



(10) **DE 10 2014 211 172 A1** 2015.12.17

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 211 172.2**  
(22) Anmeldetag: **11.06.2014**  
(43) Offenlegungstag: **17.12.2015**

(51) Int Cl.: **G01S 19/45 (2010.01)**  
**G01S 19/48 (2010.01)**  
**G01C 21/16 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Continental Teves AG & Co. oHG, 60488  
Frankfurt, DE**

(72) Erfinder:  
**Martin, Jens, 60486 Frankfurt, DE; Steinhardt,  
Nico, 60327 Frankfurt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 102 38 061 A1**  
**DE 10 2010 063 984 A1**  
**DE 10 2012 216 215 A1**  
**DE 10 2012 219 475 A1**  
**DE 10 2012 219 478 A1**

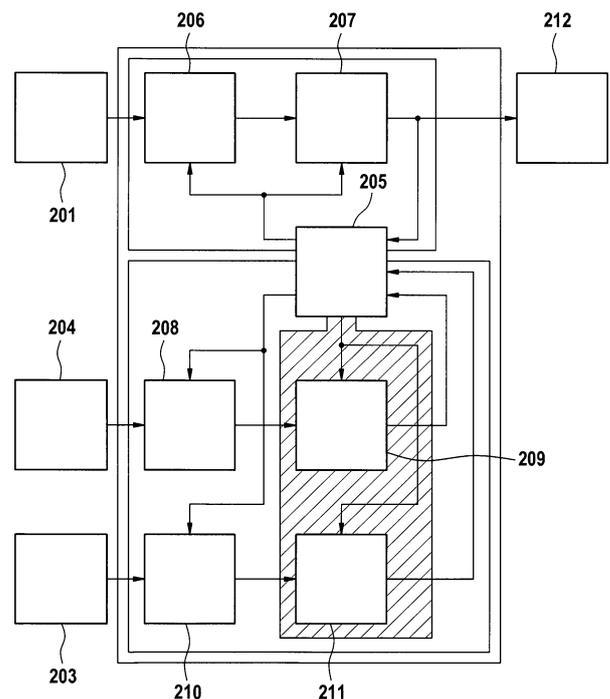
**Wendel, Jan: Integrierte Navigationssysteme.  
München [u.a.] : Oldenbourg, 2007. ISBN: 978-  
3-486-58160-7, S.69-70**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems (101, 201), wobei das Sensorbasissystem (101, 201) und mindestens ein weiteres Sensorsystem (103, 104, 203, 204) Eingangsdaten erfassen und diese als Ausgabedaten ausgeben, wobei mittels der Ausgabedaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems (103, 104, 203, 204) eine Bestimmung von Fehlerwerten der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (101, 201) erfolgt, wobei die Fehlerwerte mittels einer Anbringung von Korrekturen korrigiert werden und wobei die Bestimmung der Fehlerwerte eine Bestimmung eines Fehlerwerts einer Steigung einer Kennlinie des Sensorbasissystems (101, 201) umfasst, wobei die Kennlinie eine Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (101, 201) von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems (101, 201) beschreibt. Die Erfindung betrifft weiterhin ein entsprechendes System sowie eine Verwendung des Systems.



### Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems gemäß Oberbegriff von Anspruch 1, ein System zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems gemäß Oberbegriff von Anspruch 9 sowie eine Verwendung des Systems.

**[0002]** Alle Ausgabedaten sind prinzipiell fehlerbehaftet und in vielen Fällen ist zudem eine durchgängige Verfügbarkeit der Ausgabedaten nicht gegeben. Neben der Abhängigkeit der Ausgabedaten von sensorinhärenten Eigenschaften sind die Ausgabedaten darüber hinaus oftmals auch von Umgebungsbedingungen abhängig. Sensorfehler bzw. Messfehler lassen sich dabei in quasistationäre, über mehrere Messungen konstante Anteile, wie z. B. einen sog. Offsetfehler ebenso wie einen sog. Skalenfaktorfehler, und statistische, von Messung zu Messung zufällige Anteile, wie z. B. Rauschen, unterteilen. Insbesondere beim Skalenfaktorfehler handelt es sich um einen multiplikativen Fehler, also um einen Steigungsfehler in der Sensorkennlinie. Während die zufälligen Anteile prinzipiell nicht deterministisch korrigierbar sind, lassen sich quasistationäre Fehler im Allgemeinen bei gegebener Beobachtbarkeit korrigieren. Nicht korrigierbare signifikante Fehler lassen sich bei gegebener Erkennbarkeit üblicherweise zumindest vermeiden.

**[0003]** Im Stand der Technik sind in diesem Zusammenhang bereits Sensorfusionsverfahren bekannt, welche üblicherweise auch dazu geeignet sind, Ausgabedaten von unterschiedlichen Sensoren bzw. Sensorsystemen zu korrigieren bzw. zu filtern. Insbesondere im Automotive-Bereich sind dabei besondere Anforderungen zu berücksichtigen, da eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren eine gemeinsame Umfeldsituation bzw. einen Kraftfahrzeugzustand mittels unterschiedlicher Messprinzipien erfasst und diese Umfeldsituation bzw. diesen Kraftfahrzeugzustand mittels einer Vielzahl unterschiedlicher Ausgabedaten beschreibt. Für eine im Automotive-Bereich anwendbare Sensorfusion ist somit eine möglichst große Robustheit gegen zufällige Störungen sowie eine Erkennung und Kompensation von systematischen Fehlern gefordert. Ebenso sind zeitliche Einflüsse auf die Ausgabedaten zu korrigieren und temporäre Ausfälle oder die Nichtverfügbarkeit von Sensoren zu überbrücken.

**[0004]** Aus der DE 10 2010 063 984 A1 ist ein mehrere Sensorelemente umfassendes Sensorsystem bekannt. Die Sensorelemente sind so ausgebildet, dass sie zumindest teilweise unterschiedliche primäre Messgrößen erfassen und zumindest teilweise unterschiedliche Messprinzipien nutzen. Aus der primären Messgröße der Sensorelemente werden dann zumindest teilweise weitere Messgrößen abgeleitet. Weiterhin umfasst das Sensorsystem eine Signalverarbeitungseinrichtung, eine Schnittstelleneinrichtung sowie mehrere Funktionseinrichtungen. Die Sensorelemente sowie sämtliche Funktionseinrichtungen sind dabei mit der Signalverarbeitungseinrichtung verbunden. Die primären Messgrößen liefern also redundante Informationen, die in der Signalverarbeitungseinrichtung miteinander verglichen werden bzw. sich gegenseitig stützen können. Aus dem Vergleich der auf verschiedenem Weg berechneten Observablen können Rückschlüsse auf die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Observablen gezogen werden. Die Signalverarbeitungseinrichtung qualifiziert die Genauigkeit der Observablen und stellt die Observablen zusammen mit einer Genauigkeitsangabe über eine Schnittstelleneinrichtung verschiedenen Funktionseinrichtungen zur Verfügung.

**[0005]** Die DE 10 2012 216 215 A1 beschreibt ein Sensorsystem, welches mehrere Sensorelemente und eine Signalverarbeitungseinrichtung umfasst. Die Signalverarbeitungseinrichtung ist dabei so ausgebildet, dass sie die Sensorsignale der Sensorelemente zumindest teilweise gemeinsam auswertet. Weiterhin ist die Signalverarbeitungseinrichtung so ausgebildet, dass den Ausgabedaten physikalischer Größen jeweils eine Zeitinformation zugeordnet wird, welche eine Information über den Zeitpunkt der jeweiligen Messung direkt oder indirekt umfasst, wobei die Signalverarbeitungseinrichtung diese Zeitinformation zumindest bei der Erzeugung eines Fusionsdatensatzes in einem Fusionsfilter berücksichtigt. Für die Erzeugung des Fusionsdatensatzes werden Ausgabedaten herangezogen, die entweder eine übereinstimmende Zeitinformation aufweisen oder aber – sofern keine Ausgabedaten mit übereinstimmenden Zeitinformationen vorliegen – es wird ein entsprechender Messwert mit der benötigten Zeitinformation mittels Interpolation erstellt. Weiterhin geht das Fusionsfilter davon aus, dass sich Fehlerwerte der Ausgabedaten über eine definierte Zeitspanne nur vernachlässigbar ändern.

**[0006]** Die DE 10 2012 219 478 A1 beschreibt ein Sensorsystem zur eigenständigen Bewertung der Integrität seiner Daten. Das Sensorsystem wird bevorzugt in Kraftfahrzeugen verwendet und umfasst mehrere Sensorelemente, die derart ausgebildet sind, dass sie zumindest teilweise unterschiedliche primäre Messgrößen erfassen bzw. zumindest teilweise unterschiedliche Messprinzipien nutzen. Das Sensorsystem umfasst weiterhin eine Signalverarbeitungseinrichtung, welche die Sensorsignale zumindest teilweise gemeinsam auswertet und gleichzeitig die Informationsqualität der Sensorsignale bewertet. Die Signalverarbeitungseinrichtung stellt außerdem eine Information über die Widerspruchsfreiheit zumindest eines Datums einer physikalischen

Größe bereit, wobei das Datum der physikalischen Größe auf Basis der Sensorsignale von Sensorelementen berechnet wird, welche die physikalische Größe entweder direkt erfassen oder aus deren Sensorsignalen die physikalische Größe berechenbar ist. Die Information über die Widerspruchsfreiheit des Datums wird nun auf Basis von direkt oder indirekt redundant vorliegenden Sensorinformationen berechnet.

**[0007]** Die im Stand der Technik bekannten, gattungsgemäßen Verfahren und Sensorsysteme sind jedoch insofern nachteilbehaftet, als dass sie Skalenfaktorfehler als solche nicht erkennen und entsprechend nicht berücksichtigen.

**[0008]** Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten, insbesondere zur Korrektur von mit Skalenfaktorfehlern behafteten Ausgabedaten, vorzuschlagen.

**[0009]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems gemäß Anspruch 1 gelöst.

**[0010]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems, wobei das Sensorbasissystem und mindestens ein weiteres Sensorsystem Eingangsdaten erfassen und diese als Ausgabedaten ausgeben, wobei mittels der Ausgabedaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems eine Bestimmung von Fehlerwerten der Ausgabedaten des Sensorbasissystems erfolgt, wobei die Fehlerwerte mittels einer Anbringung von Korrekturen korrigiert werden und wobei die Bestimmung der Fehlerwerte eine Bestimmung eines Fehlerwerts einer Steigung einer Kennlinie des Sensorbasissystems umfasst, wobei die Kennlinie eine Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems beschreibt.

**[0011]** Die Erfindung schlägt also vor, die Steigung einer Kennlinie zu überwachen bzw. einen Fehlerwert der Steigung der Kennlinie zu bestimmen. Diese Art von Fehlerwert ist auch als sog. Skalenfaktorfehler bekannt. Somit wird also ein vom jeweiligen Betriebspunkt des Sensorbasissystems abhängiger Fehlerwert des Skalenfaktorfehlers bestimmt. Zur Bestimmung des Skalenfaktorfehlers werden daher zumindest zwei Eingangsdaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems, des sog. Korrektursystems, benötigt. Somit wird also für die Kennlinie des Basissystems bzw. für deren Fehlerwert, nicht nur der Achsenabschnitt, sondern auch die Steigung berechnet. Damit ist ein nur wenig komplexes, rechenzeiteffizientes Modell realisierbar. Dies ermöglicht wiederum eine einfache und praxistaugliche Implementierung in unterschiedliche Messvorrichtungen.

**[0012]** Die Korrekturen entsprechen dabei bevorzugt den negativen Fehlerwerten.

**[0013]** Die Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems ist dabei bevorzugt eine Abhängigkeit des Fehlerwerts der Ausgabedaten des Sensorbasissystems von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems.

**[0014]** Bevorzugt werden nicht nur die Fehlerwerte als solche bestimmt, sondern auch deren Varianzen sowie alternativ oder zusätzlich auch die Varianzen der Ausgabedaten.

**[0015]** Andere bekannte Fehlerwerte wie etwa der sog. Offsetfehler, der durch eine Nullpunktverschiebung des Sensorbasissystems verursacht wird, werden vorteilhafterweise ebenfalls bestimmt und korrigiert. Im Gegensatz zum Skalenfaktorfehler beschreibt der Offsetfehler einen rein additiven Fehler.

**[0016]** Die Eingangsdaten im Sinne der Erfindung sind die physikalischen Größen, die vom Sensorbasissystem bzw. vom mindestens einen weiteren Sensorsystem erfasst werden. Die Ausgangsdaten beschreiben die erfassten physikalischen Größen und sind in der Regel mit Fehlerwerten behaftet, die durch das Sensorbasissystem bzw. durch das mindestens eine weitere Sensorsystem verursacht werden.

**[0017]** Bevorzugt ist es vorgesehen, dass die Ausgabedaten direkt und/oder indirekt Navigationsinformationen beschreiben, wobei indirekt beschriebene Navigationsinformationen aus den Ausgabedaten und/oder aus bekannten physikalischen und/oder mathematischen Zusammenhängen berechnet werden. Somit können also die bereits beschriebenen Vorteile auf Navigationsinformationen übertragen werden, was eine verbesserte Genauigkeit eines entsprechenden Navigationssystems ermöglicht.

**[0018]** Weiterhin ist es bevorzugt, dass die Navigationsinformationen mindestens eine Positionsinformation, eine Geschwindigkeitsinformation und eine Ausrichtungsinformation umfassen. Diese Navigationsinformationen ermöglichen im Allgemeinen eine vergleichsweise gute Navigationsführung.

**[0019]** Außerdem ist es bevorzugt, dass die Ausgabedaten zumindest Ausgabedaten eines Trägheitsnavigationssystems, Ausgabedaten eines globalen Satellitennavigationssystems und/oder Ausgabedaten eines Odometrienavigationssystems sind. Damit ist die vorliegende Erfindung insbesondere zu Navigationszwecken und für Navigationssysteme, bevorzugt in Kraftfahrzeugen, geeignet. Das Sensorbasissystem und die weiteren Sensorsysteme, also das Satellitennavigationssystem bzw. das Odometrienavigationssystem, bestimmen somit also die Position, insbesondere die Position eines Kraftfahrzeugs, aus den Ausgabedaten. Bei dem globalen Satellitennavigationssystem kann es sich beispielsweise um ein sog. GPS-Navigationssystem handeln. Das Odometrienavigationssystem bestimmt zunächst die Geschwindigkeit z. B. über den bekannten Abrollumfang der Kraftfahrzeugreifen und ermöglicht somit eine Positionsbestimmung unter Berücksichtigung des Lenkwinkels im Rahmen einer Koppelnavigation. Besonders zweckmäßig ist es, dass das Satellitennavigationssystem mindestens zwei Satellitensignalempfänger umfasst. Dadurch verbessert sie die Qualität der erfassten Satellitensignale und somit die Zuverlässigkeit und Genauigkeit des Satellitennavigationssystems.

**[0020]** Außerdem ist es insbesondere bevorzugt, dass das Trägheitsnavigationssystem das Sensorbasissystem ist. Das Trägheitsnavigationssystem als Sensorbasissystem bietet den Vorteil, dass es die vergleichsweise höchste Verfügbarkeit aufweist, da es eine vergleichsweise hohe Ausgaberate der erfassten Eingangsdaten aufweist und zudem weitgehend unabhängig von äußeren Störeinflüssen arbeitet.

**[0021]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die Navigationsinformationen zu einem Fusionsdatensatz fusioniert werden. Ein gemeinsamer Fusionsdatensatz ist gegenüber den einzelnen Navigationsinformationen in der Regel zuverlässiger und präziser und insbesondere erlaubt er mittels einer Fehlerschätzung eine vergleichsweise zuverlässige Bewertung der Genauigkeit bzw. Zuverlässigkeit der fusionierten Eingangsdaten bzw. Navigationsinformationen.

**[0022]** Weiterhin ist es vorgesehen, dass die Fehlerwerte mittels eines Error-State-Space-Filters, insbesondere mittels eines Error-State-Space-Kalman-Filters, bestimmt werden. Das Error-State-Space-Filter stellt dabei ein Fusionsfilter zur Fusion der Ausgabedaten bzw. Navigationsinformationen dar, insbesondere zur Fusion von normalverteilten Ausgabedaten bzw. Navigationsinformationen. Gleichzeitig schätzt bzw. bestimmt das Error-State-Space-Filter bevorzugt die Fehlerwerte zumindest des Basissystems. Mittels des mindestens einen Korrektursystems können dann die Fehlerwerte und ggf. auch unbekannte Größen des Trägheitsnavigationssystems geschätzt bzw. bestimmt werden. Eine Besonderheit des Error-State-Space-Filters ist es also, dass anstelle der Sensorsignale bzw. der Eingangsdaten lediglich Fehlerwerte inkrementell geschätzt bzw. bestimmt werden und anschließend korrigiert werden. Die Fehlerwerte haben nämlich eine signifikant niedrigere zeitliche Dynamik als die Ausgabedaten selbst, wodurch eine weitgehende Entkopplung der Dynamik des Error-State-Space-Filters von den Eigenschaften des Basissystems bzw. des mindestens einen Korrektursystems erreicht wird.

**[0023]** Es ist zweckmäßig, dass die Korrekturen fortlaufend aufaddiert werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass die jeweils korrigierten Ausgabedaten bzw.

**[0024]** Navigationsinformationen einfach weiterkorrigiert werden können.

**[0025]** Die Erfindung betrifft weiterhin ein System zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems, umfassend ein Sensorbasissystem, mindestens ein weiteres Sensorsystem und ein Fusionsfilter, wobei das Sensorbasissystem und das mindestens eine weitere Sensorsystem dazu ausgebildet sind, Eingangsdaten zu erfassen und diese als Ausgabedaten auszugeben, wobei das Fusionsfilter dazu ausgebildet ist, mittels der Ausgabedaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems eine Bestimmung von Fehlerwerten der Ausgabedaten des Sensorbasissystems vorzunehmen, wobei das Fusionsfilter dazu ausgebildet ist, die Fehlerwerte mittels einer Anbringung von Korrekturen zu korrigieren und wobei das Fusionsfilter dazu ausgebildet ist, bei der Bestimmung der Fehlerwerte auch eine Bestimmung eines Fehlerwerts einer Steigung einer Kennlinie des Sensorbasissystems vorzunehmen, wobei die Kennlinie eine Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems beschreibt. Das erfindungsgemäße System umfasst somit alle zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens notwendigen Vorrichtungen.

**[0026]** Bevorzugt ist es vorgesehen, dass das System dazu ausgebildet ist, das erfindungsgemäße Verfahren auszuführen. Dies führt zu den bereits beschriebenen Vorteilen.

**[0027]** Außerdem betrifft die Erfindung eine Verwendung des erfindungsgemäßen Systems in einem Kraftfahrzeug.

**[0028]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand von Figuren.

**[0029]** Es zeigen

**[0030]** Fig. 1 beispielhaft eine mögliche Ausbildungsform eines erfindungsgemäßen Systems, welches zur Positionsbestimmung ausgebildet ist, in einem Kraftfahrzeug und

**[0031]** Fig. 2 beispielhaft eine weitere mögliche Ausbildungsform eines erfindungsgemäßen Systems, welches ebenfalls zur Positionsbestimmung ausgebildet ist, in einem Kraftfahrzeug.

**[0032]** Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Systems, das zur Anordnung und Verwendung in einem Kraftfahrzeug (nicht dargestellt) vorgesehen ist. Das dargestellte System ist beispielsweise zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems ausgebildet und eignet sich zur Positionsbestimmung des Kraftfahrzeugs. Dabei sind alle vom System umfassten Elemente bzw. Bestandteile bzw. Sensorsysteme als Funktionsblöcke veranschaulicht und deren Zusammenwirken untereinander dargestellt.

**[0033]** Das Navigationssystem umfasst Trägheitsnavigationssystem **101**, das so ausgebildet ist, dass es zumindest die Beschleunigungen entlang einer ersten, einer zweiten und einer dritten Achse sowie wenigstens die Drehraten um die erste, um die zweite und um die dritte Achse erfassen kann. Die erste Achse entspricht dabei beispielsweise der Längsachse des Kraftfahrzeugs, die zweite Achse entspricht der Querachse des Kraftfahrzeugs und die dritte Achse entspricht der Hochachse des Kraftfahrzeugs. Diese drei Achsen bilden ein kartesisches Koordinatensystem, das sog. Kraftfahrzeugkoordinatensystem.

**[0034]** Trägheitsnavigationssystem **101** bildet beispielsweise das sog. Sensorbasissystem, dessen Ausgabedaten mittels der im Folgenden beschriebenen weiteren Sensorsysteme, der sog. Korrektursysteme, korrigiert werden. Die Korrektursysteme sind dabei Odometrienavigationssystem **103** und Satellitennavigationssystem **104**.

**[0035]** Das erfindungsgemäße System weist weiterhin eine sog. Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** auf, in welcher ein sog. Strapdown-Algorithmus durchgeführt wird, mittels dessen die Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **101** u. a. in Positionsdaten umgerechnet werden. Dazu werden die Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **101**, welche naturgemäß Beschleunigungen beschreiben, zweimal über die Zeit integriert. Mittels einer Einfachintegration über die Zeit werden weiterhin die Ausrichtung und die Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs bestimmt. Außerdem kompensiert Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** eine auf Trägheitsnavigationssystem **101** wirkende Corioliskraft.

**[0036]** Die Ausgangsdaten von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** umfassen folglich die folgenden physikalischen Größen: die Geschwindigkeit, die Beschleunigung sowie die Drehrate des Kraftfahrzeugs, beispielsweise bezüglich der genannten drei Achsen des Kraftfahrzeugkoordinatensystems und beispielsweise zusätzlich jeweils bezogen auf ein Weltkoordinatensystem, das zur Beschreibung der Ausrichtung bzw. von dynamischen Größen des Kraftfahrzeugs auf der Welt geeignet ist. Beispielsgemäß handelt es sich bei dem genannten Weltkoordinatensystem um ein GPS-Koordinatensystem. Außerdem umfassen die Ausgangsdaten von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** die Position bezüglich des Kraftfahrzeugkoordinatensystems und die Ausrichtung hinsichtlich des Weltkoordinatensystems. Zusätzlich weisen die Ausgangsdaten von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** die Varianzen als Information über die Datenqualität der oben genannten Navigationsinformationen auf. Diese Varianzen werden beispielsweise nicht in Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** berechnet, sondern nur von dieser verwendet und weitergeleitet. Die von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** berechneten o. g. Navigationsinformationen werden über Ausgabemodul **112** ausgegeben und anderen Kraftfahrzeugsystemen zur Verfügung gestellt.

**[0037]** Das erfindungsgemäße System umfasst außerdem Odometrienavigationssystem **103** in Form von Raddrehzahlsensoren für jedes Rad des Kraftfahrzeugs. Beispielsgemäß handelt es sich um ein vierrädriges Kraftfahrzeug mit vier Raddrehzahlsensoren, die jeweils die Drehzahl des ihnen zugeordneten Rads sowie dessen Drehrichtung erfassen. Weiterhin umfasst Odometrienavigationssystem **103** ein Lenkwinkelsensorelement, das den Lenkwinkel des Kraftfahrzeugs erfasst.

**[0038]** Darüber hinaus weist das beispielhaft dargestellte System Satellitennavigationssystem **104** auf, welches so ausgebildet ist, dass es die Entfernung jeweils zwischen einem zugeordneten Satelliten und dem

Kraftfahrzeug sowie die Geschwindigkeit jeweils zwischen dem zugeordneten Satelliten und dem Kraftfahrzeug bestimmt.

**[0039]** Das System umfasst außerdem Fusionsfilter **105**. Fusionsfilter **105** stellt im Zuge der gemeinsamen Auswertung der Eingangsdaten von Odometrienavigationssystem **103**, von Satellitennavigationssystem **104** und von Trägheitsnavigationssystem **101** einen Fusionsdatensatz **106** bereit. Fusionsdatensatz **106** weist die erfassten Eingangsdaten der unterschiedlichen Sensorsysteme auf, wobei Fusionsdatensatz **106** beispielsweise zusätzlich Fehlerwerte und den Fehlerwerten zugeordnete Varianzen, welche die Datenqualität beschreiben, umfasst.

**[0040]** Die Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **101** werden während des Betriebs des Kraftfahrzeugs in einem hierfür vorgesehenen elektronischen Datenspeicher **113** von Fusionsfilter **105** für einen vorgegebenen Zeitraum gespeichert. Trägheitsnavigationssystem **101** stellt dabei das sog. Basissystem dar, während Odometrienavigationssystem **103** und Satellitennavigationssystem **104** die sog. Korrektursysteme darstellen, deren Ausgabedaten zur Korrektur der Ausgabedaten des Basissystems herangezogen werden. Somit ist sichergestellt, dass stets Werte, die zumindest scheinbar zu einem identischen Zeitpunkt erfasst wurden, dem Vergleich unterworfen werden können.

**[0041]** Von Fusionsfilter **105** bereitgestellter Fusionsdatensatz **106** umfasst beispielsweise die mittels der plausibilisierten Ausgabedaten der Korrektursysteme bestimmten quantitativen Fehler des Basissystems.

**[0042]** Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** korrigiert nun mittels Fusionsdatensatz **106** die Ausgabedaten des Basissystems.

**[0043]** Fusionsdatensatz **106** wird von Fusionsfilter **105** aus den Eingangsdaten von Odometrienavigationssystem **103**, Satellitennavigationssystem **104** und Trägheitsnavigationssystem **101** berechnet.

**[0044]** Fusionsfilter **105** ist beispielsweise als Error-State-Space-Kalman Filter ausgebildet ist, also als Kalman-Filter, das insbesondere eine Linearisierung der Ausgabedaten ausführt und in welchem die quantitativen Fehlerwerte der Ausgabedaten berechnet bzw. geschätzt werden und welches sequentiell arbeitet und dabei die in dem jeweiligen Funktionsschritt der Sequenz verfügbaren Ausgabedaten korrigiert.

**[0045]** Fusionsfilter **105** ist so ausgebildet, dass es stets asynchron die aktuellsten von Trägheitsnavigationssystem **101**, Odometrienavigationssystem **103** und Satellitennavigationssystem **104** verfügbaren Ausgabedaten erfasst. Beispielsgemäß werden die Ausgabedaten dabei über Kraftfahrzeugmodelleinheit **107** und Ausrichtungmodelleinheit **109** geführt.

**[0046]** Kraftfahrzeugmodelleinheit **107** ist so ausgebildet, dass sie aus den Eingangsdaten von Odometrienavigationssystem **103** zumindest die Geschwindigkeit entlang einer ersten Achse, die Geschwindigkeit entlang einer zweiten Achse sowie die Drehrate um eine dritte Achse berechnet und diese Fusionsfilter **105** bereitstellt.

**[0047]** Das beispielsweise System umfasst außerdem Reifenparameterschätzungseinheit **110**, welche so ausgebildet ist, dass sie zumindest den Halbmesser, beispielsweise den dynamischen Halbmesser, aller Räder berechnet und zusätzlich die Schräglaufsteifigkeit und die Schlupfsteifigkeit aller Räder berechnet und diese Kraftfahrzeugmodelleinheit **107** als zusätzliche Eingangsgrößen bereitstellt. Reifenparameterschätzungseinheit **110** ist weiterhin so ausgebildet, dass sie ein im Wesentlichen lineares Reifenmodell zur Berechnung der Reifengrößen verwendet.

**[0048]** Die beispielgemäßen Eingangsgrößen von Reifenparameterschätzungseinheit **110** sind dabei die Rad-drehzahlen und den Lenkwinkel beschreibende Eingangsdaten, zumindest teilweise die Ausgangswerte von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** sowie die von Fusionsfilter **105** bestimmten Varianzen.

**[0049]** Das beispielsweise System umfasst außerdem GPS-Fehlererkennungs-und-Plausibilisierungseinheit **111**, welche so ausgebildet ist, dass sie beispielsweise als Eingangsdaten die Ausgabedaten von Satellitennavigationssystem **104** sowie zumindest teilweise Ausgabedaten von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** erhält und in ihren Berechnungen berücksichtigt. GPS-Fehlererkennungs-und-Plausibilisierungseinheit **111** prüft die Ausgabedaten gegen ein an Satellitennavigationssystem **104** angepasstes stochastisches Modell. Sofern die Ausgabedaten im Rahmen einer dem Rauschen Rechnung tragenden Toleranz dem Modell entsprechen, werden sie plausibilisiert.

**[0050]** Dabei ist GPS-Fehlererkennungs-und-Plausibilisierungseinheit **111** zusätzlich mit Fusionsfilter **105** auf Datenebene verbunden und übermittelt die plausibilisierten Eingangsdaten an Fusionsfilter **105**.

**[0051]** GPS-Fehlererkennungs-und-Plausibilisierungseinheit **111** ist beispielhaft so ausgebildet, dass sie ein Verfahren zum Auswählen eines Satelliten u. a. mittels der folgenden Verfahrensschritte durchführt:

- Messen von Positionsdaten des Kraftfahrzeugs gegenüber dem Satelliten basierend auf den Sensorsignalen von Satellitennavigationssystem **104**,
- Bestimmen von zu den basierend auf den Sensorsignalen von Satellitennavigationssystem **104** bestimmten Positionsdaten redundanten Referenzpositionsdaten des Kraftfahrzeugs,
- Auswählen des Satelliten, wenn eine Gegenüberstellung der Positionsdaten und der Referenzpositionsdaten einer vorbestimmten Bedingung genügt,
- wobei zur Gegenüberstellung der Positionsdaten und der Referenzpositionsdaten eine Differenz zwischen den Positionsdaten und den Referenzpositionsdaten gebildet wird,
- wobei die vorbestimmte Bedingung eine maximal zulässige Abweichung der Positionsdaten von den Referenzpositionsdaten ist,
- wobei die maximal zulässige Abweichung von einer Standardabweichung abhängig ist, die basierend auf einer Summe aus einer Referenzvarianz für die Referenzpositionsdaten und einer Messvarianz für die Positionsdaten berechnet wird und
- wobei die maximal zulässige Abweichung einem Vielfachen der Standardabweichung derart entspricht, dass eine Wahrscheinlichkeit, dass die Positionsdaten in ein von der Standardabweichung abhängiges Streuintervall fallen, einen vorbestimmten Schwellwert unterschreitet.

**[0052]** Das beispielegemäße System weist außerdem Stillstandserkennungseinheit **108** auf, welche so ausgebildet ist, dass sie einen Stillstand des Kraftfahrzeugs erkennen kann und im Falle eines erkannten Stillstands des Kraftfahrzeugs zumindest Fusionsfilter **105** Informationen aus einem Stillstandsmodell bereitstellt. Die Informationen aus einem Stillstandsmodell beschreiben dabei, dass die Drehraten um alle drei Achsen den Wert Null aufweisen und die Geschwindigkeiten entlang aller drei Achsen den Wert Null aufweisen. Stillstandserkennungseinheit **108** ist dabei beispielgemäß so ausgebildet, dass sie als Eingangsdaten die Ausgabedaten der Raddrehzahlsensoren von Odometrienavigationssystem **103** sowie die Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **101** nutzt.

**[0053]** Das beispielegemäße System verwendet beispielgemäß eine erste Gruppe von Eingangsdaten, die sich auf ein Kraftfahrzeugkoordinatensystem beziehen und zusätzlich eine zweite Gruppe von Eingangsdaten, die sich auf ein Weltkoordinatensystem beziehen, wobei das Weltkoordinatensystem zur Beschreibung der Ausrichtung und von dynamischen Größen des Kraftfahrzeugs verwendet wird. Mittels Ausrichtungsmodeleinheit **109** wird ein Ausrichtungswinkel zwischen dem Kraftfahrzeugkoordinatensystem und dem Weltkoordinatensystem bestimmt.

**[0054]** Der von Ausrichtungsmodeleinheit **109** bestimmte Ausrichtungswinkel zwischen dem Kraftfahrzeugkoordinatensystem und dem Weltkoordinatensystem wird dabei bestimmt auf Basis folgender physikalischer Größen:

- der vektoriellen Geschwindigkeit bezüglich des Weltkoordinatensystems,
- der vektoriellen Geschwindigkeit bezüglich des Kraftfahrzeugkoordinatensystems,
- des Lenkwinkels und
- der jeweiligen quantitativen Fehler der die genannten Größen beschreibenden Ausgabedaten.

**[0055]** Ausrichtungsmodeleinheit **109** greift dabei auf sämtliche der Ausgabedaten von Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** zurück.

**[0056]** Ausrichtungsmodeleinheit **109** ist beispielgemäß so ausgebildet, dass sie zusätzlich zu dem Ausrichtungswinkel noch eine Information über die Datenqualität des Ausrichtungswinkels in Form einer Varianz berechnet und Fusionsfilter **105** bereitstellt.

**[0057]** Fusionsfilter **105** verwendet den Ausrichtungswinkel und die Varianz des Ausrichtungswinkels bei seinen Berechnungen, deren Ergebnisse er über Fusionsdatensatz **106** an Strapdown-Algorithmus-Einheit **102** weiterleitet.

**[0058]** Fusionsfilter **105** erfasst also die Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **101**, dem Basissystem, sowie von Odometrienavigationssystem **103** und von Satellitennavigationssystem **104**, den Korrektursystemen.

**[0059]** Der Skalenfaktorfehler ist neben dem Offsetfehler der bedeutendste systematische Fehlerwert von Trägheitsnavigationssystem **101** und führt daher, falls er nicht korrigiert wird, zu beschleunigungs- und drehratenabhängigen Driften von Ausrichtung und Geschwindigkeit und darüber hinaus zu signifikanten Fehlerwerten der Position. Insbesondere wenn keine Korrekturen von Ausrichtung, Geschwindigkeit und Position durch z. B. Satellitennavigationssystem **104** verfügbar sind, ist ein schneller Anstieg der Fehlerwerte beobachtbar.

**[0060]** Erfindungsgemäß wird daher zusätzlich zu den Ausgangsdaten der Korrektursysteme, also zu den Ausgangsdaten von Odometrienavigationssystem **103** und von Satellitennavigationssystem **104**, eine Kennlinie herangezogen, die den fahrdynamikabhängigen Fehlerwert von Trägheitsnavigationssystem **101** beschreibt. Dies verbessert die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Bestimmung des jeweiligen Fehlerwerts von Trägheitsnavigationssystem **101**.

**[0061]** Wie auch der Offsetfehler ist der Skalenfaktorfehler ein relativ zur Fahrdynamik des Fahrzeuges nur langsam veränderlicher Fehlerwert. Eine eingeschwungene Schätzung dieser beiden Fehlerwerte ist daher in einem erfindungsgemäßen System in der Lage, auch bei temporärem Wegfall von Korrekturen (z. B. GPS-Abschattung im Tunnel) für begrenzte Zeit diesen Ausfall ohne signifikante Fehlerwerte in der Navigationsrechnung zu überbrücken. Auch werden durch das erfindungsgemäße Verfahren insgesamt niedrigere Abweichungen (Residuen) in Fusionsfilter **105** und eine eindeutigere Zuordnung von Fehlerwerten zu den jeweiligen Ausgabedaten erzielt, wodurch auch bei verfügbaren Korrekturmessungen bzw. Korrektursystemen die Güte von Fusionsdatensatz **106** verbessert wird.

**[0062]** Fig. 2 zeigt beispielhaft eine weitere mögliche Ausbildungsform eines erfindungsgemäßen Systems, welches ebenfalls zur Korrektur von Ausgangsdaten eines Sensorbasissystems ausgebildet ist, in einem Kraftfahrzeug (nicht dargestellt). Das System umfasst beispielsweise Trägheitsnavigationssystem **201**, Satellitennavigationssystem **204** und Odometrienavigationssystem **203** als unterschiedliche Sensorsysteme. Trägheitsnavigationssystem **201**, Satellitennavigationssystem **204** und Odometrienavigationssystem **203** geben Ausgabedaten, die direkt bzw. indirekt Navigationsinformationen, nämlich eine Position, eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung, eine Ausrichtung, eine Gierrate bzw. eine Gierbeschleunigung beschreiben, an Fusionsfilter **205** aus. Die Ausgabe der Ausgabedaten erfolgt dabei über einen Fahrzeugdatenbus, beispielsweise über einen sog. CAN-Bus. Beispielsgemäß gibt Satellitennavigationssystem **204** seine Ausgabedaten in Rohdatenform an aus.

**[0063]** Als zentrales Element bei einer Positionsbestimmung des Kraftfahrzeugs wird Trägheitsnavigationssystem **201**, bei dem es sich um eine sog. MEMS-IMU (Micro-Electro-Mechanical-System-Inertial Measurement Unit) handelt in Kombination mit Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** verwendet, da dieses als fehlerfrei angenommen wird, d. h., es wird angenommen, dass die Werte von Trägheitsnavigationssystem **201** stets ihrem stochastischen Modell entsprechen, dass sie lediglich Rauscheinflüsse aufweisen und somit frei von äußeren bzw. zufälligen Fehlern bzw. Störungen sind. Das Rauschen sowie verbleibende, nicht modellierte Fehler von Trägheitsnavigationssystem **201**, wie z. B. Nichtlinearität, werden dabei über den Messbereich als mittelwertfrei, stationär und normalverteilt (sog. Gaußsches Weißes Rauschen) angenommen.

**[0064]** Trägheitsnavigationssystem **201** umfasst drei zueinander jeweils orthogonal erfassende Drehratensensoren und drei zueinander jeweils orthogonal erfassende Beschleunigungssensoren.

**[0065]** Satellitennavigationssystem **204** umfasst einen GPS-Empfänger, welcher über die Satellitensignallaufzeit zunächst Entfernungsmessungen zu den empfangbaren GPS-Satelliten vornimmt und außerdem aus der Änderung der Satellitensignallaufzeit sowie zusätzlich aus der Änderung der Anzahl der Wellenlängen der Satellitensignale eine vom Kraftfahrzeug zurückgelegte Wegstrecke bestimmt. Odometrienavigationssystem **203** umfasst jeweils einen Raddrehzahlsensor an jedem Rad des Kraftfahrzeugs sowie einen Lenkwinkelsensor. Die Raddrehzahlsensoren bestimmen jeweils die Raddrehgeschwindigkeit des ihnen zugeordneten Rads und der Lenkwinkelsensor bestimmt den eingeschlagenen Lenkwinkel.

**[0066]** Trägheitsnavigationssystem **201** gibt seine Ausgabedaten an Vorverarbeitungseinheit **206** von Trägheitsnavigationssystem **201** aus. Vorverarbeitungseinheit **206** korrigiert nun die Ausgabedaten bzw. die darin beschriebenen Navigationsinformationen mittels Korrekturen, die Vorverarbeitungseinheit **206** von Fusionsfilter **205** erhält. Die solcherart korrigierten Ausgabedaten bzw. die darin beschriebenen Navigationsinformationen werden weitergeführt an Strapdown-Algorithmus-Einheit **207**.

**[0067]** Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** nimmt anhand der korrigierten Ausgabedaten von Vorverarbeitungseinheit **206** nun eine Positionsbestimmung vor. Diese Positionsbestimmung ist dabei eine sog. Koppel-

navigation auf Basis von Trägheitsnavigationssystem **201**. Dazu werden die von Vorverarbeitungseinheit **206** ausgegebenen korrigierten Ausgabedaten bzw. die darin beschriebenen Navigationsinformationen fortlaufend über die Zeit aufintegriert bzw. aufaddiert. Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** kompensiert weiterhin eine auf Trägheitsnavigationssystem **201** wirkende Corioliskraft, welche sich auf die Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **201** auswirken kann. Zur Positionsbestimmung führt Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** eine zweifache Integration der von Trägheitsnavigationssystem **201** erfassten Eingangsdaten, welche Beschleunigungen beschreiben, über die Zeit durch. Dies ermöglicht eine Fortschreibung einer zuvor bekannten Position sowie eine Fortschreibung einer zuvor bekannten Ausrichtung des Kraftfahrzeugs. Zur Bestimmung einer Geschwindigkeit bzw. einer Drehrate des Kraftfahrzeugs führt Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** eine einfache Integration der von Trägheitsnavigationssystem **201** erfassten Eingangsdaten über die Zeit durch. Weiterhin korrigiert Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** auch die bestimmte Position mittels entsprechender Korrekturwerte von Fusionsfilter **205**. Fusionsfilter **205** führt in diesem Beispiel die Korrektur also nur mittelbar über Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** aus. Die von Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** bestimmten und korrigierten Ausgabedaten bzw. Navigationsinformationen, also die Position, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Ausrichtung, die Drehrate und die Drehbeschleunigung des Kraftfahrzeugs werden nun an Ausgabemodul **212** und an Fusionsfilter **205** geführt.

**[0068]** Der von Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** ausgeführte sog. Strapdown-Algorithmus ist dabei rechnerisch nur wenig komplex und lässt sich daher als echtzeitfähiges Basissystem realisieren. Er stellt einen Verfahrensablauf zur Integration der Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **201** zu Geschwindigkeit, Ausrichtung und Position dar und beinhaltet keine Filterung, so dass sich eine annähernd konstante Latenzzeit und Gruppenlaufzeit ergibt.

**[0069]** Der Begriff Basissystem beschreibt dabei dasjenige Sensorsystem, dessen Eingangsdaten mittels der Ausgabedaten der anderen Sensorsysteme, der sog. Korrektursysteme, korrigiert werden. Beispielsgemäß handelt es sich, wie bereits ausgeführt, bei den Korrektursystemen um Odometrienavigationssystem **203** und um Satellitennavigationssystem **204**.

**[0070]** Trägheitsnavigationssystem **201**, Vorverarbeitungseinheit **206** von Trägheitsnavigationssystem **201** und Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** bilden beispielsweise zusammen das sog. Basissystem, zu welchem zusätzlich anteilig auch Fusionsfilter **205** gezählt wird.

**[0071]** Ausgabemodul **212** gibt die von Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** bestimmten und korrigierten Navigationsinformationen an beliebige weitere Systeme des Kraftfahrzeugs weiter.

**[0072]** Die von Satellitennavigationssystem **204** erfassten Eingangsdaten werden beispielsweise in Form von Sensorsignalen über eine sog. UART-Datenverbindung zunächst an Vorverarbeitungseinheit **208** von Satellitennavigationssystem **204** weitergeführt. Vorverarbeitungseinheit **208** bestimmt nun aus den von Satellitennavigationssystem **204** ausgegebenen Ausgabedaten, welche GPS-Rohdaten darstellen und auch eine Beschreibung der Umlaufbahn des jeweils die GPS-Signale sendenden GPS-Satelliten umfassen, eine Position und eine Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs im GPS-Koordinatensystem. Außerdem bestimmt Satellitennavigationssystem **204** eine relative Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs zu den GPS-Satelliten, von denen GPS-Signale empfangen werden. Weiterhin korrigiert Vorverarbeitungseinheit **208** einen in den Ausgabedaten enthaltenen Zeitfehler einer Empfängeruhr von Satellitennavigationssystem **204**, welcher durch eine Drift der Empfängeruhr entsteht, sowie mittels eines Korrekturmodells die durch atmosphärische Einwirkungen auf die von den GPS-Satelliten gesendeten GPS-Signale verursachten Veränderungen in der Signallaufzeit und dem Signalweg. Die Korrektur des Zeitfehlers sowie der atmosphärischen Einwirkungen erfolgen mittels von Fusionsfilter **205** über den CAN-Bus erhalten Korrekturwerten.

**[0073]** Satellitennavigationssystem **204** ist weiterhin Plausibilisierungsmodul **209** zugeordnet, welches die von Vorverarbeitungseinheit **208** ausgegebenen Eingangsdaten der Navigationsinformationen, also der Position und der Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs, plausibilisiert. Die von Plausibilisierungsmodul **209** plausibilisierten Eingangsdaten werden dann an Fusionsfilter **205** ausgegeben.

**[0074]** Das System umfasst weiterhin Vorverarbeitungseinheit **210** von Odometrienavigationssystem **203**, welche über den CAN-Bus die von Odometrienavigationssystem **203** erfassten Eingangsdaten als Ausgabedaten erhält. Die erfassten Eingangsdaten sind in diesem Fall die Ausgabedaten der einzelnen Raddrehzahlsensoren sowie die Eingangsdaten des Lenkwinkelsensors. Vorverarbeitungseinheit **210** bestimmt nun aus den von Odometrienavigationssystem **203** ausgegebenen Eingangsdaten gemäß einem sog. Koppelnavigationsverfahren die Position und die Ausrichtung des Kraftfahrzeugs im Kraftfahrzeugkoordinatensystem. Weiterhin

werden die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Drehrate und die Drehbeschleunigung des Kraftfahrzeugs bestimmt, ebenfalls im Kraftfahrzeugkoordinatensystem. Außerdem korrigiert Vorverarbeitungseinheit **210** die von Odometrienavigationssystem **203** erhaltenen Ausgabedaten mittels von Fusionsfilter **205** erhaltenen Korrekturwerten.

**[0075]** Odometrienavigationssystem **203** ist weiterhin Plausibilisierungsmodul **211** zugeordnet, welches die von Vorverarbeitungseinheit **210** ausgegebenen Ausgabedaten, also die Position, die Ausrichtung, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Drehrate und die Drehbeschleunigung des Kraftfahrzeugs, plausibilisiert. Da die Fehlerwerte der Ausgabedaten von Odometrienavigationssystem **203** häufig zufällige, umweltbedingte Störungen sind, die nicht Weißem Rauschen entsprechen, z. B. bei vergleichsweise großem Radschlupf, werden die mittels Trägheitsnavigationssystem **201** und mittels Satellitennavigationssystem **204** bestimmten Ausgabedaten genutzt, um die Ausgabedaten von Odometrienavigationssystem **203** zu plausibilisieren. Zunächst werden auch hier aber die Ausgabedaten gegen ein ihnen zugeordnetes, sensorindividuelles Modell abgeglichen, welches Messunsicherheiten wie Rauscheinflüsse berücksichtigt. Sofern die Ausgabedaten dem Modell innerhalb der gegebenen Grenzwerte bzw. Toleranzbereiche entsprechen, erfolgt hier eine erste Plausibilisierung und die solcherart plausibilisierten Werte werden weiterverarbeitet. Die plausibilisierten Werte werden dann an Fusionsfilter **205** weitergeführt. Sofern eine Plausibilisierung dieser Ausgabedaten nicht erfolgen kann, werden die entsprechenden Ausgabedaten verworfen und nicht weiter verarbeitet.

**[0076]** Fusionsfilter **205** ist beispielsweise als Error-State-Space-Kalman-Filter ausgebildet. Die Hauptaufgabe von Fusionsfilter **205** ist es beispielsweise, die Ausgabedaten des Basissystems, also von Trägheitsnavigationssystem **201**, mittels aus Ausgabedaten von Odometrienavigationssystem **203** und Satellitennavigationssystem **204**, welche die Korrektursysteme darstellen, zu korrigieren, bzw. entsprechende Korrekturwerte an Strapdown-Algorithmus-Einheit **207** auszugeben. Da Trägheitsnavigationssystem **201** beispielsweise als frei von zufälligen Fehlern und äußeren Störungen angenommen wird, unterliegen die Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **201** ausschließlich Weißem Rauschen.

**[0077]** Da es sich bei Fusionsfilter **205** um einen sog. Error-State-Space-Kalman-Filter handelt, werden ausschließlich die quantitativen Fehlerwerte der Ausgabedaten bestimmt und entsprechende Korrekturen ausgeführt. Dies vereinfacht und beschleunigt die von Fusionsfilter **205** vorgenommene Fusion der Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **201**, Odometrienavigationssystem **203** und Satellitennavigationssystem **204** zu einem gemeinsamen Fusionsdatensatz. Somit wird eine echtzeitfähige Positionsbestimmung und Korrektur der Positionsbestimmung ermöglicht.

**[0078]** Das in **Fig. 2** dargestellte System stellt einen sog. virtuellen Sensor dar, wobei Trägheitsnavigationssystem **201**, Odometrienavigationssystem **203** und Satellitennavigationssystem **204** jedoch nicht Bestandteile des virtuellen Sensors sind. Ein virtueller Sensor ist ein System, welches unabhängig von der Art der eingebundenen Sensorsysteme – hier also Trägheitsnavigationssystem **201**, Odometrienavigationssystem **203** und Satellitennavigationssystem **204** – stets die gleichen Ausgangsdaten bzw. Ausgaben erzeugt. Anhand der Ausgangsdaten bzw. Ausgaben ist nicht ersichtlich, welche Sensorsysteme in das System eingebunden sind.

**[0079]** Auch beim in **Fig. 2** dargestellten System stellt der Skalenfaktorfehler neben dem Offsetfehler den bedeutendsten systematischen Fehlerwert von Trägheitsnavigationssystem **201** dar. Die Größe des Skalenfaktorfehlers bzw. der Fehlerwert des Skalenfaktorfehlers ist dabei abhängig vom jeweiligen Fahrdynamikzustand des Fahrzeugs. In einem nicht dargestellten Speicherelement des in **Fig. 2** beispielhaft gezeigten Systems ist eine Kennlinie hinterlegt, die eine Abhängigkeit der Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **201** von den Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **201** beschreibt. Diese Kennlinie beschreibt erfindungsgemäß den Fehlerwert der Ausgabedaten von Trägheitsnavigationssystem **201** in Abhängigkeit der Eingangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **201**. Während des Betriebs des Fahrzeugs bzw. des beispielhaften Systems wird nun zusätzlich zu den Ausgangsdaten von Odometrienavigationssystem **203** und Satellitennavigationssystem **204** die Kennlinie herangezogen, um die Fehlerwerte der Ausgangsdaten von Trägheitsnavigationssystem **201** zu bestimmen.

**[0080]** Gemäß einem weiteren, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel bestimmt das Fusionsfilter die Zustände bzw. physikalischen Größen Ausrichtungsfehler, Geschwindigkeitsfehler, Positionsfehler, Achsenabschnittsfehler Gyroskope, Achsenabschnittsfehler Accelerometer, Skalenfaktorfehler Gyroskope, Skalenfaktorfehler Accelerometer, GPS-Empfängeruhrfehler und GPS-Empfängeruhrfehlerdrift. Der Achsenabschnittsfehler ist dabei auch als sog. Offsetfehler bekannt. Der Begriff Accelerometer bezeichnet Beschleunigungssensoren bzw. Trägheitssensoren.

**[0081]** Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft einen Überblick über vom Fusionsfilter bestimmte Fehlerwerte, deren üblicherweise verwendete Symbolik, die üblicherweise verwendete Messeinheit sowie das üblicherweise verwendete Koordinatensystem:

Zustand	Symbol	Typ	Einheit	Koordinatensystem
Ausrichtungsfehler	$\Delta\vec{\theta}_n$	3x1 Vektor	[rad]	Navigation
Geschwindigkeitsfehler	$\Delta\vec{v}_b$	3x1 Vektor	[m/s]	fahrzeugfest
Positionsfehler	$\Delta\vec{\phi}_n$	3x1 Vektor	[m]	Navigation
Achsenabschnittsfehler Gyroskope	$\Delta\vec{\delta\omega}_b$	3x1 Vektor	[rad/s]	fahrzeugfest
Achsenabschnittsfehler Accelerometer	$\Delta\vec{\delta a}_b$	3x1 Vektor	[m/s <sup>2</sup> ]	fahrzeugfest
Skalenfaktorfehler Gyroskope	$\Delta\vec{\zeta\omega}_b$	3x1 Vektor	[/.]	fahrzeugfest
Skalenfaktorfehler Accelerometer	$\Delta\vec{\zeta a}_b$	3x1 Vektor	[/.]	fahrzeugfest
GPS Empfänger- uhrfehler	$\Delta\tau_{Rec}$	Skalar	[m]	keins
GPS Empfänger- uhrfehlerdrift	$\Delta\dot{\tau}_{Rec}$	Skalar	[m/s]	keins

**[0082]** Daraus ergibt sich beispielhaft der resultierende Zustandsvektor:

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} \Delta\vec{\theta}_n \\ \Delta\vec{v}_b \\ \Delta\vec{\phi}_n \\ \Delta\vec{\delta\omega}_b \\ \Delta\vec{\delta a}_b \\ \Delta\vec{\zeta\omega}_b \\ \Delta\vec{\zeta a}_b \\ \Delta\tau_{Rec} \\ \Delta\dot{\tau}_{Rec} \end{bmatrix}$$

Definitionen:

- C  ${}^n_b$ : wahre Ausrichtungsmatrix (Richtungskosinusmatrix) zwischen Navigations- und fahrzeugfesten Koordinaten
- $\hat{C}^n_b$ : Lagefehler zwischen wahrer und geschätzter Richtungskosinusmatrix
- $\hat{C}^n_b$ : geschätzter Richtungskosinusmatrix zwischen Navigations- und fahrzeugfesten Koordinaten

**[0083]** Beispielhaft gilt:

$$\hat{\mathbf{C}}_b^n = \hat{\mathbf{C}}_n^n \cdot \mathbf{C}_b^n$$

**[0084]** Die Kreuzproduktbildende Matrix  $[\vec{p} \times]$  eines  $3 \times 1$  Vektors  $\vec{p}$  ist definiert als:

$$[\vec{p} \times] = \begin{bmatrix} 0 & -p_3 & p_2 \\ p_3 & 0 & -p_1 \\ -p_2 & p_1 & 0 \end{bmatrix}$$

mit der Eigenschaft:  $[\vec{p} \times] \cdot \vec{q} = \vec{p} \times \vec{q}$

**[0085]** Somit kann beispielhaft das folgende Systemmodell erstellt werden, bei dem die an sich bekannte Grundgleichungen durch Multiplikation mit der Richtungskosinusmatrix  $\hat{\mathbf{C}}_b^n$  bzw. ihrer Transponierten in das fahrzeugfeste Koordinatensystem transformiert werden:

Definition/Substitution:

$$\begin{aligned} N_h &= \frac{1}{N^e + \Phi_{e,H}} \\ M_h &= \frac{1}{M^e + \Phi_{e,H}} \\ N_h^v &= N_h \cdot v_{n,E} \\ c_\varphi &= \cos(\Phi_{e,B}) \\ s_\varphi &= \sin(\Phi_{e,B}) \\ t_\varphi &= \tan(\Phi_{e,B}) \\ \hat{v}_n &= \hat{\mathbf{C}}_b^n \cdot \vec{v}_b \\ \mathbf{S} &= \begin{bmatrix} 0 & -M_h & 0 \\ N_h & 0 & 0 \\ N_h \cdot t_\varphi & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Ausrichtungsfehler:

$$\dot{\vec{\psi}} = (\vec{\omega}_n^{Craft} + \vec{\omega}_n^e) \times \vec{\psi} + (\vec{\omega}_n^{Craft,IMU} + \vec{\omega}_n^{e,IMU}) - (\vec{\omega}_n^{Craft,IST} + \vec{\omega}_n^{e,IST}) - \hat{\mathbf{C}}_b^n \cdot (\vec{\omega}_b^{IMU} - \vec{\omega}_b^{IST})$$

Geschwindigkeitsfehler:

$$\dot{\vec{v}}_b = \vec{a}_b - \mathbf{C}_b^{n'} \cdot [(\vec{\omega}_n^{Craft} + 2 \cdot \vec{\omega}_n^e) \times \hat{v}_n] - \mathbf{C}_b^{n'} \cdot \vec{g}_n^e$$

Positionsfehler:

$$\dot{\vec{\phi}} = \begin{bmatrix} N_h & 0 & 0 \\ c_\varphi & 0 & 0 \\ 0 & M_h & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \hat{v}_n$$

Systemmodell:

Annahme: Unabhängigkeit der GPS-Uhrenfehler-States von den anderen Fehlern.

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Drehraten:

$$\mathbf{A11} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \vec{\omega}} = -[\vec{\omega}_n^e \times] - [\mathbf{S} \cdot \hat{v}_n \times] + \mathbf{S} \cdot [\hat{v}_n \times]$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Body-Geschwindigkeit:

$$\mathbf{A12} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \vec{v}_b} = -\mathbf{S} \cdot \hat{\mathbf{C}}_b^n$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Position:

$$\mathbf{A13} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \vec{\Phi}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -M_h^2 \cdot \hat{v}_{n,N} \\ 0 & M_h \cdot \Omega \cdot s_\varphi & N_h \cdot N_h^v - M_h \cdot \Omega \cdot s_\varphi \cdot \Phi_{e,B} \\ 0 & -M_h \left( \Omega \cdot c_\varphi + \frac{N_h^v}{c_\varphi^2} \right) & M_h \cdot \Omega \cdot c_\varphi \cdot \Phi_{e,B} + N_h^v \cdot t_\varphi + M_h \cdot N_h^v \cdot \frac{\Phi_{e,B}}{c_\varphi^2} \end{bmatrix}$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A14} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \delta \vec{\omega}_b} = \hat{\mathbf{C}}_b^n$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A15} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \delta \vec{a}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A16} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \zeta \vec{\omega}_b} = -\hat{\mathbf{C}}_b^n \cdot \vec{\omega}_b^{IMU}$$

Partielle Ableitung: Ausrichtungsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A17} = \frac{\partial \dot{\vec{\psi}}}{\partial \zeta \vec{a}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Drehraten:

$$\mathbf{A21} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \vec{\omega}} = \hat{\mathbf{C}}_b^{n'} \cdot \left[ 2 \cdot [\vec{\omega}_n^e \times] \cdot [\hat{v}_n \times] - 2 \cdot [([\vec{\omega}_n^e \times] \cdot \hat{v}_n) \times] - [([\mathbf{S} \cdot \hat{v}_n) \times] \cdot \hat{v}_n) \times] - [\hat{v}_n \times] \cdot \mathbf{S} \cdot [\hat{v}_n \times] + [(\mathbf{S} \cdot \hat{v}_n) \times] \cdot [\hat{v}_n \times] - [\vec{g}_n^e \times] \right]$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Body-Geschwindigkeit:

$$\mathbf{A22} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \vec{v}_b} = \hat{\mathbf{C}}_b^{n'} \cdot \left[ [\hat{\vec{v}}_n \times] \cdot \mathbf{S} - [(2 \cdot \vec{\omega}_n^e + \mathbf{S} \cdot \hat{\vec{v}}_n) \times] \right] \cdot \hat{\mathbf{C}}_b^n$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Position:

$$\begin{aligned} \mathbf{A23} &= \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \vec{\Phi}} \\ &= \hat{\mathbf{C}}_b^{n'} \cdot [\hat{\vec{v}}_n \times] \\ &\cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & M_h^2 \cdot \hat{v}_{n,N} \\ 0 & -M_h \cdot 2\Omega \cdot s_\varphi & M_h \cdot 2\Omega \cdot s_\varphi \cdot \Phi_{e,B} - N_h^v \\ 0 & M_h \left( 2\Omega \cdot c_\varphi + \frac{N_h^v}{c_\varphi^2} \right) & -M_h \cdot 2\Omega \cdot c_\varphi \cdot \Phi_{e,B} - N_h \cdot N_h^v \cdot t_\varphi - M_h \cdot N_h^v \cdot \frac{\Phi_{e,B}}{c_\varphi^2} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A24} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \delta \vec{\omega}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A25} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \delta \vec{a}_b} = \mathbf{I}$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A26} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \zeta \vec{\omega}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Geschwindigkeitsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A27} = \frac{\partial \dot{\vec{v}}_b}{\partial \zeta \vec{a}_b} = -\vec{a}_b^{IMU}$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Drehraten:

$$\mathbf{A31} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \vec{\psi}} = -[\hat{\vec{v}}_n \times]$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Body-Geschwindigkeit:

$$\mathbf{A32} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \vec{v}_b} = \hat{\mathbf{C}}_b^n$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Position:

$$\mathbf{A33} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \vec{\Phi}} = \begin{bmatrix} 0 & M_h \cdot \hat{v}_{n,E} \cdot t_\varphi & -N_h^v - M_h \cdot \hat{v}_{n,E} \cdot t_\varphi \cdot \Phi_{e,B} \\ 0 & 0 & -M_h \cdot \hat{v}_{n,N} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A34} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \delta \vec{\omega}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Achsenabschnittsfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A35} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \delta \vec{a}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Beschleunigungsmesser:

$$\mathbf{A36} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \zeta \vec{\omega}_b} = \mathbf{0}$$

Partielle Ableitung: Positionsfehlerrate nach Skalenfaktorfehler der Gyroskope:

$$\mathbf{A37} = \frac{\partial \dot{\vec{\Phi}}}{\partial \zeta \vec{a}_b} = \mathbf{0}$$

Modell des GPS-Empfängeruhrfehlers und dessen Drift:

$$\mathbf{A88} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Partielle Ableitung: Reifenhalmmesser:

$$\mathbf{A99} = \frac{\partial \dot{r}_{dyn}}{\partial r_{dyn}} = \mathbf{0}$$

Resultierendes Systemmodell:

$$\mathbf{A} = \mathbf{I} + \begin{bmatrix} \mathbf{A11} & \mathbf{A12} & \mathbf{A13} & \mathbf{A14} & \mathbf{0} & \mathbf{A16} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A21} & \mathbf{A22} & \mathbf{A23} & \mathbf{0} & \mathbf{A25} & \mathbf{0} & \mathbf{A27} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{A31} & \mathbf{A32} & \mathbf{A33} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A88} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A99} \end{bmatrix} \cdot \Delta t$$

**[0086]** Weiterhin wird im Folgenden beispielhaft ein Modell zum Navigieren mittels des Bestimmens des GPS-Codes beschrieben.

**[0087]** Der große Vorteil der Codemessung ist die schnelle und unkomplizierte Berechnung der Position, weshalb sie besonders in der Navigation eingesetzt wird. Die Entfernung wird mit Hilfe des „Newton'schen Gesetzes der Kinematik“ berechnet: Weg = Geschwindigkeit x Zeit. Die Geschwindigkeit, mit der sich das Funksignal ausbreitet, ist die Lichtgeschwindigkeit, also ca. 290.00 Kilometer in der Sekunde. Damit der Empfänger die Zeit der Signalreise bestimmen kann, muss er wissen, wann das Funksignal den Satelliten verlassen hat. Dem Signal sind dazu zwei Codes aufmoduliert, der C/A-Code und der P-Code. Der Satellit sendet das C/A-Signal mit Hilfe der hochgenauen Atomuhren. Der Empfänger besitzt ebenfalls eine Uhr, mit der er einen eigenen C/A-Code erzeugen kann. Der Empfänger verschiebt jetzt beide Codes (empfangenen und selbst produzierten Code), bis sie deckungsgleich sind. Zusätzlich müssen sie miteinander in Wechselbeziehung gebracht werden. Der C/A-Code ist ein pseudo-zufälliger digitaler Code. In Wirklichkeit wird er aber pro Sekunde etwa tausendmal wiederholt. Auf diese Art und Weise kann der Empfänger die Dauer der Signalreise bestimmen.

**[0088]** Messgleichung für GPS Code:

$$\delta_{PSR} = Z_{PSR} - \hat{Z}_{PSR}$$

hierbei ist  $Z_{PSR}$  die vom GPS gemessene Pseudorange und  $\hat{Z}_{PSR}$  die rechnerische Pseudorange aus dem Strapdown Algorithmus:

$$Z_{PSR} = \rho_{PSR}$$

**[0089]** Die sog. Pseudoranges beschreiben dabei Entfernungen, die zur Ortsbestimmung herangezogen werden. Sie weichen von den wahren Distanzen um einen konstanten, aber vorerst unbekanntem Betrag ab. Zunächst werden daher die Laufzeit der Funksignale von den verwendeten Satelliten zum Empfänger des Beobachters gemessen. Daraus ergeben sich die momentanen Entfernungen zu den Satelliten, die jedoch noch mit Fehlern der Uhren (Satellit, Empfänger) und anderen Einflüssen behaftet sind. Sind jedoch die Satellitenuhren untereinander genau synchronisiert, so sind alle gemessenen Laufzeiten praktisch nur mehr vom Synchronisationsfehler der Empfängeruhr betroffen – d. h. alle um nahezu denselben Betrag verfälscht. Diese um eine Konstante zu langen oder zu kurzen Distanzen werden Pseudostrecken (Pseudo Ranges) genannt.

$$\hat{Z}_{PSR} = \sqrt{(\vec{\Phi}_n^{Sat} - \vec{S}_n^{Ant})' \cdot (\vec{\Phi}_n^{Sat} - \vec{S}_n^{Ant})} + \Delta\tau$$

mit

- $\vec{\Phi}_n^{Sat}$ : Position des Satelliten in Navigationskoordinaten
- $\vec{S}_n^{Ant}$ : Hebelarm von IMU (Koordinatenursprung Nav-Koordinaten) zur GPS-Antenne (Phasenzentrum)
- $\Delta\tau$ : Empfängeruhrfehler, bereits über die Lichtgeschwindigkeit zu einer Strecke umgerechnet

**[0090]** Weiterhin ist der Einheitsvektor in Navigationskoordinaten, der von der Antenne in Richtung des jeweiligen Satelliten zeigt, definiert als:

$$\vec{E}_n^{AS} = \frac{\vec{\Phi}_n^{Sat} - \vec{S}_n^{Ant}}{\|\vec{\Phi}_n^{Sat} - \vec{S}_n^{Ant}\|}$$

Messmodell Ausrichtungsfehler für GPS:

$$h_\theta = \frac{\partial \hat{Z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \vec{\theta}} = \vec{E}_n^{AS} \cdot [\vec{S}_n^{Ant} \times]$$

Messmodell Geschwindigkeitsfehler für GPS Codemessung:

$$h_v = \frac{\partial \hat{Z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \vec{v}_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Positionsfehler für GPS Codemessung:

$$h_{\Phi} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \vec{\Phi}} = -\vec{E}_n^{AS}$$

Messmodell Offset Gyroskope für GPS Codemessung:

$$h_{\delta\omega} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \delta\omega_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Offset Beschleunigungsmesser für GPS Codemessung:

$$h_{\delta a} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \delta a_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Skalenfaktorfehler Gyroskope für GPS Codemessung:

$$h_{\zeta\omega} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \zeta\omega_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Skalenfaktorfehler Beschleunigungsmesser für GPS Codemessung:

$$h_{\zeta a} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{\Phi}_n^{Ant}}{\partial \zeta a_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Empfängeruhrfehler und -drift für GPS Codemessung:

$$h_{\Delta\tau} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial \Delta\tau} = [1 \quad 0]$$

Messmodell Reifenhalmmesser für GPS Codemessung:

$$h_{r_{dyn}} = \frac{\partial \hat{z}_{PSR}}{\partial r_{dyn}} = \mathbf{0} \quad .1)$$

Resultierende Beobachtungsmatrix für GPS Codemessungen:

$$H_{PSR} = [h_{\theta} \ 0 \ h_{\Phi} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ h_{\Delta\tau} \ 0]$$

**[0091]** Weiterhin wird im Folgenden beispielhaft ein Modell zum Navigieren mittels des Bestimmens von differenzierten GPS-Trägerphasen beschrieben.

**[0092]** Die Trägerphasenmessung ist dabei eine rein geodätische Methode, mit der eine sehr hohe Auflösungsgenauigkeit im Millimeterbereich erreicht werden kann. Diese Messung setzt einen hochwertigen Empfänger voraus, der zumindest die Trägerphase L1 und ggf. auch die Trägerphase L2 messen kann. Im Vergleich zur Codemessung ist die Trägerphasenmessung wesentlich komplexer und zeitintensiver. Bei dieser Beobachtung werden nicht die Codes, sondern die Trägerwellen miteinander verglichen. Durch Bestimmung der Phasemehrdeutigkeit kann die Anzahl der ganzen Wellen zwischen Satelliten und Empfänger bestimmt werden. Die Wellenlänge des L1-Signals beträgt 19,05 cm und des L2-Signals beträgt 24,45. Da aber das Signal nicht mit einer ganzen Wellenlänge am Empfänger ankommt, muss noch die Länge dieses Phasenreststückes bestimmt werden. Geodätische Empfänger können dies bis auf den Millimeter genau.

**[0093]** Messgleichung für GPS Trägerphase:

$$\delta_{DPH} = Z_{DPH} - \hat{Z}_{DPH}$$

hierbei ist  $Z_{DPH}$  die vom GPS gemessene Differenzgeschwindigkeit zum Satelliten und  $\hat{Z}_{DPH}$  die rechnerische Differenzgeschwindigkeit aus dem Strapdown Algorithmus:

$$Z_{DPH} = \dot{\rho}_{DPH}$$

$$\hat{Z}_{DPH} = \vec{E}_n^{AS} \cdot (\vec{v}_n^{Sat} - \hat{C}_b^n \cdot (\vec{v}_b + \vec{\omega}_b^{Corr} \times \vec{S}_b^{Ant})) + \Delta \dot{t}$$

mit

$\vec{v}_n^{Sat}$ : Geschwindigkeit des Satelliten in Navigationskoordinaten  
 $\Delta \dot{t}$ : Empfängeruhrfehlerdrift, bereits über die Lichtgeschwindigkeit zu einer Geschwindigkeit umgerechnet

Messmodell Ausrichtungsfehler für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_\theta = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \theta} = \vec{E}_n^{AS} \cdot [(\hat{C}_b^n \cdot (\vec{v}_b + \vec{\omega}_b^{Corr} \times \vec{S}_b^{Ant})) \times]$$

Messmodell Geschwindigkeitsfehler für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_v = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \vec{v}_b} = -\vec{E}_n^{AS} \cdot \hat{C}_b^n$$

Messmodell Positionsfehler für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_\phi = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \vec{\phi}} = \mathbf{0}$$

Messmodell Achsenabschnittsfehler der Gyroskope für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_{\delta\omega} = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \delta\omega_b} = -\vec{E}_n^{AS} \cdot \hat{C}_b^n \cdot [\vec{S}_b^{Ant} \times]$$

Messmodell Achsenabschnittsfehler der Beschleunigungsmesser für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_{\delta a} = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \delta a_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Skalenfaktorfehler der Gyroskope für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_{\zeta\omega} = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \zeta\vec{\omega}_b} = \vec{E}_n^{AS} \cdot \hat{C}_b^n \cdot [\vec{S}_b^{Ant} \times] \cdot \vec{\omega}_b^{IMU}$$

Messmodell Skalenfaktorfehler der Beschleunigungsmesser für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_{\zeta a} = \frac{\partial \hat{Z}_{DPH}}{\partial \vec{v}_n^{Ant}} \cdot \frac{\partial \vec{v}_n^{Ant}}{\partial \zeta\vec{a}_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Empfängeruhrfehler und -drift für GPS Trägerphasenmessung:

$$h_{\Delta\tau} = \frac{\partial \hat{z}_{DPH}}{\partial \Delta\tau} = [0 \quad 1]$$

Messmodell Reifenhalmmesser für GPS Codemessung:

$$h_{r_{dyn}} = \frac{\partial \hat{z}_{DPH}}{\partial r_{dyn}} = \mathbf{0}$$

Resultierende Beobachtungsmatrix für GPS Trägerphasenmessungen:

$$\mathbf{H}_{DPH} = [h_{\theta} \quad h_v \quad \mathbf{0} \quad h_{\delta\omega} \quad \mathbf{0} \quad h_{\zeta\omega} \quad \mathbf{0} \quad h_{\Delta\tau} \quad \mathbf{0}]$$

**[0094]** Weiterhin wird im Folgenden beispielhaft ein Modell zum Navigieren mittels Odometrie beschrieben.

**[0095]** Messgleichung für Odometrie:

$$\vec{\delta}_{Odo} = \vec{z}_{Odo} - \hat{\vec{z}}_{Odo}$$

hierbei ist  $\vec{v}_{b,Odo}^{Whl}$  die von der Odometrie gemessene Bewegungsgeschwindigkeit des Radaufstandspunktes in fahrzeugfesten Koordinaten und  $\vec{v}_b^{Whl}$  die rechnerische Bewegungsgeschwindigkeit aus dem Strapdown Algorithmus:

$$\vec{v}_b^{Whl} = \vec{v}_b + \vec{\omega}_b^{Corr} \times \vec{S}_b^{Whl}$$

$$\vec{v}_{b,Odo}^{Whl} = \mathbf{C}_w^{b'} \cdot \begin{bmatrix} \omega_w^{Whl} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot r_{dyn}$$

**[0096]** Zur Bildung der partiellen Differentiale der Messgleichungen zur Korrektur von sowohl der Größen des Strapdown Algorithmus, wie auch der Reifenhalmmesser, werden die beihaltenden Größen  $\vec{v}_b^{Whl}$  und  $\vec{v}_{b,Odo}^{Whl}$  beide im Prädiktionsvektor

$$\hat{\vec{z}}_{Odo}$$

vereint, und der Messvektor  $\vec{z}_{Odo}$  zu Null gesetzt:

$$\vec{z}_{Odo} = \vec{0}$$

**[0097]** Damit ergeben sich alle partiellen Differentiale aus

$$\hat{\vec{z}}_{Odo}$$

Einsetzen in

$$\vec{\delta}_{Odo} = \vec{z}_{Odo} - \hat{\vec{z}}_{Odo}$$

ergibt:

$$\vec{\delta}_{Odo} = \vec{v}_{b,Odo}^{Whl} - \vec{v}_b^{Whl}$$

mit

$\omega_w^{Whl}$ :	gemessene Winkelgeschwindigkeit des Rades
$C_w^b$ :	Drehmatrix um den Winkel zwischen Body-Koordinaten und Radkoordinaten
$\vec{S}_b^{Whl}$ :	Hebelarm zwischen IMU (Koordinatenursprung) und Radaufstandspunkt
$r_{dyn}$ :	dynamischer Reifenhalbmesser

Messmodell Ausrichtungsfehler für Odometriemessungen:

$$h_\theta = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \vec{\theta}} = \mathbf{0}$$

Messmodell Geschwindigkeitsfehler für Odometriemessungen:

$$h_v = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \vec{v}_b} = \mathbf{I}$$

Messmodell Positionsfehler für Odometriemessungen:

$$h_\phi = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \vec{\phi}} = \mathbf{0}$$

Messmodell Achsenabschnittsfehler der Gyroskope für Odometriemessungen:

$$h_{\delta\omega} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \delta\omega_b} = -[\vec{S}_b^{Whl} \times]$$

Messmodell Achsenabschnittsfehler der Beschleunigungsmesser für Odometriemessungen:

$$h_{\delta a} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \delta a_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Skalenfaktorfehler der Gyroskope für Odometriemessungen:

$$h_{\zeta\omega} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \zeta\omega_b} = [\vec{S}_b^{Whl} \times] \cdot \vec{\psi}\omega_b$$

Messmodell Skalenfaktorfehler der Beschleunigungsmesser für Odometriemessungen:

$$h_{\zeta a} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \zeta a_b} = \mathbf{0}$$

Messmodell Empfängeruhrfehler und -drift für Odometriemessungen:

$$h_{\Delta t} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial \Delta t} = \mathbf{0}$$

Messmodell Reifenhalbmesser für Odometriemessungen:

$$h_{r_{dyn}} = \frac{\partial \vec{z}_{Odo}}{\partial r_{dyn}} = -C_w^{b'} \cdot \begin{bmatrix} \omega_w^{Whl} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Resultierende Beobachtungsmatrix für Odometrie:

$$\mathbf{H}_{ODO} = [\mathbf{0} \quad h_v \quad \mathbf{0} \quad h_{\delta\omega} \quad \mathbf{0} \quad h_{\zeta\omega} \quad \mathbf{0} \quad \mathbf{0} \quad h_{r_{dyn}}]$$

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

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

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102010063984 A1 [0004]
- DE 102012216215 A1 [0005]
- DE 102012219478 A1 [0006]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems (**101, 201**), wobei das Sensorbasissystem (**101, 201**) und mindestens ein weiteres Sensorsystem (**103, 104, 203, 204**) Eingangsdaten erfassen und diese als Ausgabedaten ausgeben, wobei mittels der Ausgabedaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems (**103, 104, 203, 204**) eine Bestimmung von Fehlerwerten der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) erfolgt und wobei die Fehlerwerte mittels einer Anbringung von Korrekturen korrigiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der Fehlerwerte eine Bestimmung eines Fehlerwerts einer Steigung einer Kennlinie des Sensorbasissystems (**101, 201**) umfasst, wobei die Kennlinie eine Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) beschreibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgabedaten direkt und/oder indirekt Navigationsinformationen beschreiben, wobei indirekt beschriebene Navigationsinformationen aus den Ausgabedaten und/oder aus bekannten physikalischen und/oder mathematischen Zusammenhängen berechnet werden.
3. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Navigationsinformationen mindestens eine Positionsinformation, eine Geschwindigkeitsinformation und eine Ausrichtungsinformation umfassen.
4. Verfahren mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgabedaten zumindest Ausgabedaten eines Trägheitsnavigationssystems (**101, 201**), Ausgabedaten eines globalen Satellitennavigationssystems (**104, 204**) und/oder Ausgabedaten eines Odometriennavigationssystems (**103, 203**) sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Trägheitsnavigationssystem (**101, 201**) das Sensorbasissystem (**101, 201**) ist.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Navigationsinformationen zu einem Fusionsdatensatz fusioniert werden.
7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fehlerwerte mittels eines Error-State-Space-Filters, insbesondere mittels eines Error-State-Space-Kalman-Filters (**105, 205**), bestimmt werden.
8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korrekturen fortlaufend aufaddiert werden.
9. System zur Korrektur von Ausgabedaten eines Sensorbasissystems (**101, 201**), umfassend ein Sensorbasissystem, (**101, 201**) mindestens ein weiteres Sensorsystem (**103, 104, 203, 204**) und ein Fusionsfilter (**105, 205**), wobei das Sensorbasissystem (**101, 201**) und das mindestens eine weitere Sensorsystem (**103, 104, 203, 204**) dazu ausgebildet sind, Eingangsdaten zu erfassen und diese als Ausgabedaten auszugeben, wobei das Fusionsfilter (**105, 205**) dazu ausgebildet ist, mittels der Ausgabedaten des mindestens einen weiteren Sensorsystems (**103, 104, 203, 204**) eine Bestimmung von Fehlerwerten der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) vorzunehmen und wobei das Fusionsfilter (**105, 205**) dazu ausgebildet ist, die Fehlerwerte mittels einer Anbringung von Korrekturen zu korrigieren, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Fusionsfilter (**105, 205**) dazu ausgebildet ist, bei der Bestimmung der Fehlerwerte auch eine Bestimmung eines Fehlerwerts einer Steigung einer Kennlinie des Sensorbasissystems (**101, 201**) vorzunehmen, wobei die Kennlinie eine Abhängigkeit der Ausgabedaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) von den Eingangsdaten des Sensorbasissystems (**101, 201**) beschreibt.
10. System nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System dazu ausgebildet ist, ein Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8 auszuführen.
11. Verwendung des Systems nach mindestens einem der Ansprüche 9 und 10 in einem Kraftfahrzeug.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

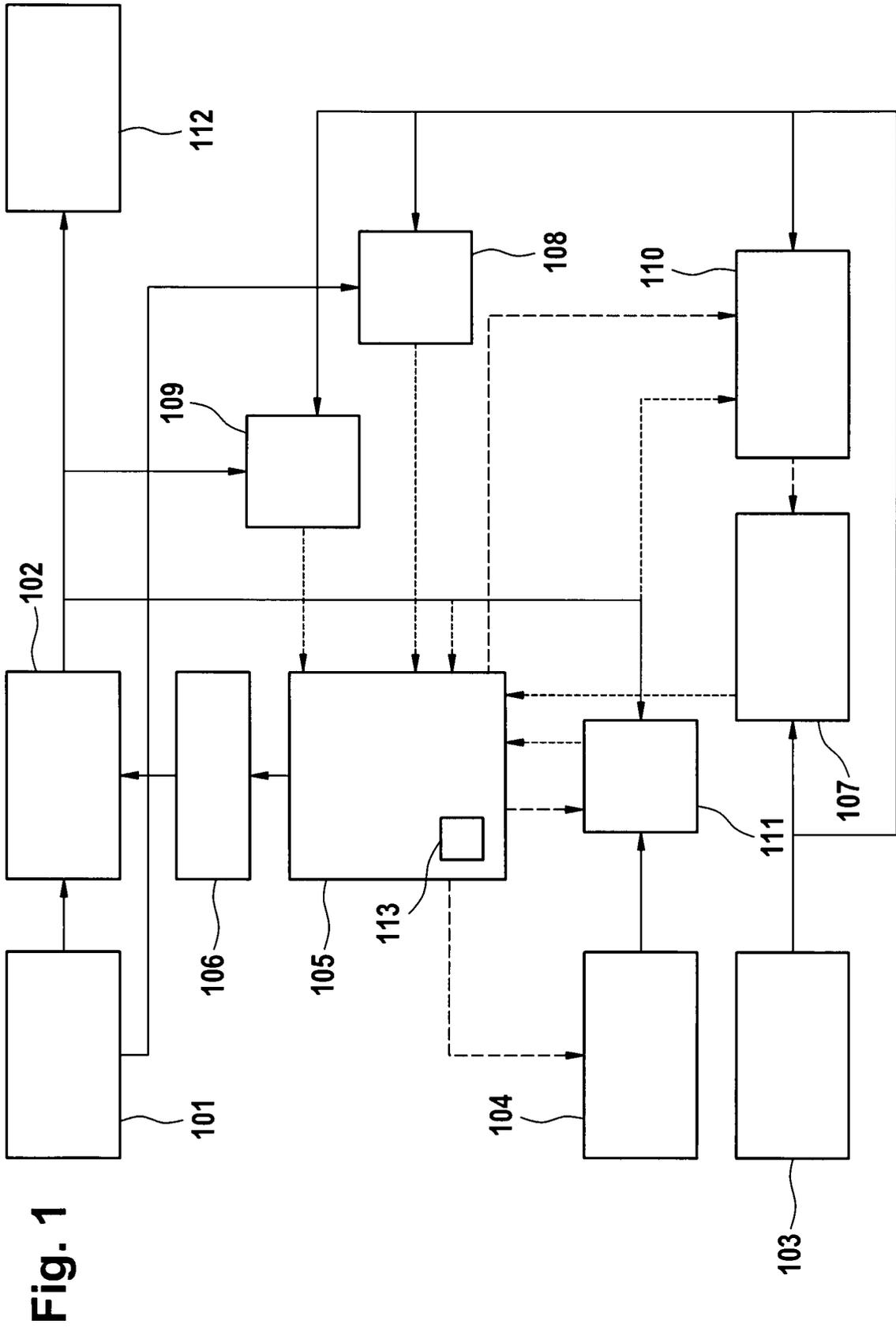


Fig. 1

**Fig. 2**

