



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 029 543 B4** 2006.09.07

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 029 543.3**
 (22) Anmeldetag: **18.06.2004**
 (43) Offenlegungstag: **27.10.2005**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **07.09.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G01C 21/30** (2006.01)

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

(66) Innere Priorität:
10 2004 017 591.8 07.04.2004

(73) Patentinhaber:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

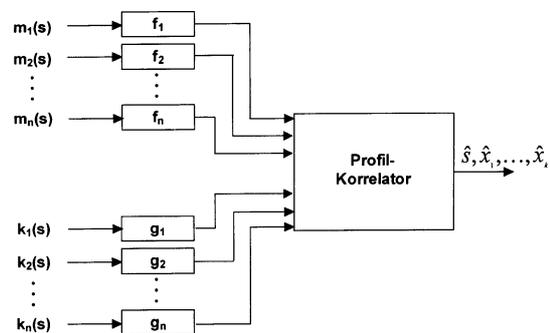
(72) Erfinder:
Mezger, Klaus, 70184 Stuttgart, DE; Passegger, Thomas, 72555 Metzingen, DE

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

US 66 15 135 B2
US 65 60 531 B1
US 62 18 980 B1
US 41 44 571
EP 07 62 363 A1
WO 01/61 271 A2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs durch Mehrkanal-Profil-Map-Matching**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs auf einem Wegenetz unter Verwendung von Positions- und/oder Koppelsensoren und einer digitalen Karte, wobei aus dem Wegenetz alternative Pfade, die das Fahrzeug befahren könnte, bestimmt werden und für mindestens einen dieser Pfade eine geschätzte Position bestimmt wird, gekennzeichnet dadurch, dass eine oder mehrere Messgrößen der Positions- und/oder Koppelsensoren, als Funktion der Längsposition auf dem Pfad genommen, mit einer oder mehreren entsprechenden aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilgrößen als Funktionen der Längsposition auf dem Pfad verglichen werden, um zu ermitteln, bei welcher Längsposition auf dem Pfad die Messgrößen am besten mit den Profilgrößen übereinstimmen, wobei die aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilgrößen ($k_i(s)$) durch Vorfilterung (g_i) geglättet werden, bevor sie mit den Messgrößen ($m_i(s)$) verglichen werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs auf einem Wegenetz unter Verwendung von Positions- und/oder Koppelsensoren und einer digitalen Karte.

Stand der Technik

[0002] Aus folgenden Patentdokumenten US 6,560,531 B1, US 6,218,980 B1, US 6,615,135 B2, EP 0 762 363 A1, US 4,144,571 und WO 01/61271 A2 sind verschiedene Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs bekannt. Teilweise erfolgt die Positionsbestimmung von Flugzeugen, ohne dass sich diese in einem vorgegebenen Wegenetz bewegen. Teilweise erfolgt die Positionsbestimmung mit Hilfe sogenannter Map-Matching-Verfahren.

[0003] Aus "Patent Abstracts of Japan" zu der JP 2001-272239 A ist ein Fahrzeugnavigationssystem bekannt, welches ein so genanntes Map-Matching durchführt. Die durch Koppelung mittels verschiedener Sensoren zu erwartende Fahrzeugposition wird in einem Kalmanfilter mit Positionssignalen eines GPS-Empfängers des Navigationssystems verglichen, und das Vergleichsergebnis wird an den GPS-Empfänger rückgekoppelt, um die Präzision der Ortsbestimmung zu erhöhen.

Aufgabenstellung

[0004] Bei Map-Matching auf Basis von digitalen Karten wird das Wegenetz normalerweise in von der aktuellen Position aus fahrbare Pfade zerlegt. Es wird dann versucht, durch einen Matching-Schritt das tatsächlich gefahrene Positionsprofil mit einem der Pfade optimal zur Deckung zu bringen. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass es für die Filterung ungünstig ist, ein aus Messgrößen von Positions- und/oder Koppelsensoren resultierendes Profil unmittelbar mit einem entsprechenden aus so einer digitalen Karte abgeleiteten Profil zu vergleichen.

[0005] Dieses Problem wird durch das Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst.

[0006] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es sinnvoller ist, anstelle eines 2-D-Matchings einer Positionskette in einer Ebene (lon/lat), die Messgrößen als Profilkurve der Wegstrecke s eines Pfades abzubilden und damit nur in einer Dimension entlang der Wegstrecke s zu matchen. Diese Vorgehensweise kann analog sowohl für die Koordinatenwerte (lon oder lat) als auch für weitere Messgrößen wie z.B. Streckenkrümmung oder Nordwinkel gematcht werden.

[0007] Als weiteres wird vorgeschlagen, diese als Funktion der Wegstrecke s dargestellten Messgrößen – auch Messprofile genannt – wie auch Vergleichsverläufe aus der Karte vor dem Matchingschritt zu filtern.

[0008] Durch die Filterung, die z.B. mittels eines Tiefpasses oder durch Berechnung eines gleitenden Mittels erfolgen kann, werden die aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilkurvegrößen, die bei einer Wegenetzdarstellung mittels Pfaden normalerweise nicht stetig differenzierbar sind, zu Funktionen, die mindestens einmal oder mehrfach stetig differenzierbar sind und damit eine Signalformcharakteristik ohne diskrete Verläufe erhalten. Dadurch können die Profilkurvegrößen leicht und genau mit den Messgrößen verglichen werden, vorzugsweise durch Korrelation oder durch rekursive Filterung.

[0009] Auch die Messgrößen können vorgefiltert werden, bevor sie mit den Profilkurvegrößen verglichen werden, um die Signalformcharakteristiken der gefilterten Größen möglichst gut aneinander anzupassen. Dabei kann die Vorfilterung mittels Tiefpass oder mittels Berechnung eines gleitenden Mittels erfolgen oder anderer Filter erfolgen. Insbesondere werden Filter so gewählt dass Fehler in den Profilkurvegrößen oder in den Messgrößen aufgrund von Messfehlern oder Kartendatenmängeln reduziert werden und eine Angleichen der Signalformen für ein nachfolgendes erfolgreiches Matching erreicht wird. Durch die Unterschiede in den Messgrößen und den Profilkurvegrößen werden regelmäßig unterschiedliche Filter für die jeweilige Vorfilterung verwendet.

[0010] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ausführungsbeispiel

[0011] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. In der Zeichnung zeigen:

- [0012] [Fig. 1](#) ein Wegenetz mit drei verschiedenen Pfaden, 2D-Schätzposition und Pfad-bezogener Streckenkoordinate,
- [0013] [Fig. 2](#) eine Folge von Messungen einer Profilgröße (gepunktet) und Profilverlauf aus digitaler Karte (durchgezogen),
- [0014] [Fig. 3](#) einen Zusammenhang zwischen Schätzposition und erwarteter Messung, sowie eine Positionskorrektur via eingetreffener Messung und lokaler Profilsteigung,
- [0015] [Fig. 4](#) die Verrechnung der Mess- und Schätzfehlervarianzen,
- [0016] [Fig. 5](#) einen aus einer Kartendarstellung resultierenden Polygonzug (Pfeil s) in der x,y-Ebene und einen realen Fahrtverlauf (Linie mit Rundungen),
- [0017] [Fig. 6](#) Profile der geometrischen Beschreibungsgrößen x , y , ψ , κ für das Beispiel aus [Fig. 5](#) als Funktion der Wegstrecke (aus geraden Linien zusammengesetzte Kurven: abgeleitet aus Polygonverläufen der digitalen Karte; Kurven mit Rundungen: typischer Verlauf aus realer Fahrt),
- [0018] [Fig. 7](#) eine Variante für den Informationsfluss beim Profil-Matching,
- [0019] [Fig. 8](#) die Angleichung der Signalcharakteristika durch ein geeignetes Anpassfilter,
- [0020] [Fig. 9](#) ein Beispiel für ein (Sub-)Optimalfilter, und
- [0021] [Fig. 10](#) eine Methode zur Kompensation von GPS-Offsets vor der Korrelation.
- [0022] Die Positionsbestimmung eines Fahrzeugs auf einem Wegenetz unter Nutzung von Positionssensorik und digitaler Karte des Wegenetzes erfolgt in drei Schritten:
1. Extraktion einzelner 'linearer' Pfade aus dem Wegenetz als mögliche 'Kandidaten' für die tatsächlich gefahrene Trajektorie – diese Kandidaten müssen naturgemäß in der Nähe der gemessenen Positionen liegen.
 2. Optimale 'Projektion' der Messungen auf die einzelnen Fahrweg-Kandidaten, d.h. für jeden möglichen Pfad wird eine auf ihm liegende beste Schätzposition bestimmt. Weiterhin wird ein Bewertungsmaß für die Übereinstimmungsgüte zwischen Messreihe und Geometrie der Pfade ermittelt.
 3. Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Pfade (und damit der Positionskandidaten) – dies geschieht unter Betrachtung der Konkurrenzsituation der betrachteten Alternativen.
- [0023] Für Schritt 1 gibt es entsprechende Kartenzugriffs-Software, und für Schritt 3 sind ebenfalls Lösungen bekannt.
- [0024] Schritt 2, eindimensionales Map-Matching genannt, wird nachfolgend näher beschrieben.
- [0025] Ausgangsbasis für die in der Navigation genutzten vorgestellten Map-Matching-Verfahren ist die Vorstellung, dass die Position des Fahrzeugs irgendwo auf dem von einer digitalen Karte dargestellten Streckennetz liegt. Bedingt durch Sensor- und Kartenfehler liegt eine z.B. mit GPS und Koppelsensorik ermittelte, geographische (2D)-Position, in [Fig. 1](#) mit * gekennzeichnet, nicht genau auf diesem Netz. Vielmehr muss durch den als Map-Matching bezeichneten Verfahrensschritt erst die Zuordnung Messposition – Kartenposition ermittelt werden. Anstelle einer Beschreibung der Fahrzeugposition in der Ebene wird bei dem hier dargestellten Verfahren von der Vorstellung ausgegangen, dass sich das Fahrzeug linear entlang dem Verlauf eines eindimensionalen Fahrweges (des Netzes) bewegt. Die Position auf dem Fahrweg bzw. Pfad kann dann mit der Wegkoordinate s eindeutig beschrieben werden. Dabei wird die mögliche Mehrdeutigkeit der Zuordnung auf verschiedene Pfade zunächst außer Acht gelassen und der korrekte Pfad (in [Fig. 1](#) Pfad Nr. 1) als bekannt angenommen.
- [0026] Das Matchingproblem für einen bestimmten Pfad reduziert sich damit auf die Frage, bei welcher Streckenkoordinate s (entlang des Pfades) die Position am wahrscheinlichsten anzunehmen ist (Schätzposition s), gegeben eine vorangegangene Sequenz von Messungen über Positionen, Geschwindigkeiten, Drehraten usw..
- [0027] Andere bekannte Methoden des Map-Matching bilden eine Folge von 2D-Positionsmessungen auf ei-

nen kartierten Fahrweg im Sinne einer verallgemeinerten Projektion ab (üblicherweise unter Nutzung von Verfahren der kleinsten Quadrate), dabei werden weitere Größen wie die Übereinstimmung des Richtungswinkels, der Streckenkrümmung kaum genutzt.

[0028] Im vorliegend beschriebenen Verfahren werden alle relevanten Messgrößen, also neben den Koordinaten geografische Länge und Breite auch der Streckenwinkel und die Krümmung einheitlich als Profilkfunktionen der Streckenkoordinaten s angeschrieben und in dem Verfahren parallel in identischer Weise genutzt.

[0029] Der Ansatz, mehrere Messgrößen als parallele 'Informationskanäle' im Matching zu nutzen, hat den Vorteil, dass sich Fehler in einzelnen Kanälen weniger stark auswirken, andererseits kann bei Ausfall von einzelnen Messkanälen das Matching auf Basis der Verbleibenden weitergeführt werden. Dies ist insbesondere interessant für einen temporären Ausfall der GPS-Messungen z.B. auf Grund von Abschattungen. Das 1D-Matching wird dann allein auf Basis des Krümmungsprofils der Strecke fortgeführt.

[0030] Die Grundzüge des Profilvergleichsverfahrens werden im folgenden Abschnitt anhand eines einfachen Beispiels zunächst für einen 'Messkanal' veranschaulicht – siehe hierzu [Fig. 2](#).

[0031] Gegeben sei ein Streckenverlauf, mit dessen Streckenkoordinate s eine physikalische Größe eindeutig verknüpft ist (als Beispiel hier der Richtungswinkel ψ).

[0032] Ein Fahrzeug, das sich entlang dieser Route bewegt und dabei permanent seinen Kurswinkel ermittelt, könnte durch Vergleich des gemessenen mit einem kartierten (Kurswinkel)-Profil seine Position bestimmen. Dazu müsste das gefahrene Profil entlang dem (in einem Rechner abgespeicherten) Profil 'verschoben' werden.

[0033] Für eine bestimmte Verschiebung Δs^* wird die (schraffiert dargestellte) Differenz $F(\Delta s)$ zwischen Mess- und Referenzprofil minimal.

[0034] Wenn von Mehrdeutigkeitsproblemen, Messfehlern usw. zunächst abgesehen wird, ist damit die tatsächliche Längsposition s eindeutig bestimmbar (Wegverschiebung Δs^* in [Fig. 2](#)).

[0035] Üblicherweise werden für derartige Aufgabenstellungen Korrelationsverfahren eingesetzt, bei denen der Profilfehler (bzw. die daraus abgeleitete Kreuz-Korrelationsfunktion) für jede in Frage kommende Verschiebung Δs berechnet werden muss. Wegen dieses Umstandes ist die direkte Berechnung der Korrelationsfunktion recht aufwändig, insbesondere wenn die Messungen entlang der Fahrstrecke s nicht äquidistant anfallen, wie im vorliegenden Fall.

[0036] Nun kann anhand [Fig. 2](#) leicht erkannt werden, dass der kumulierte Profilfehler, bzw. die Korrelationsfunktion einer aus k Messungen gebildeten Messreihe (Fläche zwischen den beiden Kurven) nicht komplett neu berechnet werden muss, wenn eine neue Messung zum Zeitpunkt t_{k+1} hinzutritt (rautenförmiger Abschnitt zwischen den Kurven + Abweichung). Als eine erste Möglichkeit der Vereinfachung des Korrelationsverfahrens kann die Fehlerfunktion $F(\Delta s)$ bzw. die daraus abgeleitete Kreuzkorrelationsfunktion $R(\Delta s)$ rekursiv formuliert werden:

$$R_{k+1}(\Delta s) = R_k(\Delta s) + r_{k+1}(\Delta s), \quad (1)$$

d.h. die Kreuzkorrelierte zum Zeitpunkt t_{k+1} berechnet sich als Summe der Kreuzkorrelierten R_k des vorhergehenden Messzeitpunkts (enthält die Information aus der gesamten Mess-Historie bis t_k), ergänzt um einen Anteil r_{k+1} , der allein aus der neuen Messung ermittelt wird. Die gesuchte, optimale Verschiebung Δs^*_{k+1} ergibt sich wieder beim Minimum der Fehlerfunktion F_{k+1} bzw. beim Maximum der Kreuzkorrelationsfunktion R_{k+1} in Bezug auf Δs . Sowohl R als auch r sind dabei allerdings als (numerische) Funktion der Variablen Δs anzuschreiben und als solche in der Handhabung etwas 'sperrig'. Zusätzlich ergibt sich die Notwendigkeit, die Information aus weiter zurückliegenden Messungen durch geeignete Gewichtungsmechanismen allmählich aus der fortgeschriebenen Funktion wieder auszublenden, um die Ortsschätzung nicht übermäßig auf veraltete Informationen abzustützen.

[0037] Mit dem hier beschriebenen Verfahren wird nun zur weiteren Vereinfachung vorgeschlagen, als Information über die bisherige Messreihe nur die resultierende Ortsschätzung s und als Güteparameter deren erwartete Standardabweichung σ_s fortzuschreiben.

[0038] Gegenüber dem vollständigen Korrelationsverfahren besteht der Unterschied dieses reduzierten Verfahrens darin, dass nicht die gesamte Korrelationsfunktion $R(\Delta s)$, sondern nur die Lage (\hat{s}^\wedge) und lokale Gestalt (σ_s) ihres Maximums fortgeschrieben wird, denn letztlich wird nur diese Information bei der Bestimmung der Längsposition s weiterverwendet. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass das Verfahren in der lokalen Umgebung des Maximums verbleibt, d.h. seinen Veränderungen von Messung zu Messung folgt. Diese Annahme ist bei ausreichender Versorgung mit Messdaten sicher erfüllt – bei längerem Ausbleiben von Messinformation sind beide Verfahren (Korrelation und reduziertes Verfahren) gleichermaßen auf die reine Fortschreibung auf Basis einer Wegmessung (z.B. Odometer) angewiesen.

[0039] Die Wirkungsweise des reduzierten Verfahrens und die Bedeutung der fortgeschriebenen Parameter wird anhand von [Fig. 3](#) nochmals verdeutlicht.

[0040] Die bisherige Messreihe (bis Zeitpunkt t_k) sei zu einer Positionserwartung \hat{s}^\wedge_{k+1} für den Zeitpunkt t_{k+1} verrechnet worden. Aus dem kartierten Profil wird dann bei dieser Position die zu erwartende Messung ψ^1_{k+1} abgelesen. Trifft nun die Messung bei einem anderen Wert ψ_{k+1} ein, kann mit der Differenz zwischen eingetretener und erwarteter Messung sowie der lokalen Profilsteigung eine Korrektur Δs für die Position errechnet werden (punktierte Hilfslinien in [Fig. 3](#)) – im Extremfall bringt diese Korrektur die Positionsschätzung an den Ort, wo das kartierte Profil genau der Messung entspricht. Wie an [Fig. 3](#) leicht erkannt werden kann, ist dies in erster Näherung erfüllt, wenn Δs berechnet wird nach

$$\Delta s = \frac{\psi_{k+1} - \psi^1_{k+1}}{c} = \frac{\Delta \psi}{c}, \text{ wobei } c = d\psi/ds \quad (2)$$

[0041] Es handelt sich deshalb um einen 'Extremfall', weil der Schätzwert \hat{s}^\wedge_{k+1} komplett auf die der neuen Messung entsprechenden Position korrigiert wird. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn sowohl das Kartenprofil als auch die Messung selbst fehlerfrei sind. Wenn mit Fehlern gerechnet werden muss, empfiehlt es sich, den neuen Schätzwert als Vermittlung zwischen dem bisherigen Schätzwert und der neuen Messung nach folgender Vorschrift zu bestimmen:

$$\hat{s}^+_{k+1} = \hat{s}^-_{k+1} + \alpha \cdot \Delta s = \hat{s}^-_{k+1} + \frac{\alpha}{c} \cdot (\psi_{k+1} - \psi^1_{k+1}), \text{ wobei } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

[0042] Der Parameter α bestimmt hierbei, in welchem Umfang die neue Messung im Verhältnis zur fortgeschriebenen 'Alt'-Information genutzt wird. Wesentliche Eigenschaft eines Kalmanfilters ist es nun, diesen Faktor im Verlauf des Verfahrens den aktuell gegebenen Fehlercharakteristika optimal anzupassen.

[0043] [Fig. 4](#) macht deutlich, wie die Bewertung der zwei verschiedenen Informationen aufgrund ihrer Fehlercharakteristika zustande kommt:

Das Filter habe aus den bisherigen Informationen Schätzposition s und deren Fehlervarianz σ_s^2 bestimmt. Die Messung habe die dargestellte Fehlervarianz σ_ψ^2 , in der auch Fehler des ψ -Profils subsumiert sind, denn die Auswirkungen eines Fehlers in $\psi(s)$ sind identisch zu der eines Fehlers bei der ψ -Messung. Entsprechend dem stochastischen Kalkül des Kalmanfilters wird der Korrekturfaktor von Gleichung (3) in diesem skalaren Beispiel wie folgt bestimmt:

$$\frac{\alpha}{c} = \frac{c \cdot \sigma_s^2}{c^2 \cdot \sigma_s^2 + \sigma_\psi^2}, \text{ bzw. } \alpha = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \frac{\sigma_\psi^2}{c^2}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\sigma_\psi}{c \cdot \sigma_s}\right)^2} \quad (4)$$

[0044] Der mit Gleichung (4) berechnete Faktor α/c entspricht der Filterkorrekturmatrix K der Kalmanfilter-Herleitung für den vektoriellen Fall, wie man durch Vergleich leicht feststellen kann. Der oben abgeleitete Parameter α macht die Filtereigenschaften anschaulich deutlich:

Ist die Güte des bisherigen Schätzwerts hoch im Verhältnis zur Messung (d.h. kleines σ_s , großes σ_ψ), dann wird α sehr klein – der Information aus der Messung wird weniger vertraut als der fortgeschriebenen Alt-Information.

[0045] Sind die Verhältnisse umgekehrt, wird α nahe bei 1 liegen – der neue Schätzwert wird fast ausschließlich aus der Messinformation gebildet.

[0046] Die Profilsteigung $c = d\psi/ds$ bestimmt, wie sich ein Messfehler auf einen Fehler in der Positionsschätzung transformiert – bei einer kleinen Steigung sind auch verhältnismäßig gute Messungen weniger wert, da sich der Fehler in Bezug s auf stark vergrößert.

- [0047] Das Matching-Verfahren zur rekursiven Schätzung der Längsposition \overline{s}^\wedge lässt sich dann z.B. mittels eines Kalmanfilters auf Basis nichtlinearer, aus einer digitalen Karte extrahierbarer Profilgrößen realisieren.
- [0048] Entsprechend lässt sich auch der einkanalige Fall, d.h. der Nutzung nur einer Verlaufsgröße für den Profilvergleich, ganz analog auf mehrere Kanäle bzw. Verlaufsgrößen erweitern. In dem entsprechenden Kalman-Filterentwurf bedeutet dies lediglich die Hinzunahme weiterer Messgrößen.
- [0049] Es folgt eine Beschreibung der Messgrößenfilterung und Darstellung als Funktion der Wegkoordinate.
- [0050] Digitale Karten bilden den Verlauf einer realen Straße in einer Knoten-Kanten-Topologie (Netz) ab. Die Digitalisierungspunkte sind durch Geradenstücke verbunden. Dieser polygonzugartige Verlauf stellt das geometrische Abbild der Straße dar. [Fig. 5](#) zeigt einen solchen Kartenausschnitt in der typischen Polygonrepräsentation.
- [0051] Mit der Vorstellung, dass ein Fahrzeug sich in der Regel auf der Straße aufhält, kommt man zu der idealisierten Modellvorstellung, es bewege sich exakt auf dem Polygonzug im eindimensionalen Straßenmodell. Die hierbei vernachlässigte Querabweichung des Fahrzeugs von der Straßenachse wirkt sich wie ein geringfügiger zusätzlicher Offset aus und kann modellseitig wie der GPS-Offsetfehler (Δx , Δy) behandelt werden.
- [0052] Der hier verfolgte Ansatz ist nun, die mittels der Sensorik erfassten Messwerte als Funktionen des gefahrenen Weges in Form von Profilen anzuschreiben und mit den aus dem Straßenmodell (Karte) zu erwartenden Werten zu vergleichen. Die Messabweichungen werden dann im Kalmanfilter zu einer Schätzung für die wahre Position s entlang des Polygonzugs verrechnet.
- [0053] Für den Profilvergleich können parallel verschiedene Messgrößen genutzt werden, z.B. die folgenden vier Größen:
1. Die x-Koordinate (z.B. entsprechend der GPS-Messung der geografischen Länge)
 2. Die y-Koordinate (z.B. entsprechend der GPS-Messung der geografischen Breite)
 3. Der Richtungswinkel ψ des Fahrzeugs (z.B. entsprechend der GPS-Messung des Kurswinkels)
 4. Die lokale Streckenkrümmung κ (aus der z.B. via Gyro gemessenen Gierrate ω , verrechnet mit der Fahrzeuggeschwindigkeit v)
- [0054] An einem einfachen Beispiel-Polygonzug in [Fig. 5](#) wird nun die Erstellung der Profilgrößen aus der digitalen Karte erläutert.
- [0055] Von einem Fahrzeug, das sich an der Stelle s_0 befindet und sich in Richtung der Kante fortbewegt, kann erwartet werden, dass es in etwa als Winkellage die Orientierung der Straße aufweist. In dem dargestellten eindimensionalen Koordinatensystem bezüglich des Weges s lassen sich dann alle vier Profilgrößen als Funktionen des entlang dem Polygonzug abgetragenen Weges s modellieren. [Fig. 6](#) veranschaulicht die Transformation der Größen x , y , ψ , κ in die wegbezogene Darstellung.
- [0056] Der Richtungswinkel des kartierten Verlaufs ändert sich sprunghaft an den Stützpunkten des Polygonzugs. Das Profil $\psi(s)$ ergibt sich daher als Treppenfunktion, deren Sprünge die Winkeländerungen reproduzieren.
- [0057] Die Krümmung ist die Differentiation des Winkelprofils nach dem Weg s . Somit ergibt sich ein Profil diracscher Delta-Funktionen. Winkel- und Krümmungsprofil sind nicht stetig differenzierbar und besitzen damit für das Filter unangenehme Eigenschaften.
- [0058] Dies wird dadurch abgemildert, dass die diskreten Verläufe aus der digitalen Karte durch eine Vorfilterung geglättet werden, so dass Verläufe entstehen, die eher den real gefahrenen Profilen (Kurven mit Rundungen in [Fig. 6](#)) der Messkanäle entsprechen.
- [0059] Im allgemeinen Fall können Vorfilter in beide Signalwege (der gemessenen Profile und der Kartenprofile) integriert werden, wenn damit am Ausgang vergleichbare Signalverläufe erzielt werden. Vorfilter in beiden Signalwegen sind in [Fig. 7](#) als Blöcke f_i bzw. g_i dargestellt.
- [0060] Die jeweiligen gemessenen Profile $m_i(s)$ werden dann in einem Korrelator mit den aus der Karte abgeleiteten Profilen $k_i(s)$ verglichen und so verschoben, dass eine Längsposition s^\wedge gefunden wird, bei der alle Profilvergleiche die beste Übereinstimmung erbringen.

[0061] Wichtig für die Korrektheit der (ggf. integrierten) Vorfilterung ist, dass die in der Korrelation verwendeten Größen aus Karte und Messung vergleichbare Eigenschaften besitzen. So wird man versuchen, den typisch stufenförmigen Profilverlauf der digitalen Karte (siehe [Fig. 6](#)) mit einem geeigneten Filter so zu transformieren, dass er zu den eher verschliffenen Signalformen eines real gefahrenen Profils kompatibel ist, wie in [Fig. 8](#) veranschaulicht.

[0062] Im Beispiel von [Fig. 8](#) ist dargestellt, dass zur Angleichung des stufenförmigen Winkelprofils aus der digitalen Karte an das kontinuierliche Profil eines bei Fahrt auf der entsprechenden Strecke gemessenen Verlaufs ein Anpassfilter z.B. mit der Charakteristik eines Tiefpasses, gleitenden Mittels o.ä. erforderlich wäre. Optional können beide Verläufe noch durch weitere, für beide Kanäle identische Filter aufbereitet werden, die für die Korrelation wesentliche Signalanteile gegenüber erwartbaren Störsignalen (z.B. Rauschen, konstante Offsets ...) hervorheben. Diese Filter sind in [Fig. 8](#) als Selektivfilter in beide Signalwege eingefügt.

[0063] Der anschließende Vergleich der Profile kann entweder durch eine Korrelation oder durch ein rekursives Filterverfahren, wie weiter oben beschrieben, durchgeführt werden. Als rekursives Filter kann beispielsweise ein nichtlineares Optimalfilter (wie z.B. das Extended Kalmanfilter) genutzt werden. In diesem Fall muss keine algorithmische Trennung zwischen Vorfilterung und Korrelation erfolgen – beide Aufgaben können im Schätzfilter integriert werden, wie in [Fig. 9](#) veranschaulicht.

[0064] Der Profilkorrelator sucht dann diejenige Längsposition \bar{s}^{\wedge} , bei der die während der Fahrt gemessenen Profile mit den aus der Karte abgeleiteten am Besten übereinstimmen.

[0065] Neben der in erster Linie interessierenden Schätzung für die Längspositionen können in diesem Filter auch weitere Schätzgrößen (wie z. B. vorzugsweise der aktuelle Positionsversatz oder Offset-Fehler der GPS-Messung) bei diesem Vergleich ermittelt werden.

[0066] Dazu werden die geschätzten Offsets $x_0^{\wedge}, y_0^{\wedge}$ der GPS-Messung in beiden Koordinaten zweckmäßigerweise vor dem Profilvergleich auf die GPS-Messwerte angebracht, so dass die GPS-Verfälschung weit gehend kompensiert wird.

[0067] Eine Schätzung des GPS-Offsets in den Koordinaten x bzw. y kann z.B. dadurch erfolgen, dass die Differenzen zwischen den gemessenen GPS-Werten x, y und den am Ort \bar{s}^{\wedge} aus der Karte ermittelten Koordinatenwerten $x(\bar{s}^{\wedge}), y(\bar{s}^{\wedge})$ gebildet werden und über eine längere Zeit gemittelt bzw. Tiefpass-gefiltert werden.

[0068] Da der Profilkorrelator diesen Vergleich mit neu eintreffenden Messwerten laufend neu durchführt, kann bei der Ermittlung der geschätzten Längsposition \bar{s}^{\wedge} jeweils der zuletzt ermittelten Schätzwert genutzt werden, der zweckmäßigerweise um den inzwischen gefahrenen Weg korrigiert wird. Hierzu können Messungen der Radsensorik und/oder die Geschwindigkeitsmessungen des GPS genutzt werden (zusätzliche Eingangsgröße in den Korrelator in [Fig. 10](#)).

[0069] Das Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs wird nachfolgend zusammengefasst beschrieben.

[0070] Die im vorhergehenden Abschnitt eingeführten Profilgrößen eines Straßenverlaufs lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- von der Sensorik erfasste Messwerte $m_i(s)$
- die entsprechenden, aus dem Straßenmodell (Karte)abgeleiteten Profilgrößen $k_i(s)$

[0071] Diese Profilgrößen werden als Funktion des Fahrweges s angeschrieben. Die Profilgrößen können jeweils mit einer geeigneten Vorfilterung f_i bzw. g_i vorverarbeitet werden, so dass

- beide Profile miteinander kompatibel sind, d.h. im Idealfall bis auf eine Verschiebung miteinander übereinstimmen (Filterkomponente, die in f und g unterschiedlich ist)
- ggf. durch ein zusätzliches Selektivfilter Nutzsignalanteile gegenüber Störsignalen betont werden, um den nachfolgenden Korrelationsschritt zu begünstigen (Filterkomponente, die in f_i bzw. g_i in gleicher Weise enthalten ist).

[0072] Der nachgeschaltete Profil-Korrelator (siehe [Fig. 7](#) bzw. [Fig. 9](#)) ermittelt, bei welcher Schätzposition \bar{s}^{\wedge} die gemessenen Profile am Besten mit den Kartenprofilen übereinstimmen. Dabei können Kenngrößen über die aktuelle Signalqualität der Schätz- und Messgrößen genutzt werden, um eine optimale Gewichtung der verschiedenen Messkanäle beim Profilvergleich zu gewährleisten.

[0073] Diese Vergleichs- und Verschiebeoperation wird mit laufendem Eintreffen von Messungen jeweils erneut durchgeführt. In einer rekursiven Formulierung des Profilvergleichs wird dabei üblicherweise die Schätzposition s^{\wedge} aus dem vorangegangenen Schritt zunächst um den inzwischen zurückgelegten Weg Δs (z.B. aus der Radsensorik ableitbar) hochgerechnet und dann um einen Wert nachkorrigiert, der aus dem neuen Profilvergleich bestimmt wird. Welches Gewicht dabei dem hochgerechneten Wert im Verhältnis zu der Information aus dem Profilvergleich gegeben wird, kann wiederum aus Kenngrößen der Signalqualität abgeleitet werden, wie dies z.B. in einem Extended Kalmanfilter implizit erfolgt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Positionsbestimmung eines Fahrzeugs auf einem Wegenetz unter Verwendung von Positions- und/oder Koppelsensoren und einer digitalen Karte, wobei aus dem Wegenetz alternative Pfade, die das Fahrzeug befahren könnte, bestimmt werden und für mindestens einen dieser Pfade eine geschätzte Position bestimmt wird, gekennzeichnet dadurch, dass eine oder mehrere Messgrößen der Positions- und/oder Koppelsensoren, als Funktion der Längsposition auf dem Pfad genommen, mit einer oder mehreren entsprechenden aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilgrößen als Funktionen der Längsposition auf dem Pfad verglichen werden, um zu ermitteln, bei welcher Längsposition auf dem Pfad die Messgrößen am besten mit den Profilgrößen übereinstimmen, wobei die aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilgrößen ($k_i(s)$) durch Vorfilterung (g_i) geglättet werden, bevor sie mit den Messgrößen ($m_i(s)$) verglichen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der digitalen Karte abgeleiteten Profilgrößen ($k_i(s)$, durch Vorfilterung (g_i) insbesondere durch ein Filter mit der Charakteristik eines Tiefpasses oder gleitenden Mittels, so geglättet werden, dass mindestens ihre erste Ableitung stetig ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass auch die Messgrößen insbesondere zur Beseitigung von Messfehlern vorgefiltert werden, bevor sie mit den Profilgrößen verglichen werden, um die Signalformcharakteristiken der gefilterten Größen möglichst gut aneinander anzupassen.

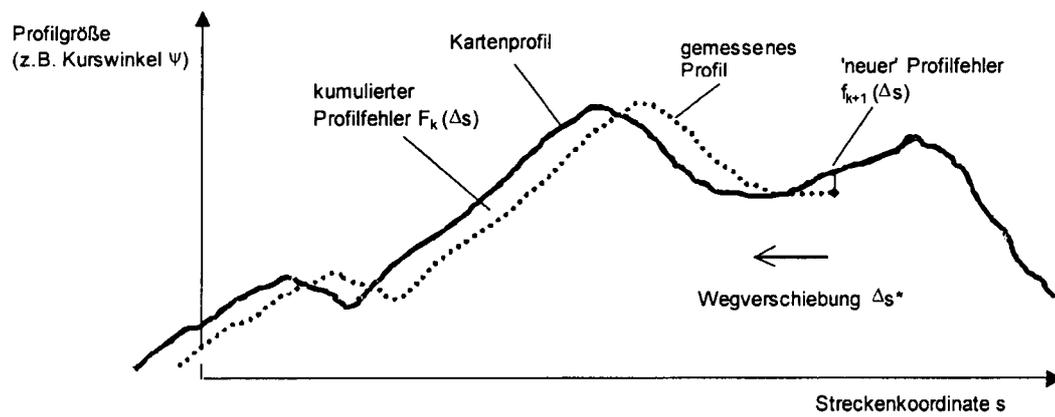
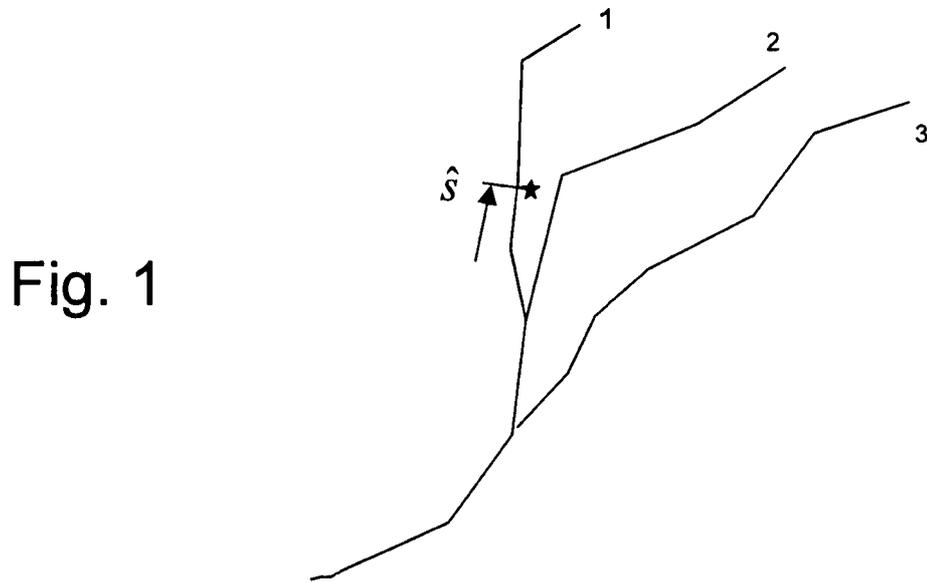
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgefilterten Profilgrößen und die wahlweise vorgefilterten Messgrößen durch Korrelation oder durch rekursive Filterung miteinander verglichen werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Profilgrößen und Messgrößen durch ein nichtlineares Optimalfilter miteinander verglichen werden, in das die Vorfilterung algorithmisch integriert ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgefilterten Profilgrößen und die wahlweise vorgefilterten Messgrößen eine Selektivfilterung erfahren, bei der für den Vergleich wesentliche Signalanteile gegenüber unwesentlichen oder störenden Signalanteilen hervorgehoben werden, bevor sie miteinander verglichen werden.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



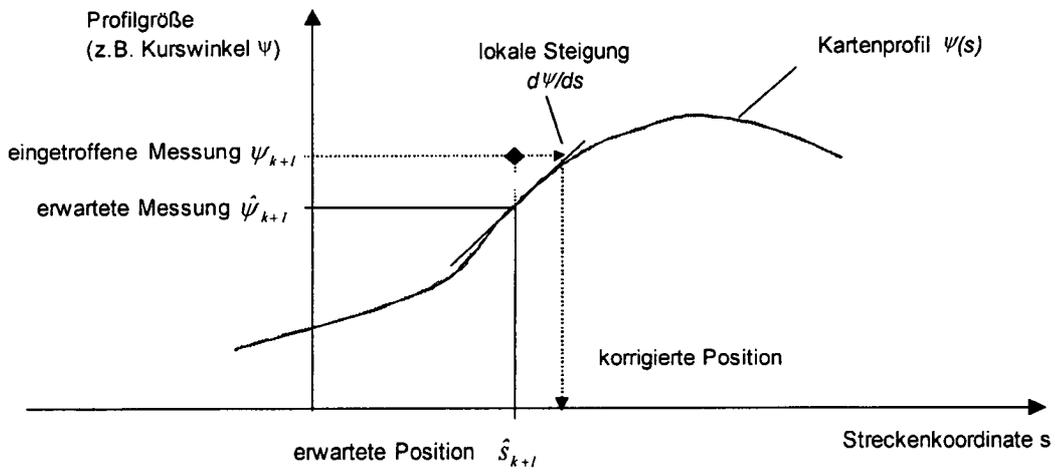


Fig. 3

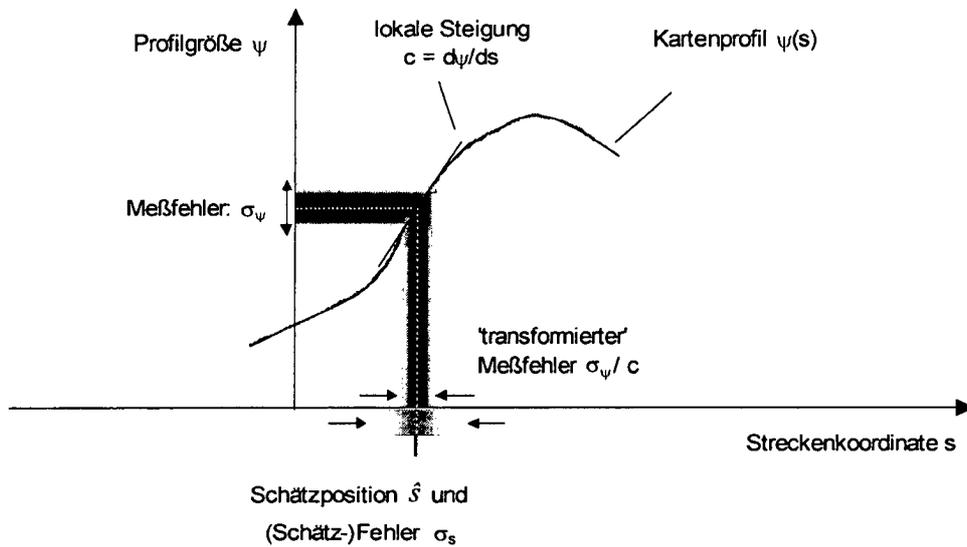


Fig. 4

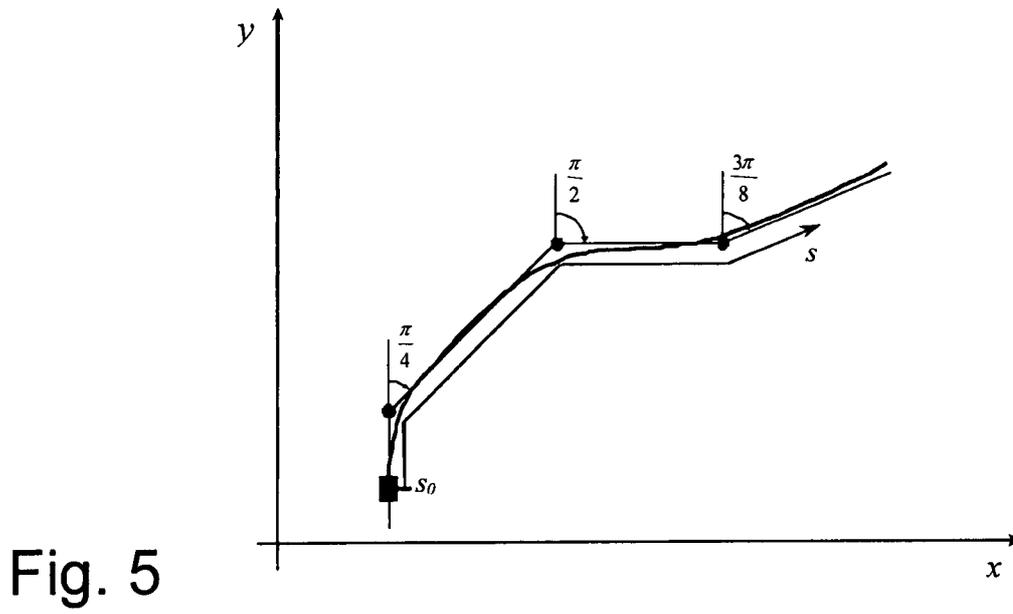


Fig. 5

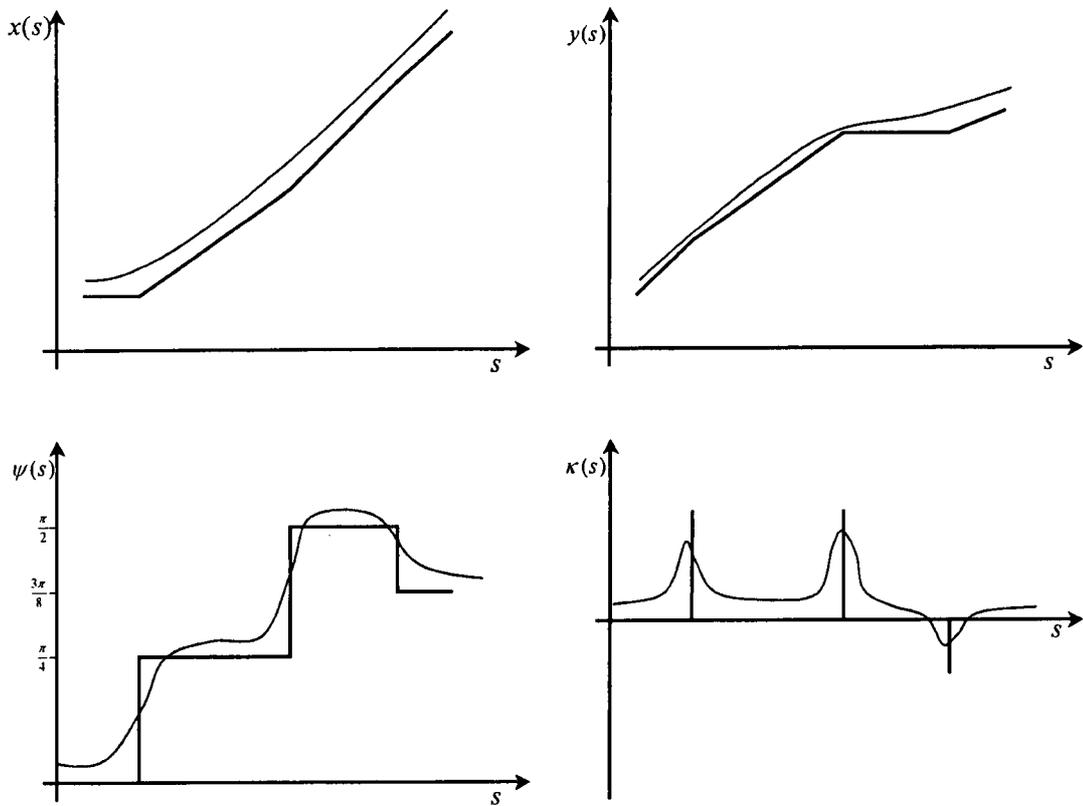


Fig. 6

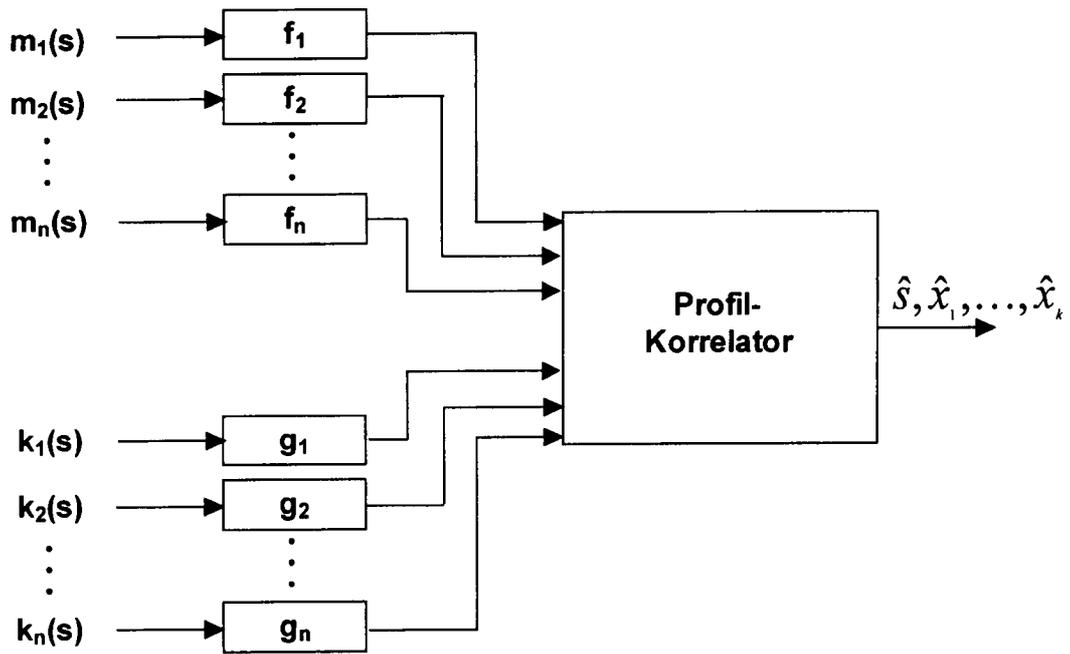


Fig. 7

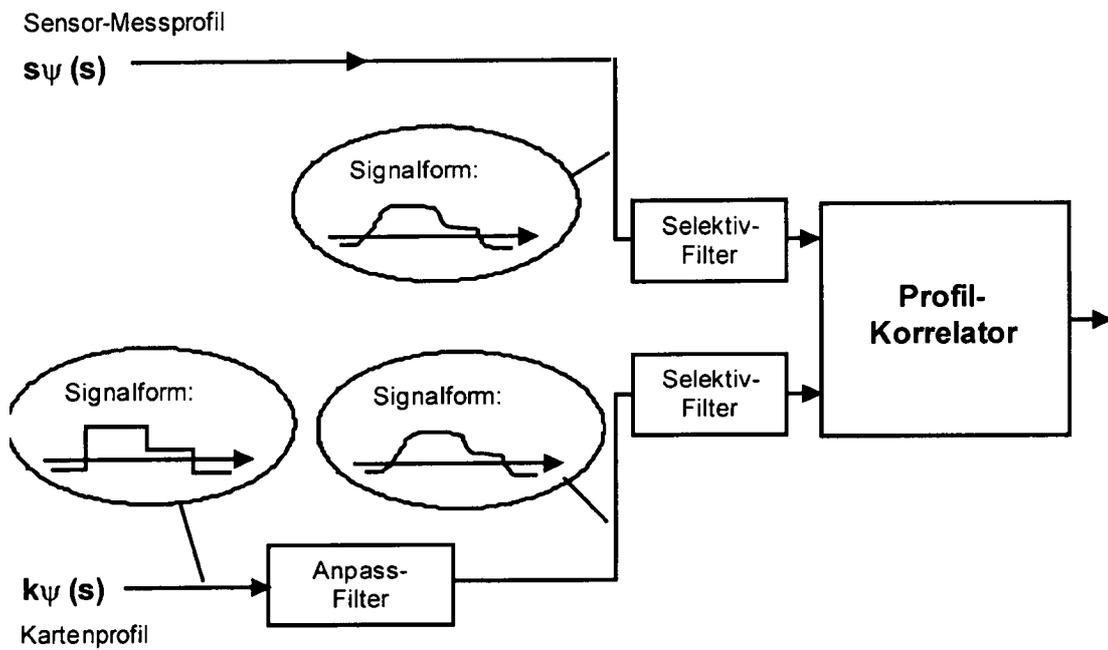


Fig. 8

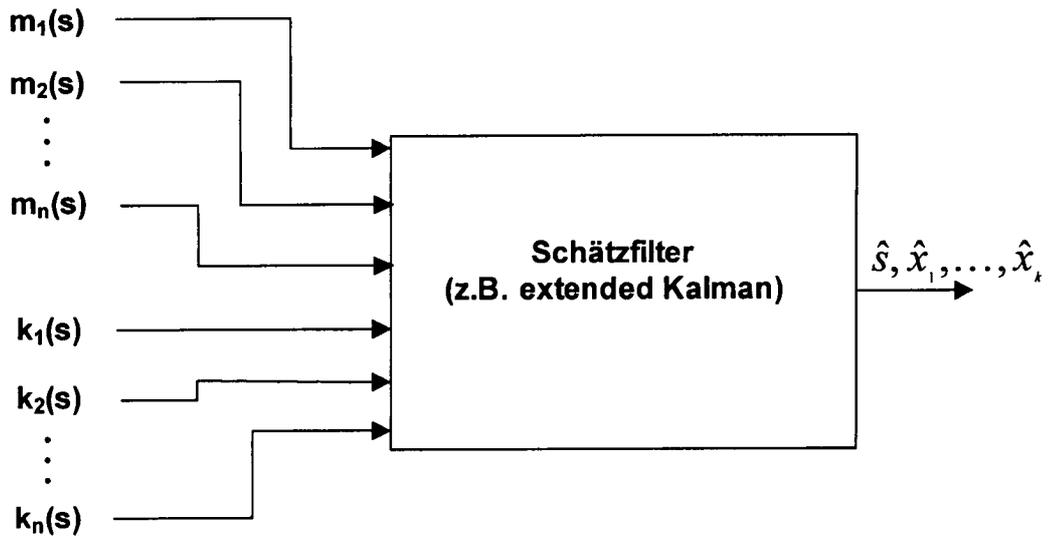


Fig. 9

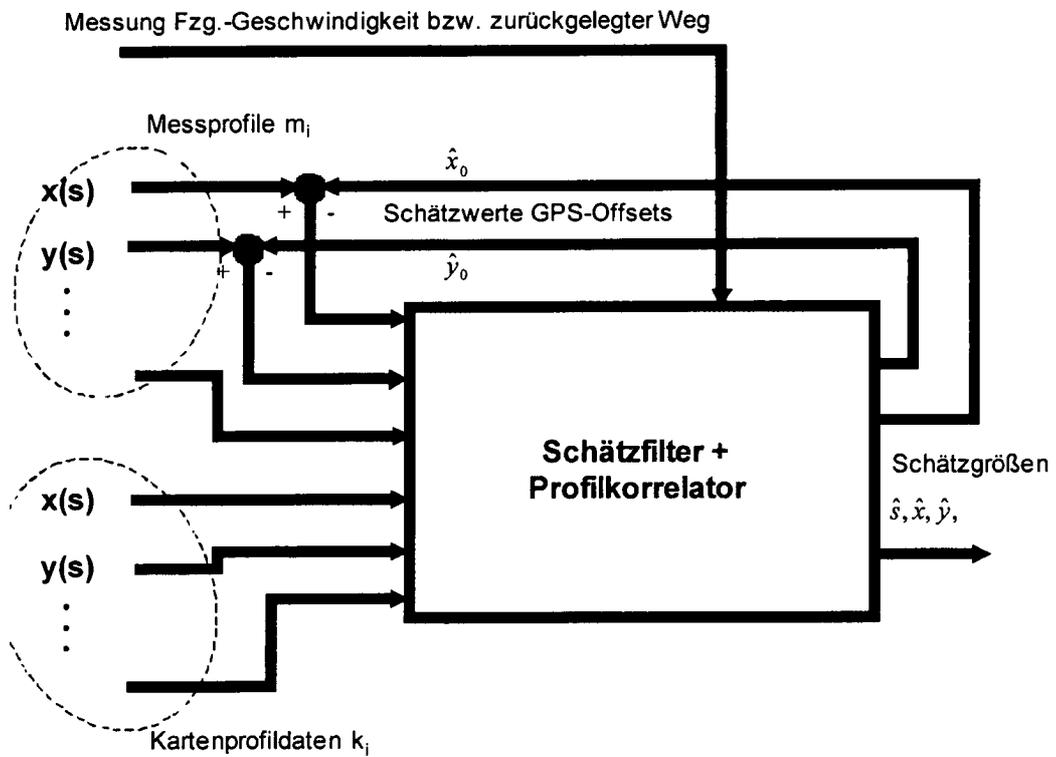


Fig. 10