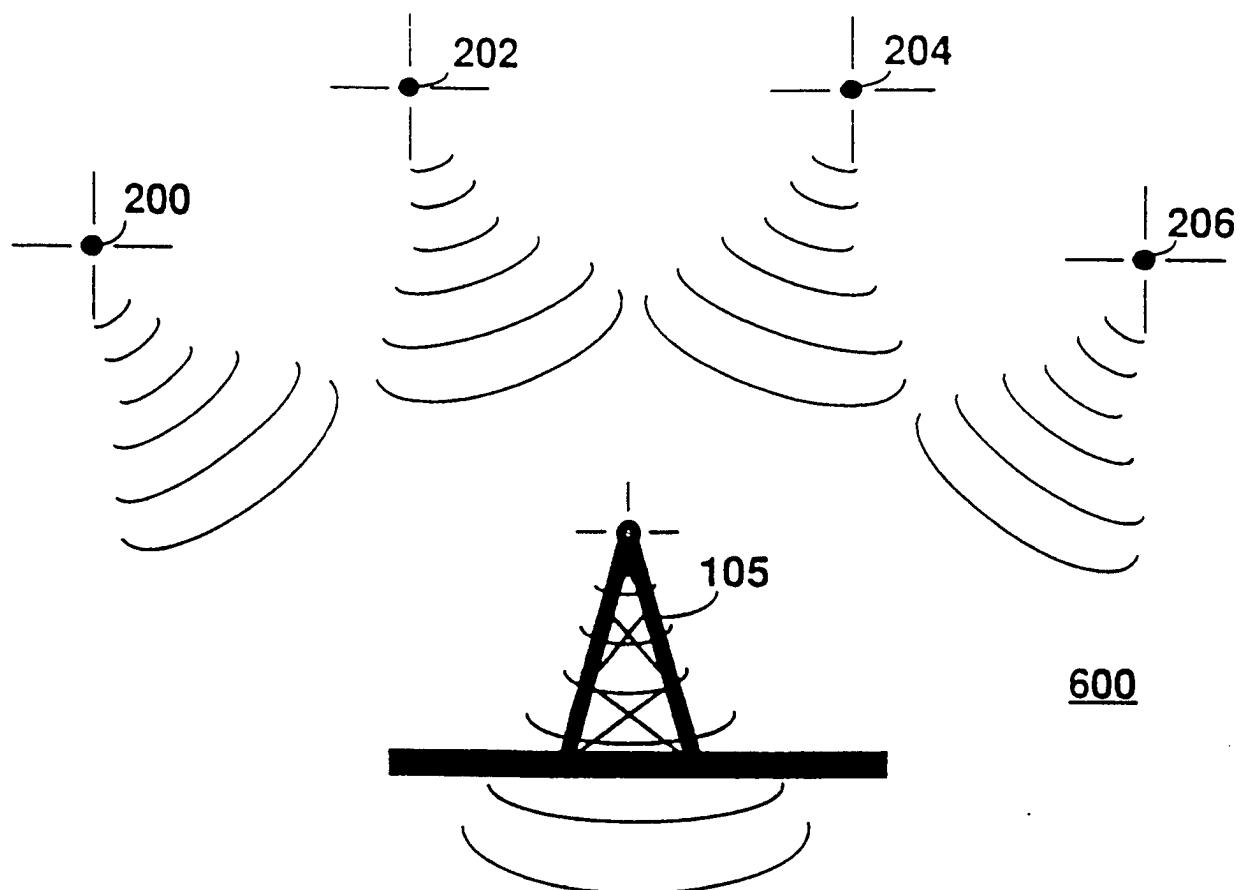
212

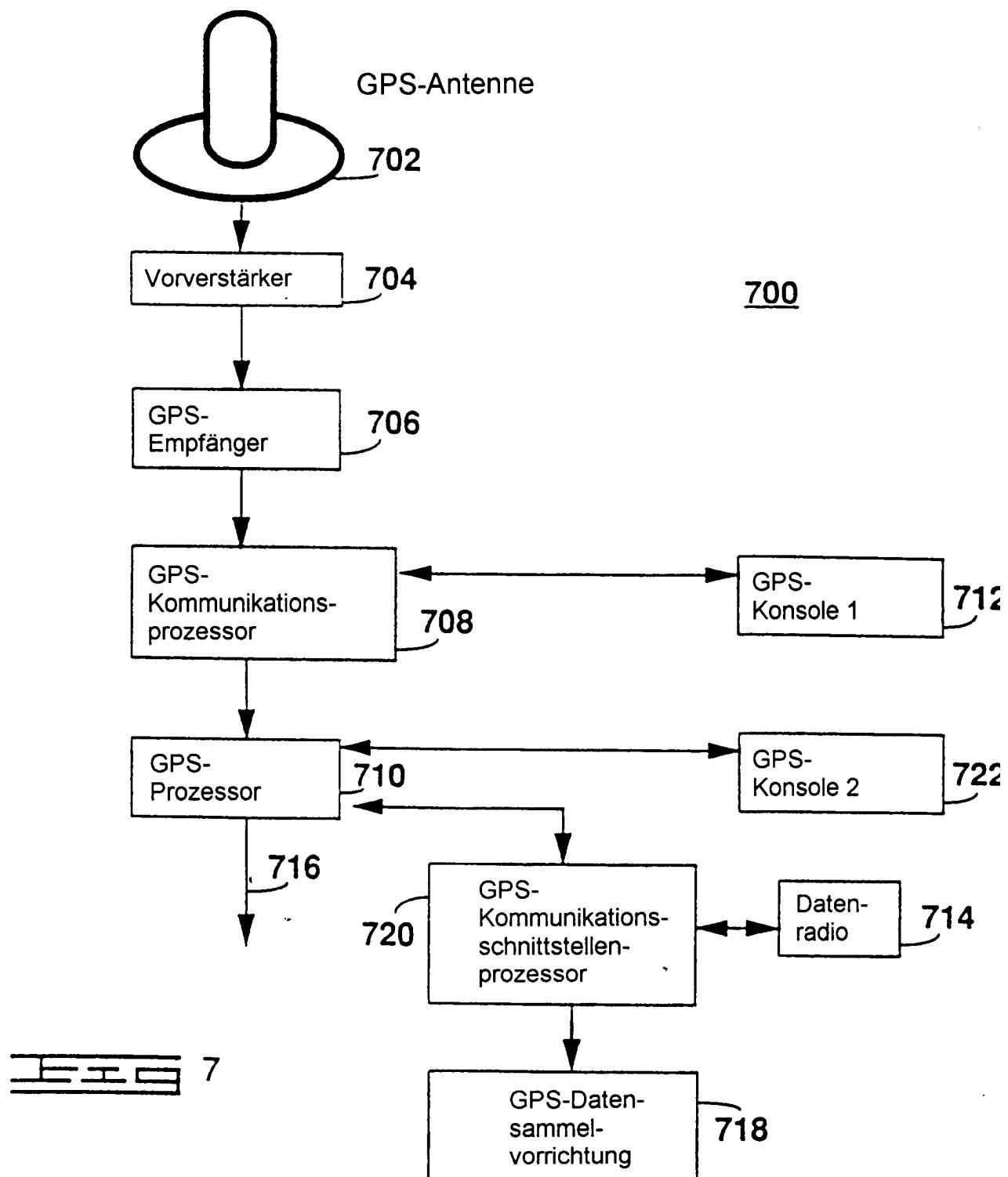
3  
EPO

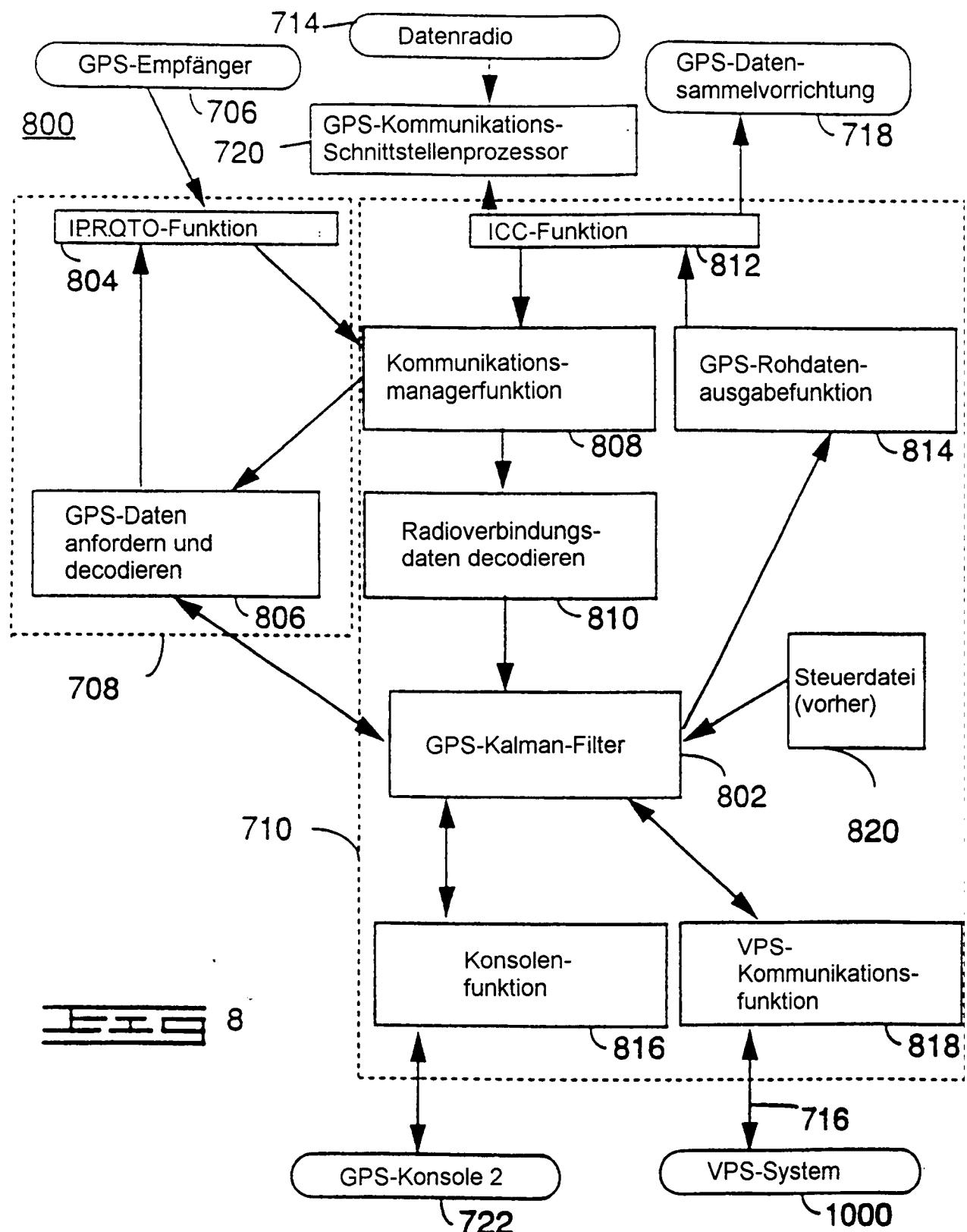




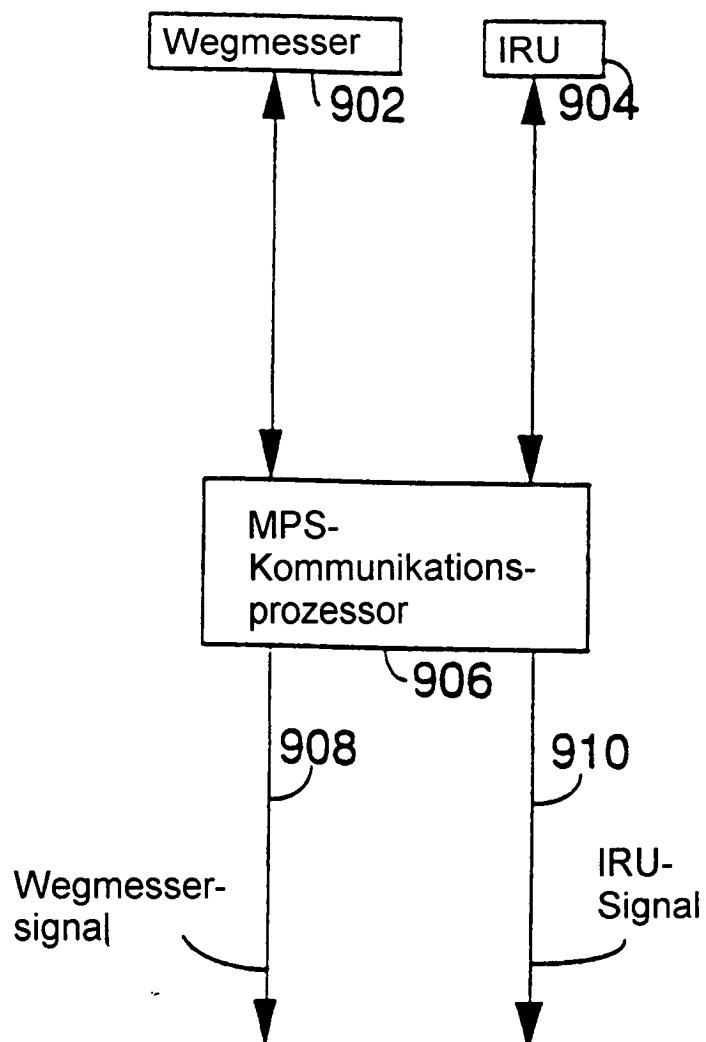






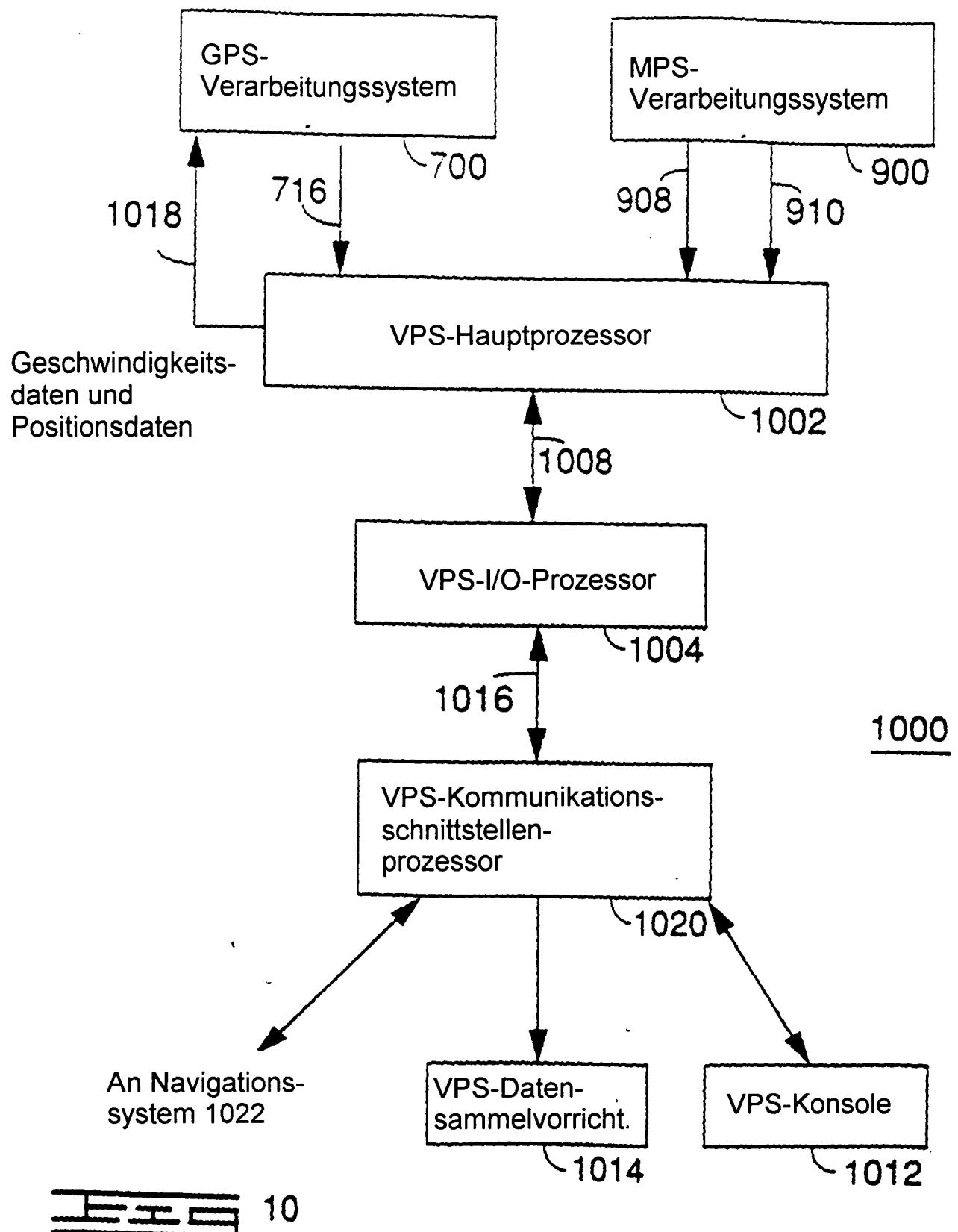


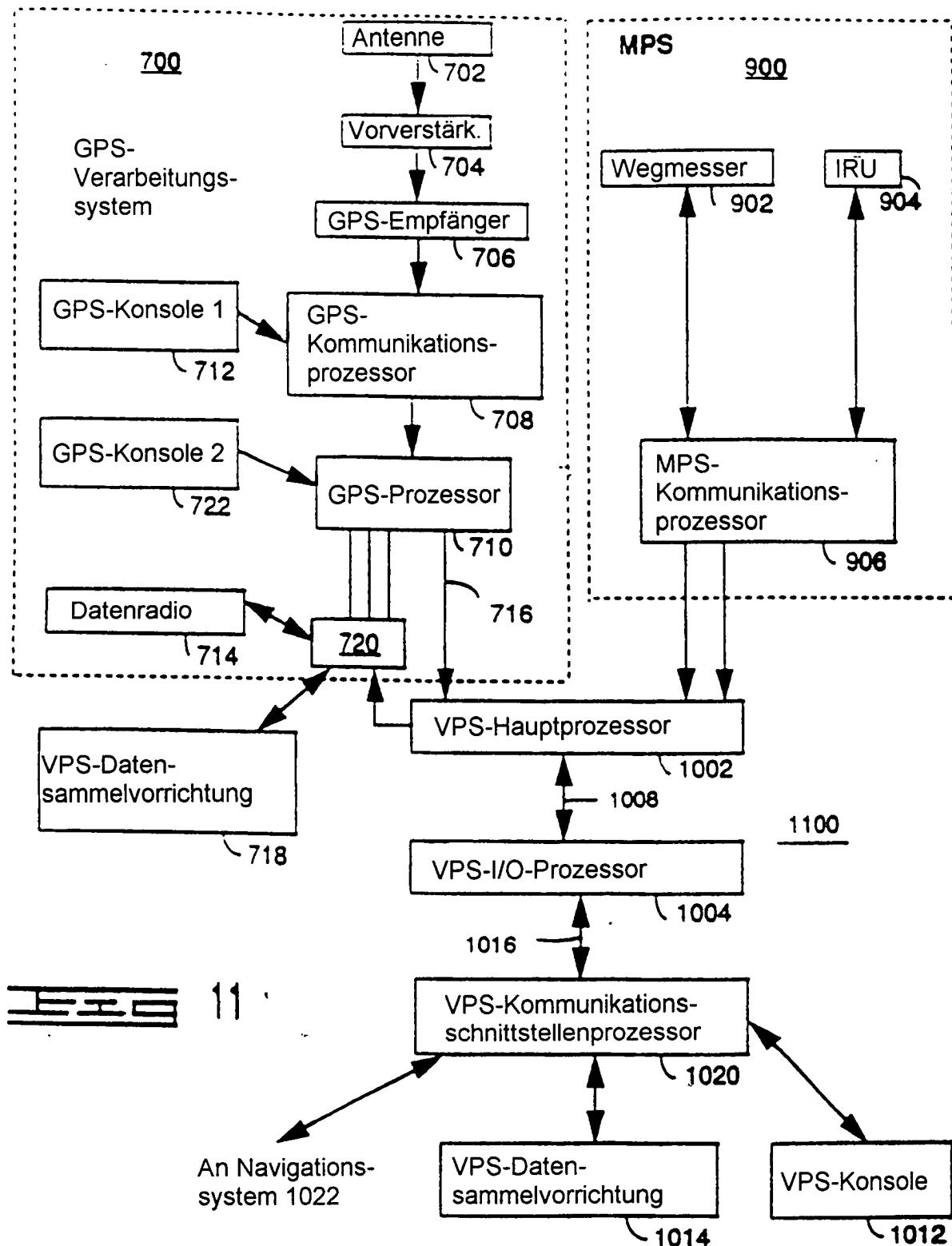
900

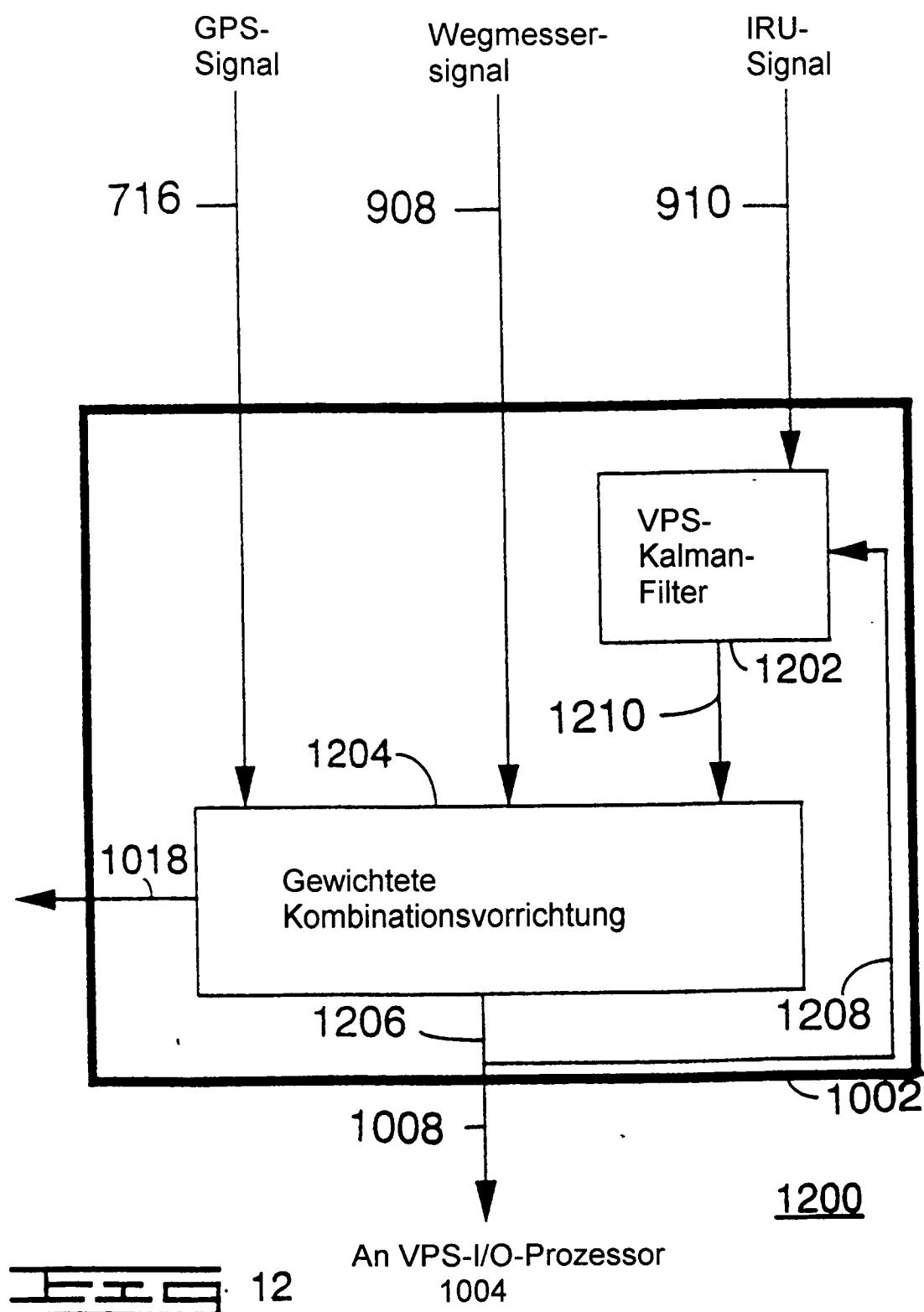


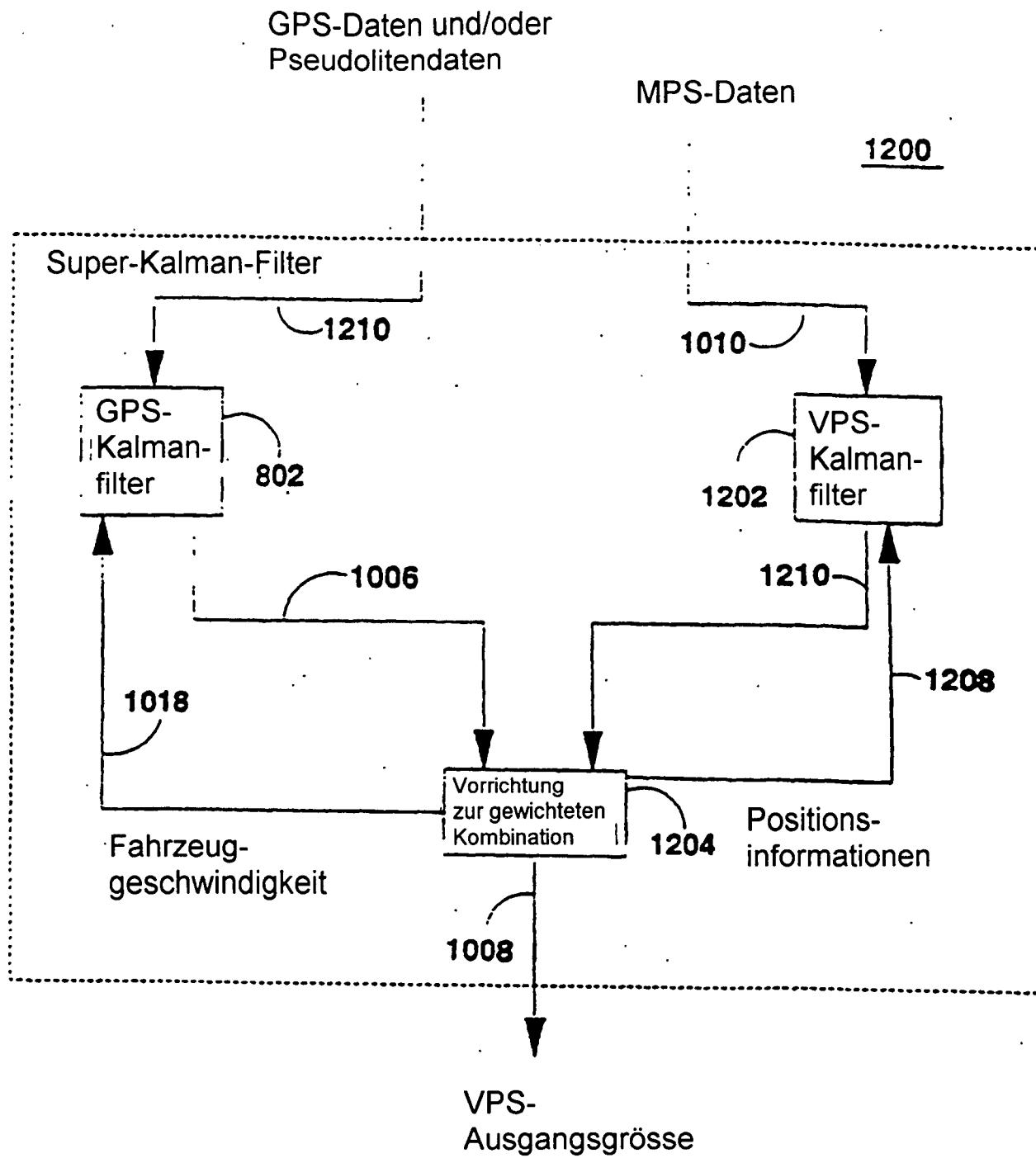
An VPS-  
Hauptprozessor  
1002

EIO 9

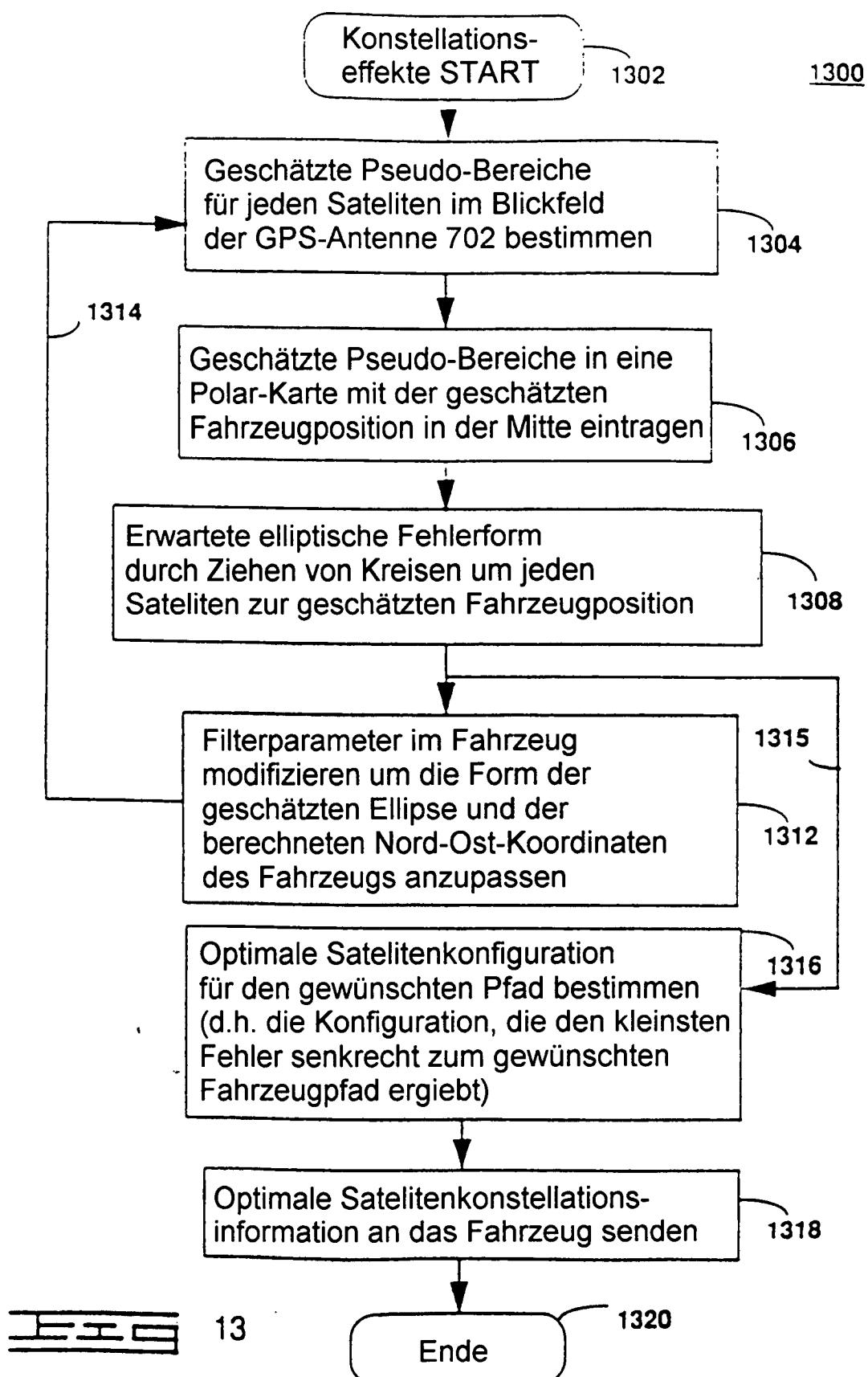


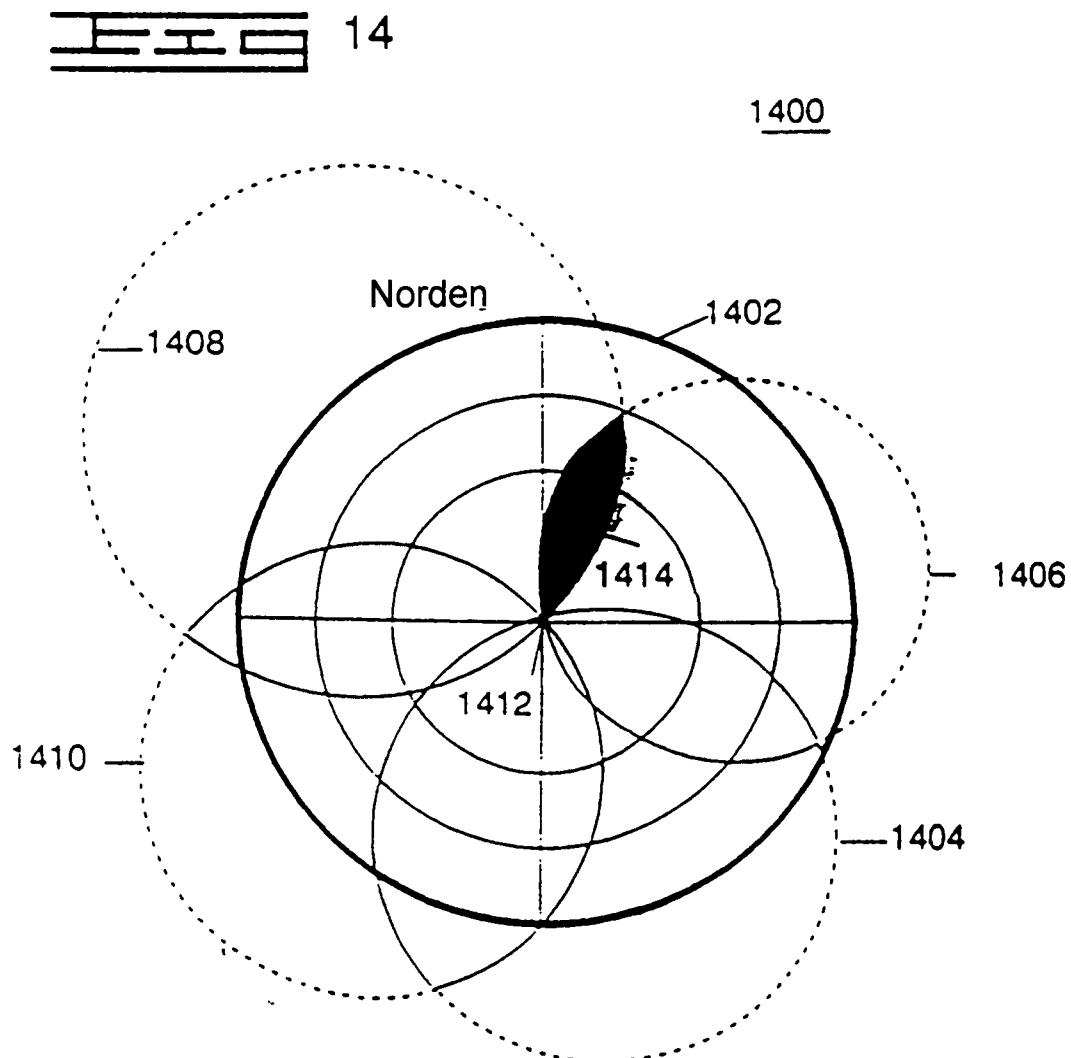


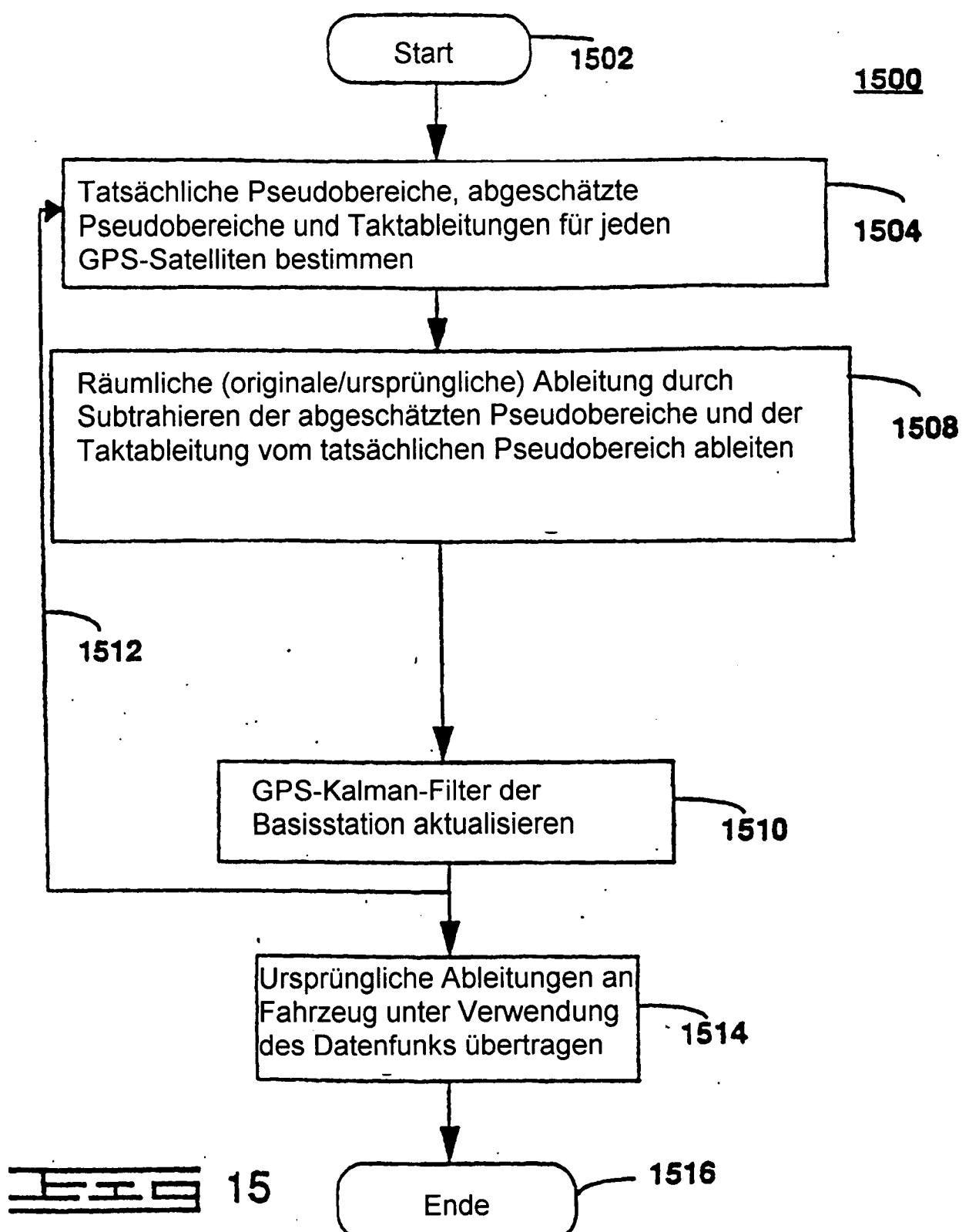


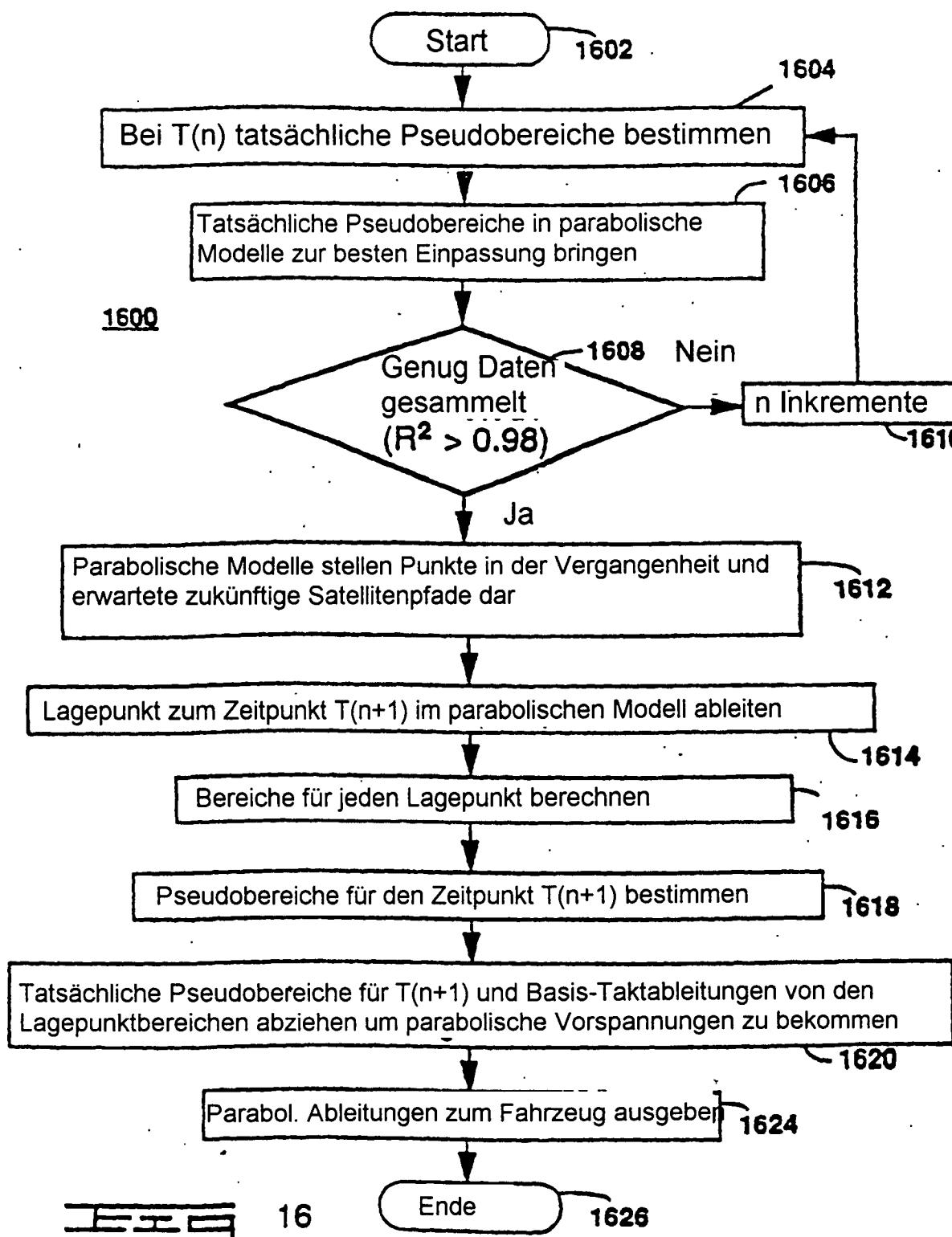


12A







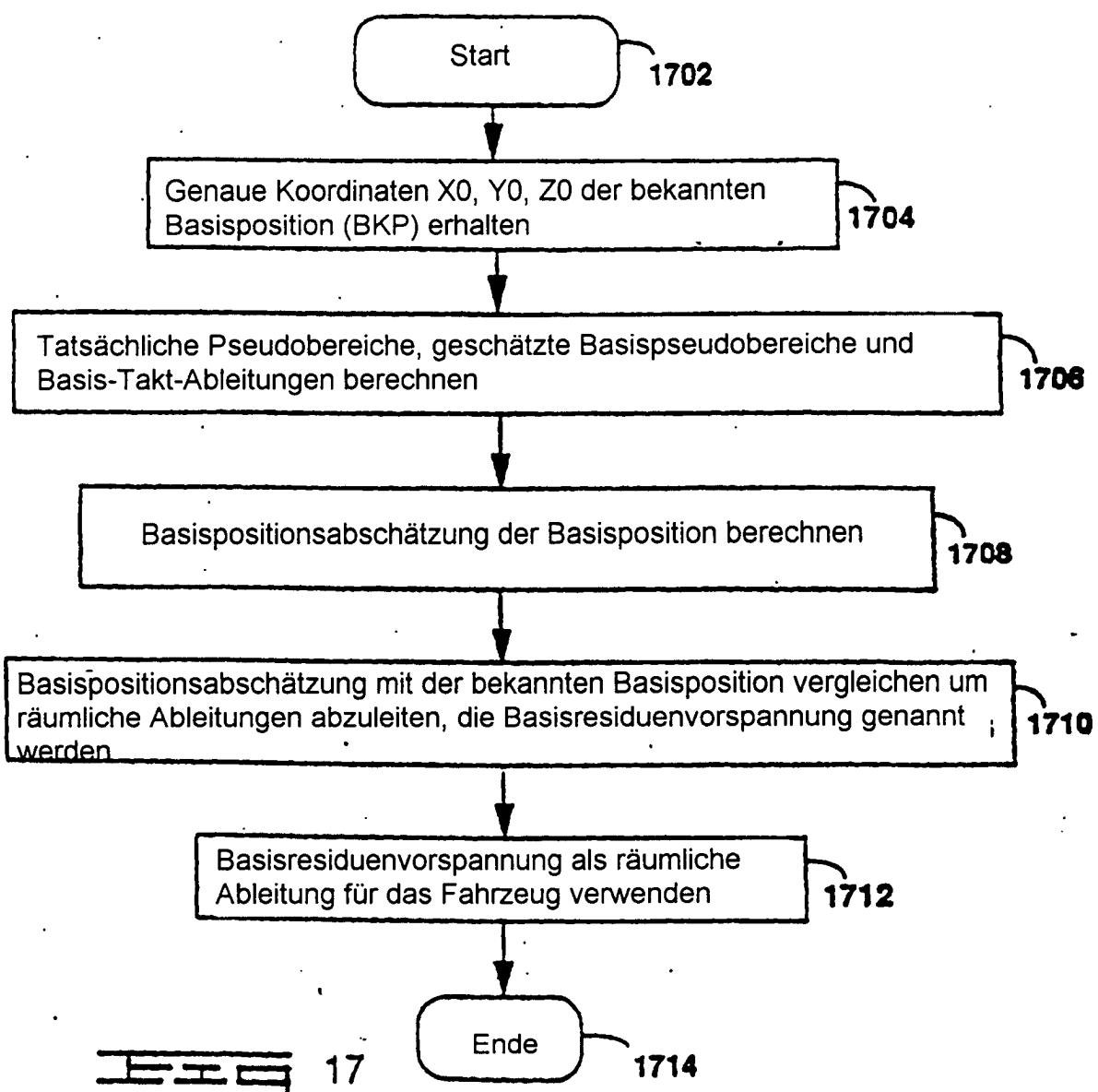


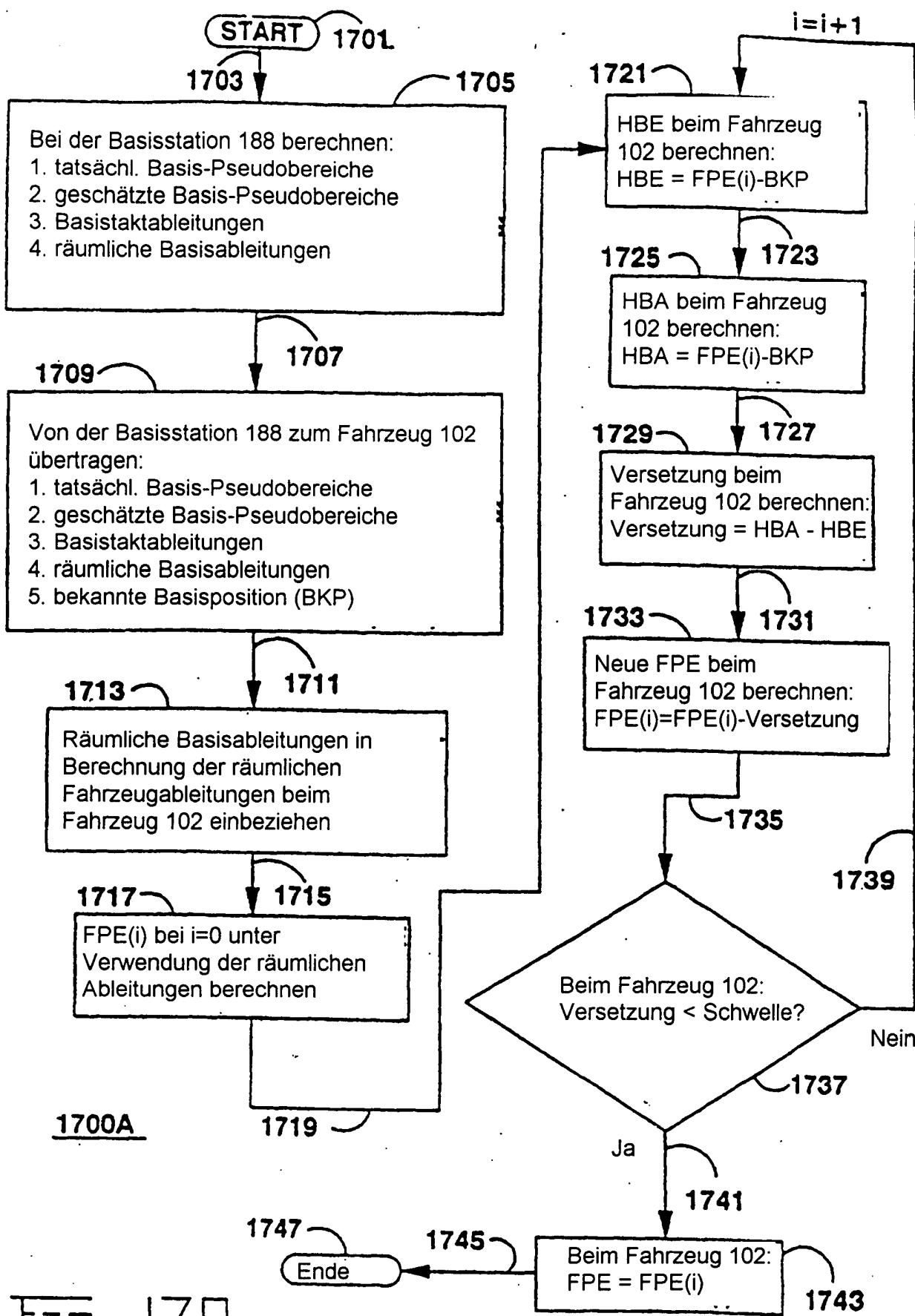
三三三

16

Ende

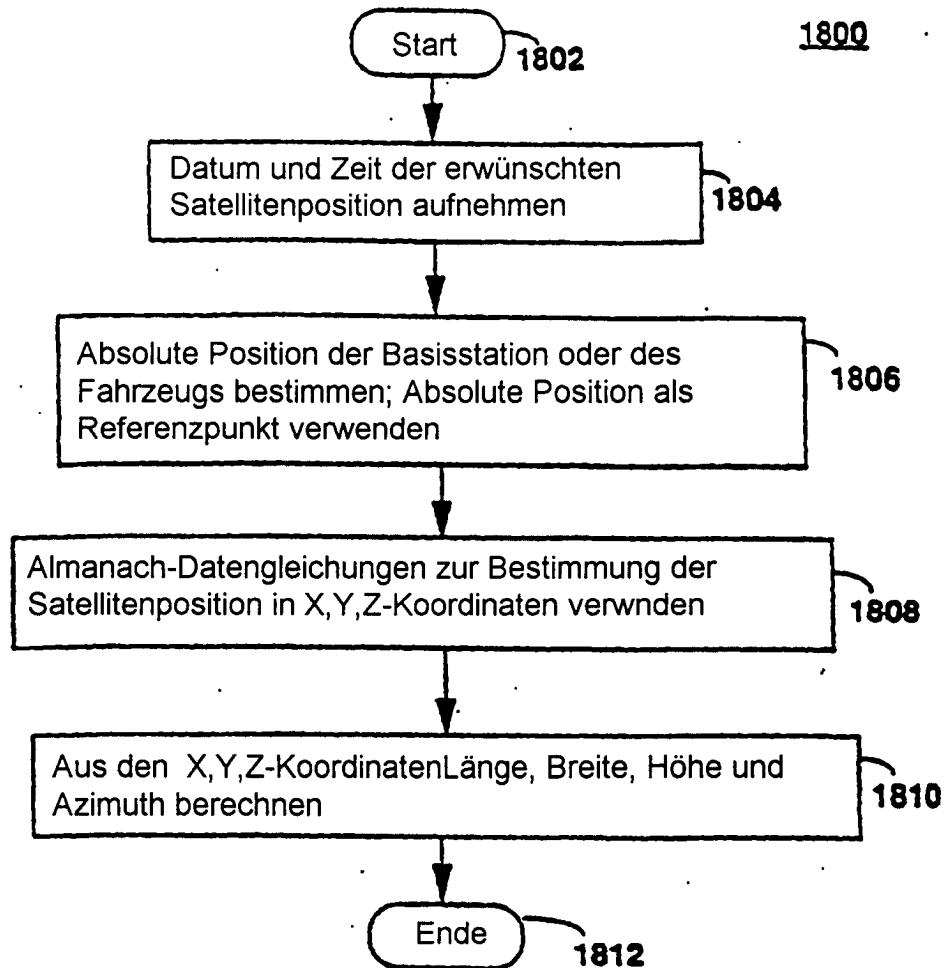
1626

1700



EIO

17日



18

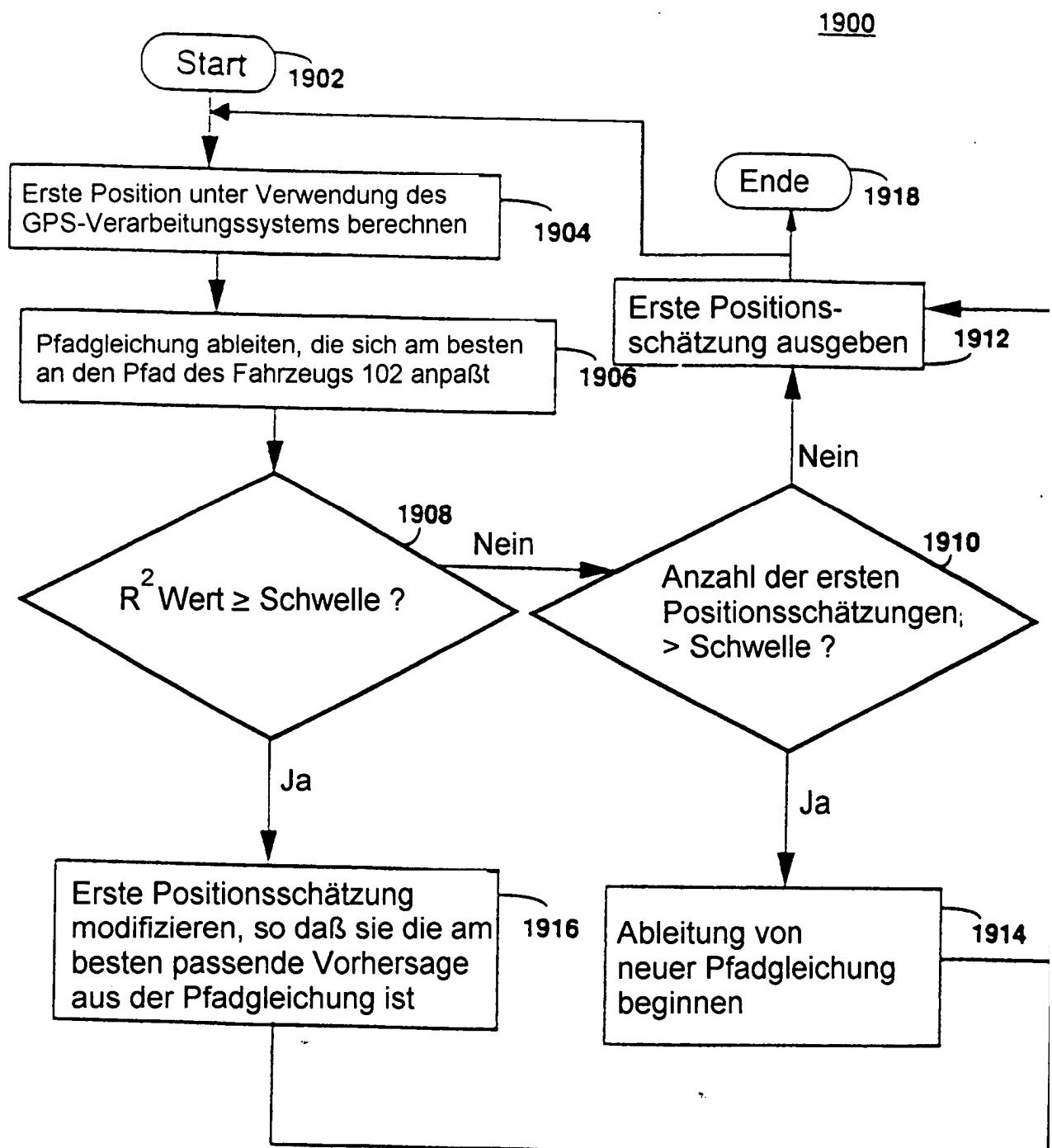


FIG. 19

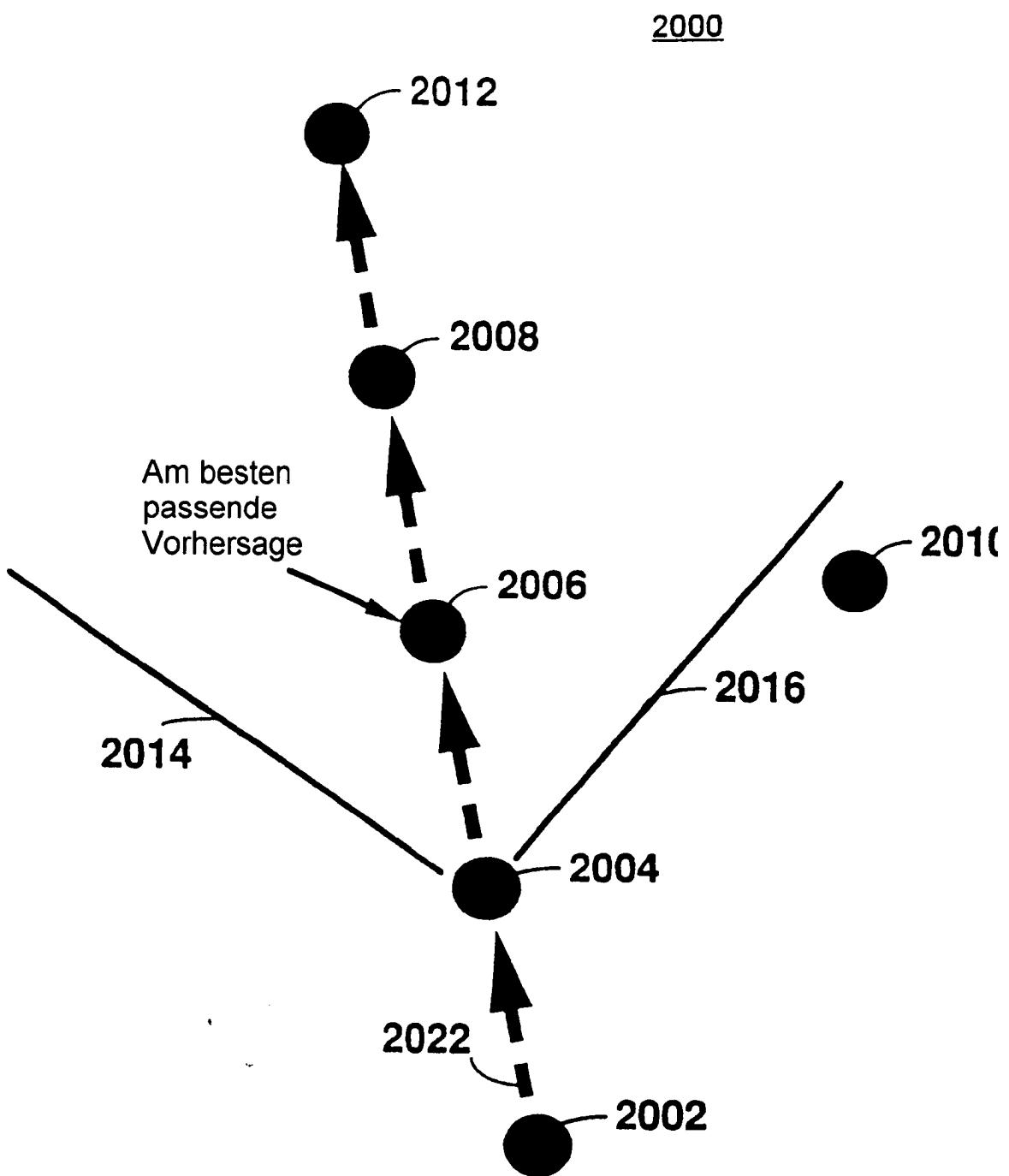


FIG. 20

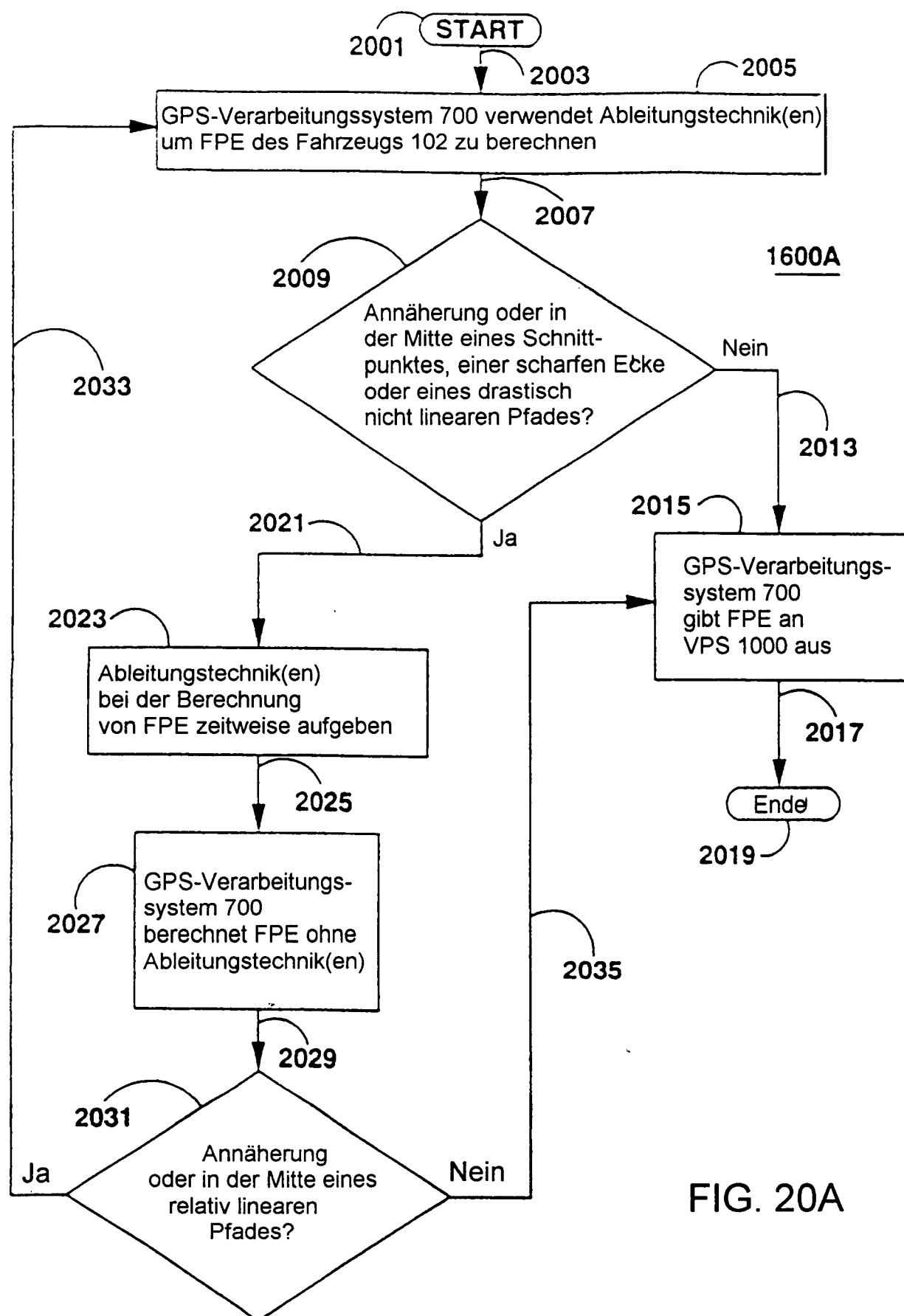
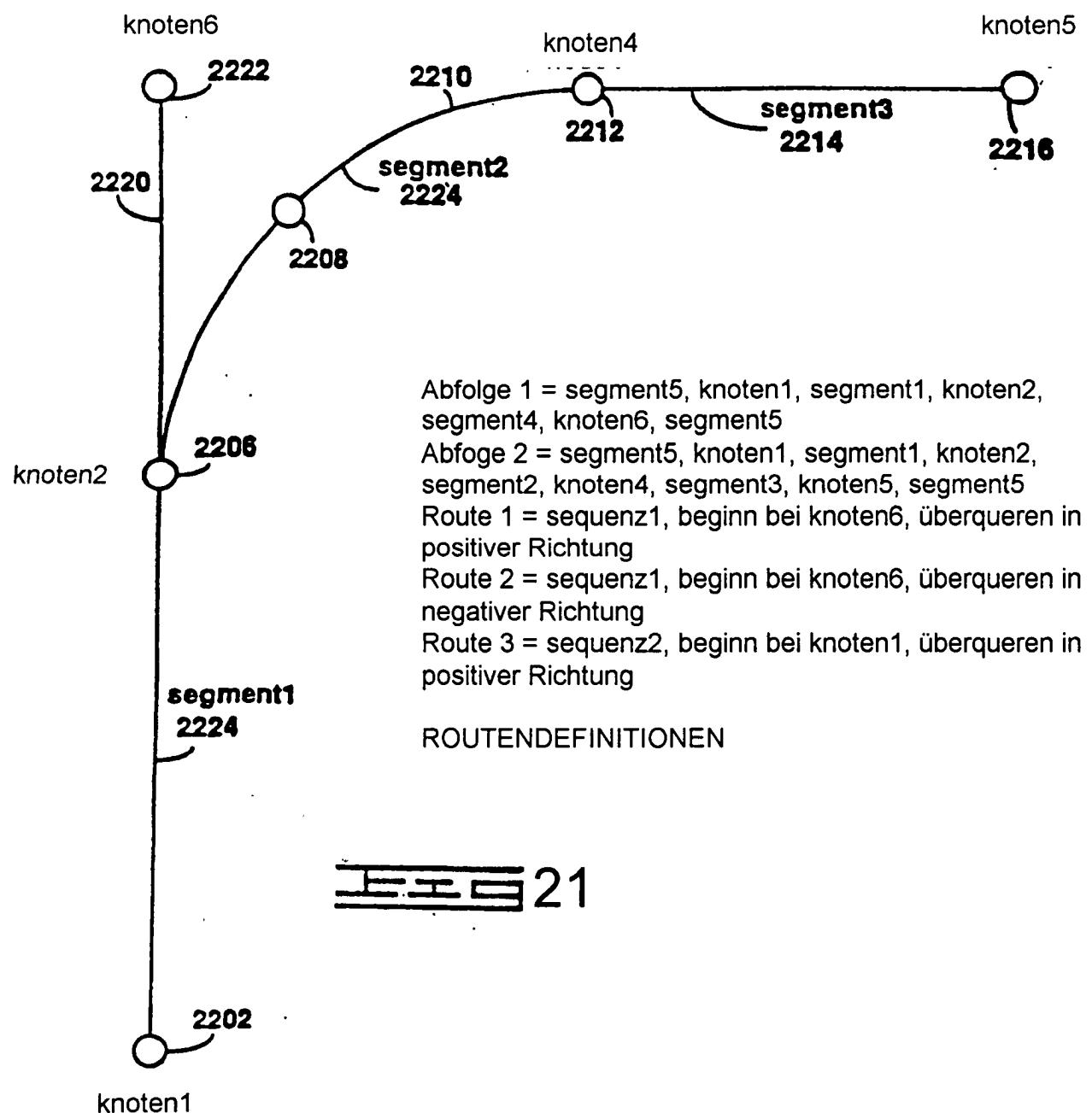


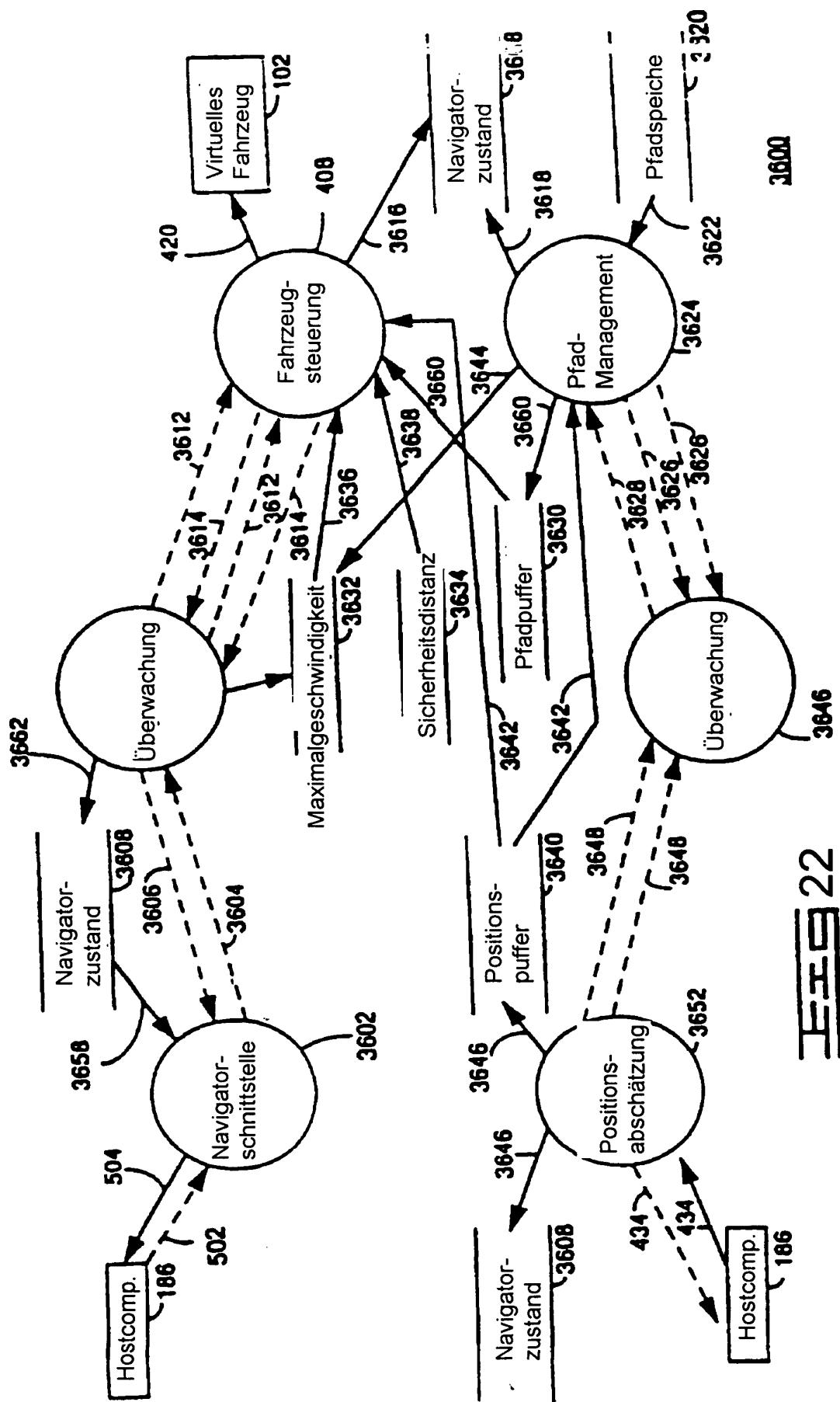
FIG. 20A

2200

segment5 = Routenende

2218





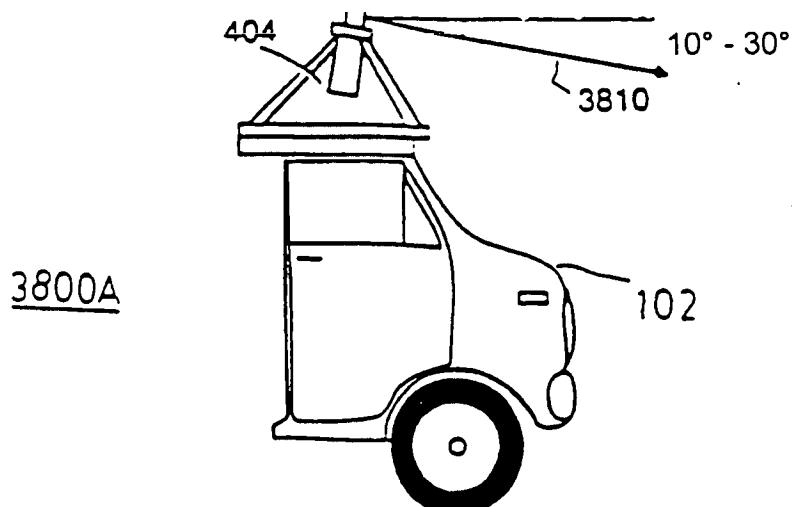
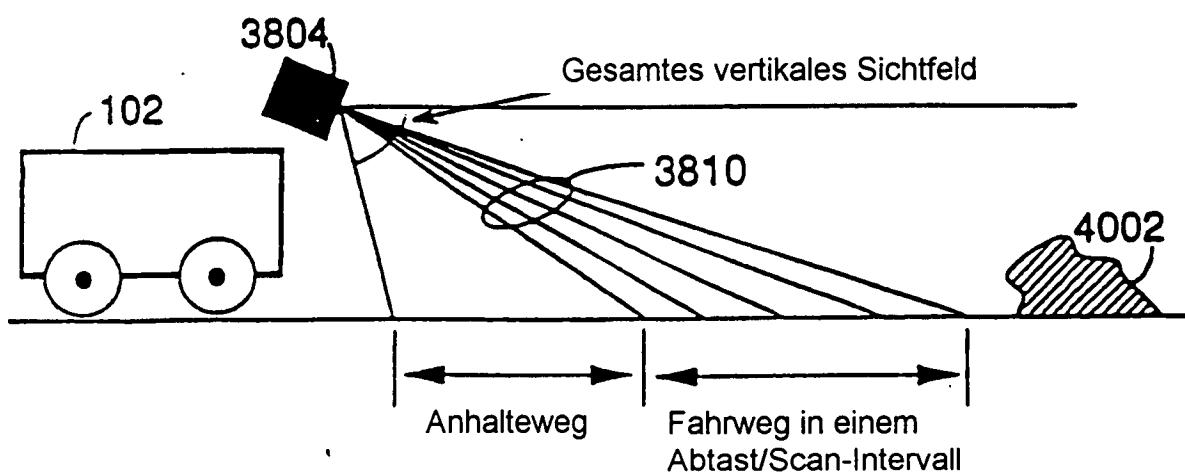
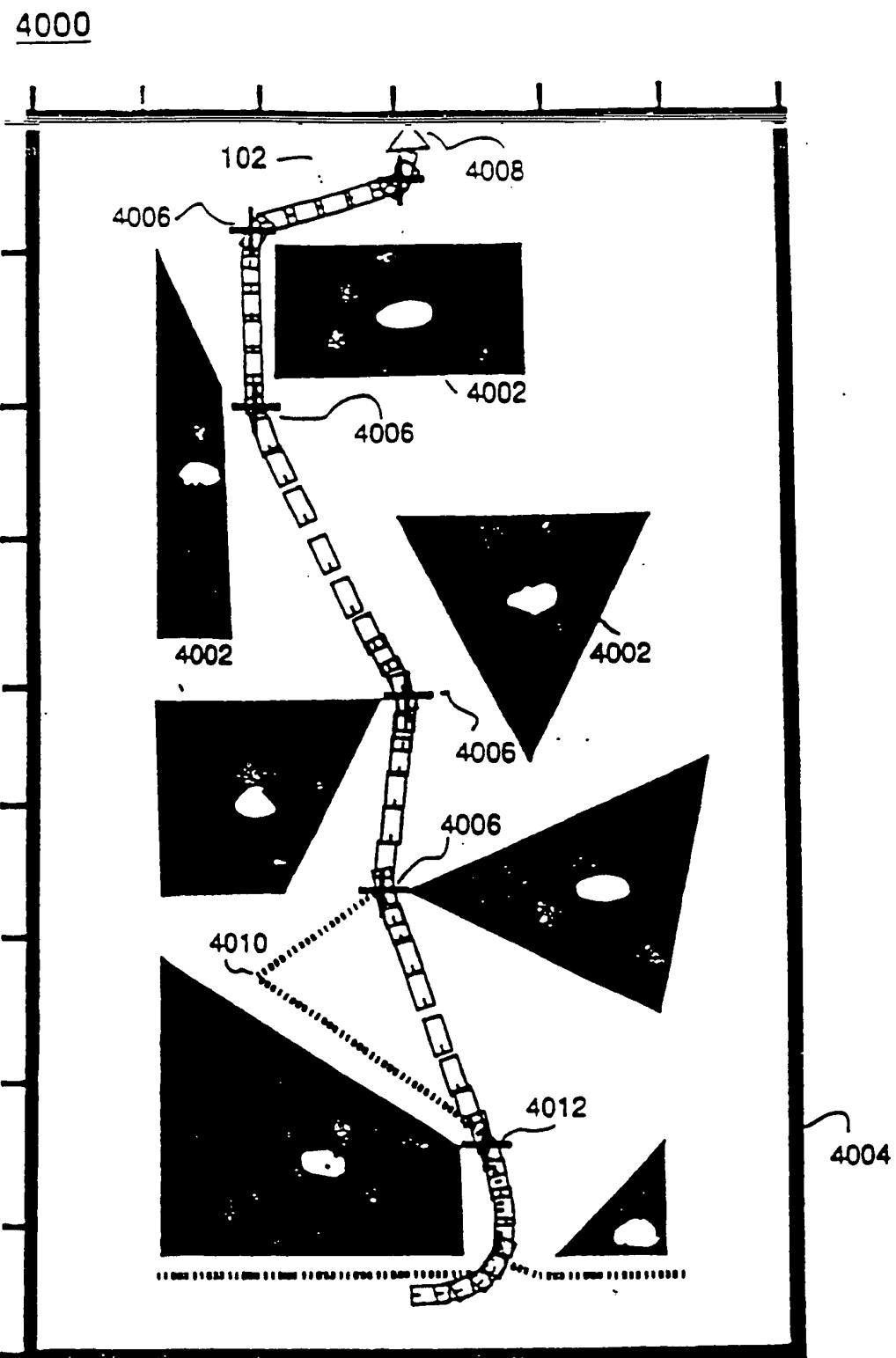


Fig 23A



 23B



正工口 24