



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 047 750 A1** 2009.05.07

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 047 750.8**

(22) Anmeldetag: **17.09.2008**

(43) Offenlegungstag: **07.05.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B60W 40/06** (2006.01)
B60W 40/12 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2007 044 721.5 18.09.2007

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

(72) Erfinder:
Fischer, Daniel, Dr., 65824 Schwalbach, DE

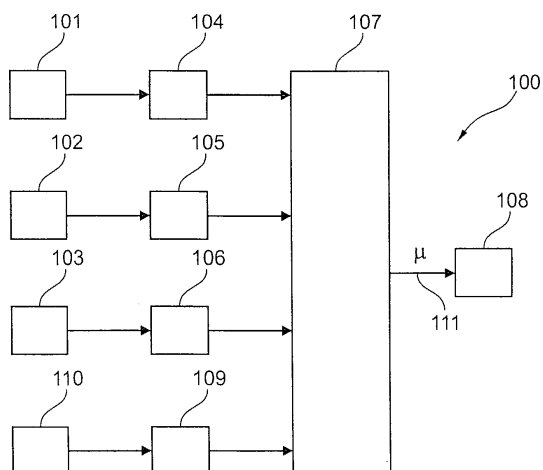
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu
ziehende Druckschriften:
DE10 2004 016288 B3
DE10 2004 045921 A1
DE10 2004 047914 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(54) Bezeichnung: **Bestimmung eines Kraftschlusses mit wenigen Sensoren**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein System zur Reibbeiwertschätzung angegeben, bei dem Drehschwingungen eines Rads eines Fahrzeugs analysiert werden und auf Basis dieser Analyse ein Reibbeiwert berechnet wird. Weiterhin ist ein Datenfusionsmodul vorgesehen, welches mehrere berechnete Reibbeiwerte miteinander kombiniert und auf diese Weise eine Klassifizierung des Reibbeiwertes durchführt. Diese Klassifizierung kann dann für ein Fahrerassistenzsystem verwendet werden.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft die Assistenz- und Steuertechnik für Fahrzeuge. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug, ein Fahrzeug mit einem Fahrerassistenzsystem, ein Verfahren zur Assistenz eines Fahrers eines Fahrzeugs, ein Programmelement und ein computerlesbares Medium.

Technologischer Hintergrund

[0002] Bei herkömmlichen Antiblockiersystemen (ABS-Systemen) und auch bei üblichen Systemen eines elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP-Systeme) ist es erforderlich, einen Kraftschlussbeiwert oder Reibbeiwert zwischen Reifen und Fahrbahn abzuschätzen und diesen dann einem der weiteren Regelung des Bremsdrucks zugrunde liegenden Algorithmus zunächst vorzugeben. Eine solche relativ genaue Abschätzung des Reibbeiwerts erfordert eine eigene Sensorik und ist aufwändig.

Zusammenfassung der Erfindung

[0003] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Reibbeiwertschätzung anzugeben, welche im normalen Fahrbetrieb arbeitet und mit wenigen Sensoren auskommt.

[0004] Es sind ein Fahrerassistenzsystem, ein Fahrzeug, ein Verfahren, ein Programmelement und ein computerlesbares Medium gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche angegeben. Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0005] Die beschriebenen Ausführungsbeispiele betreffen gleichermaßen das Fahrerassistenzsystem, das Fahrzeug, das Verfahren, das computerlesbare Medium und das Programmelement. In anderen Worten lassen sich die im Folgenden im Hinblick auf das Fahrerassistenzsystem genannten Merkmale auch in dem Verfahren, dem Programmelement und in dem computerlesbaren Medium bzw. dem Fahrzeug implementieren, und umgekehrt.

[0006] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug angegeben, welches ein erstes Modul zur Analyse einer Drehschwingung eines Rades des Fahrzeugs und zur Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwertes auf Basis der Analyse aufweist. Weiterhin ist ein Datenfusionsmodul vorgesehen, welches zur Kombination des ersten Schätzwertes mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes ausgeführt ist, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt. Das Fahrerassistenzsystem dient der Adaption auf Basis der Klassifizierung des Reibbeiwertes.

[0007] In anderen Worten es ist nicht erforderlich, dass ein genauer Reibbeiwert geschätzt wird. Vielmehr wird der Reibbeiwert in beispielsweise drei oder mehr Klassen eingeteilt. Es werden also die Fahrbahnbedingungen klassifiziert. Diese Information kann dann zur Adaption von Fahrerassistenzsystemen, wie ACC (Adaptive Cruise Control) oder APIA (Aktiv-Passiv-Integrations-Ansatz), oder auch zur Anpassung eines Rekupe-rationsbetriebs des Fahrzeugs dienen.

[0008] Insbesondere funktioniert die Reibbeiwertschätzung bzw. -klassifizierung während konstanter Fahrt des Fahrzeugs unter Auswertung des Radschwingungsverhaltens. Eine konstante Fahrt stellt eine typische Fahrsituation dar. Um diese Reibbeiwertschätzung zu stützen und den Arbeitsbereich zu vergrößern, werden weitere Verfahren kombiniert, die sich hinsichtlich ihrer Gültigkeit ergänzen.

[0009] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein zweites Modul vorgesehen, welches der Erzeugung des zweiten Schätzwertes dient.

[0010] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein drittes Modul vorgesehen, welches der Erzeugung eines dritten Schätzwertes des Reibbeiwertes dient, der dann dem Datenfusionsmodul zugeführt wird, wobei das Datenfusionsmodul zur Kombination des ersten Schätzwertes mit dem zweiten Schätzwert und mit dem dritten Schätzwert des Reibbeiwertes ausgeführt ist, wodurch die Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt.

[0011] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein viertes Modul vorgesehen, welches zur Erzeugung eines vierten Schätzwertes des Reibbeiwertes ausgeführt ist, der dann dem Datenfusionsmo-

dul zugeführt wird. In diesem Fall ist das Datenfusionsmodul zur Kombination des vierten Schätzwertes mit beispielsweise dem ersten Schätzwert oder dem ersten und dem zweiten Schätzwert, oder dem ersten, dem zweiten und dem dritten Schätzwert, oder mit einem Kombinationsergebnis aus den drei Schätzwerten ausgeführt, wodurch die Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt.

[0012] In anderen Worten kann das Fusionsmodul beispielsweise auch mehrteilig ausgeführt sein und in einem ersten Schritt den ersten und den zweiten Schätzwert miteinander fusionieren (also kombinieren). Danach wird dann in einem Folgeschritt der dritte Schätzwert mit dem Fusionsergebnis kombiniert. Auch können in einem ersten Schritt die ersten drei Schätzwerte fusioniert werden, wonach dann der vierte Schätzwert mit diesem Ergebnis kombiniert wird.

[0013] Das Ergebnis ist dann eine Klasseneinteilung des aktuellen Reibbeiwertes in drei oder mehr Klassen.

[0014] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung basiert der erste Schätzwert auf einer Überwachung einer Drehung des Rads durch eine erste Detektionseinrichtung in dem Fahrzeug, wobei der zweite Schätzwert auf einer Überwachung des Schlupfes des Rades durch eine zweite Detektionseinrichtung in dem Fahrzeug basiert.

[0015] Für jedes einzelne Rad des Fahrzeugs kann hierbei eine eigene Sensorik vorgesehen sein.

[0016] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung basiert der dritte Schätzwert auf einer Überwachung einer Fahrdynamik des Fahrzeugs durch eine dritte Detektionseinrichtung.

[0017] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung basiert der vierte Schätzwert auf einer statistischen Auswertung verschiedener Eingangsgrößen.

[0018] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung gehören die drei Detektionseinrichtungen zu einer ESP-Sensorik des Fahrzeugs. Neue Sensoren müssen nicht installiert werden.

[0019] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung erfolgt die Kombination der Schätzwerte im Datenfusionsmodul auf Basis einer Mittelwertbildung der Schätzwerte.

[0020] Auch kann, gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung, die Kombination der Schätzwerte im Datenfusionsmodul auf Basis einer Fuzzy-Logik erfolgen.

[0021] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die erste Detektionseinrichtung als Rad-drehzahlsensor ausgeführt, wobei die Analyse der Drehschwingung des Rades auf Basis eines Modells der Drehschwingung erfolgt.

[0022] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Fahrzeug mit einem oben beschriebenen Fahrerassistenzsystem angegeben.

[0023] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Verfahren zur Assistenz eines Fahrers eines Fahrzeugs angegeben, bei dem eine Analyse der Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs erfolgt. Daraufhin erfolgt die Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwertes auf Basis der Analyse. Daraufhin wird der erste Schätzwert mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes kombiniert, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt. Mit dem Ergebnis der Klassifizierung kann dann eine Adaption des Fahrerassistenzsystems vorgenommen werden.

[0024] Auch ist es möglich, das Klassifizierungsergebnis für die Regelung eines Rekuperationsbetriebs zu verwenden.

[0025] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein Programmelement angegeben, das, wenn es auf einem Prozessor ausgeführt wird, den Prozessor anleitet, die oben angegebenen Verfahrensschritte durchzuführen.

[0026] Dabei kann das Programmelement z. B. Teil einer Software sein, die auf einem Prozessor des Fahrzeugmanagements gespeichert ist. Der Prozessor kann dabei ebenso Gegenstand der Erfindung sein. Weiterhin umfasst dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Programmelement, welches schon von Anfang die Erfindung verwendet, sowie auch ein Programmelement, welches durch eine Aktualisierung (Update) ein be-

stehendes Programm zur Verwendung der Erfindung veranlasst.

[0027] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ein computerlesbares Medium angegeben, auf dem ein Programmelement gespeichert ist, das, wenn es auf einem Prozessor ausgeführt wird, den Prozessor anleitet, die oben angegebenen Verfahrensschritte auszuführen.

[0028] Im Folgenden werden mit Verweis auf die Figuren Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0029] [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Darstellung eines Systems zur Reibbeiwertschätzung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0030] [Fig. 2](#) zeigt ein Rad eines Fahrzeugs mit Sensorik zur Auswertung der Drehschwingung der Räder gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0031] [Fig. 3](#) zeigt die Abhängigkeit des Frequenzspektrums vom Reibbeiwert α .

[0032] [Fig. 4](#) zeigt ein System zur Reibbeiwertschätzung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0033] [Fig. 5](#) zeigt eine LM-Abschätzung.

[0034] [Fig. 6](#) zeigt ein Fahrzeug gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0035] [Fig. 7](#) zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0036] [Fig. 8](#) zeigt ein System zur Reibbeiwertschätzung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0037] Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich.

[0038] In der folgenden Figurenbeschreibung werden für die gleichen oder ähnlichen Elemente die gleichen Bezugsziffern verwendet.

[0039] [Fig. 1](#) zeigt ein System zur Reibbeiwertschätzung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das System **100** weist vier Detektionseinrichtungen (Sensoren) **101**, **102**, **103** und **104** auf. Jede der Detektionseinrichtungen kann hierbei mehrere Einzelsensoren aufweisen.

[0040] Bei der Detektionseinrichtung **101** handelt es sich um Sensoren zur Detektion einer Drehschwingung eines Reifens. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Raddrehzahlsensoren.

[0041] Die Detektionseinrichtung **102** umfasst Sensoren zur Überwachung des Schlupfes. Die Detektionseinrichtung **103** umfasst beispielsweise Sensoren zur Überwachung der Fahrdynamik des Fahrzeugs, wie der Gierrate, der Geschwindigkeit, des Lenkradwinkels und/oder des Schwimmwinkels.

[0042] Alle diese Sensoren können bereits Teil der ESP-Sensorik des Fahrzeugs sein.

[0043] Die aufgenommenen Messwerte der einzelnen Sensoren werden dann an entsprechende Module **104**, **105**, **106** und **109** übergeben. Das erste Modul **104** dient der Analyse der Drehschwingung des bzw. der entsprechenden Räder und erzeugt aus dem Analyseergebnis einen Schätzwert des Reibbeiwertes, der dann an das Fusionsmodul **107** übergeben wird.

[0044] An dieser Stelle ist zu beachten, dass es sich bei dem Fahrzeug um ein Kraftfahrzeug oder aber auch um ein Motorrad handeln kann.

[0045] Das zweite Modul **105** erzeugt einen zweiten Schätzwert, das dritte Modul **106** erzeugt einen dritten Schätzwert und das vierte Modul **109** erzeugt einen vierten Schätzwert, in diesem Fall auf Basis einer statisti-

schen Auswertung der Eingangsgrößen der Sensoren **110**.

[0046] Alle vier Schätzwerte werden dem Fusionsmodul übergeben und dann in eine Klassifizierung des Reibbeiwertes umgerechnet.

[0047] Der klassifizierte Reibbeiwert **111** wird dann einem Modul **108** zur weiteren Verwendung übergeben.

[0048] Bei dem Modul **108** handelt es sich beispielsweise um einen Abstandsregeltempomaten für ein ACC-System, eine Steuereinheit für das ESP oder ganz allgemein eine Steuereinheit für ein Fahrerassistenzsystem. Auch kann der klassifizierte Reibbeiwert für andere Systeme verwendet werden, beispielsweise für die Einstellung des Rekuperationsbetriebs.

[0049] Im Folgenden werden die vier Module **104**, **105**, **106** und **109** und deren Funktionsweise genauer beschrieben.

[0050] Im ersten Modul **104** erfolgt die Auswertung der Drehschwingung der Reifen. Fahrzeugreifen weisen eine typische Schwingung auf, deren Frequenz vom Reibbeiwert und dem Luftdruck abhängt. Durch eine Parameterschätzung bzw. Identifikation des zugehörigen Schwingungsmodells kann somit der Reibbeiwert geschätzt werden.

[0051] Hierfür werden beispielsweise die Signale der Raddrehzahlsensoren (wie beim sog. DDS+) um den Polteilungsfehler korrigiert und anschließend äquidistant interpoliert. Typische Raddrehzahlsensoren bestehen aus einem Polrad und einem Sensor, der die Flanken des Polrades erkennt. Als Ergebnis erhält man die Zeitstempel der einzelnen Flanken. Durch Fertigungstoleranzen ist die Teilung des Polrades nicht äquidistant. Diese Abweichungen können durch Identifizierung oder Mittelwertbildung ermittelt und kompensiert werden. Aus den Zeitstempeln und den Abständen der einzelnen Flanken am Polrad kann dann die Geschwindigkeit berechnet werden. Die Zeitachse dieser Werte ist allerdings abhängig vom Auftreten der Flanken und somit variabel. Deshalb ist die Interpolation der Werte auf eine konstante Zeitachse nötig.

[0052] Bei DDS+ handelt es sich um ein sog. „Deflation Detection System“. Es erkennt einen Reifendruckverlust auf indirektem Wege aus den Daten der Raddrehzahlsensoren des elektronischen Bremssystems. Denn der Abrollumfang eines Reifens verringert sich bei Druckverlust. Hierbei werden nicht nur die Änderungen des dynamischen Abrollumfangs, sondern mit einem zusätzlichen Softwaremodul auch ein verändertes Schwingungsverhalten des Reifens ausgewertet. Dies erlaubt eine präzise Berechnung des Reifenfülldrucks und eine frühe Information des Fahrers.

[0053] Auf Basis dieser Signale wird ein Modell der Rotationsschwingung des Reifens identifiziert. Dies kann im Zeitbereich (z. B. im Falle von RLS oder bei der Anwendung eines Kalman-Filters) oder im Frequenzbereich erfolgen. Für dieses Modell wird die Bewegung der Felge (ω_1) abhängig der Radgeschwindigkeit über Grund mit dem Reibwert (repräsentiert durch α) formuliert.

[0054] Das Kraftmodell für den Straßenkontakt lautet:

$$F_x = \frac{1}{1+T \cdot s} \cdot \frac{\alpha \cdot (v + v_s - \omega_2 \cdot R)}{v}$$

[0055] T beschreibt das Einlaufverhalten des Reifens und hängt von der Geschwindigkeit und der Kontaktfläche mit der Straße ab.

[0056] Ein schematischer Aufbau eines solchen Rads mit entsprechender Sensorik ist ebenfalls in [Fig. 2](#) gezeigt. Auch zeigt [Fig. 2](#) eine Kurve, die die Abhängigkeit von F_x (also der Kraft in Fahrtrichtung) und dem Schlupf s repräsentiert.

[0057] Aus der folgenden Gleichung kann die Winkelgeschwindigkeit $\omega_1(s)$ berechnet werden. v ist die Fahrzeuggeschwindigkeit, der sich die Geschwindigkeitskomponente v_s überlagert. v_s beschreibt den Einfluss des dynamischen Abrollradius, der unter anderem von der vertikalen Anregungen durch die Straße und Änderungen der Straße abhängt:

$$\omega_1(s) = \frac{\frac{K}{J_1 \cdot J_2} \cdot \frac{\alpha}{v} \cdot R}{\left[T \cdot s^4 + s^3 + \left(K \cdot T \cdot \left(\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \right) + \frac{\alpha}{v} \cdot \frac{R^2}{J_2} \right) \cdot s^2 + K \cdot \frac{(J_2 + J_1)}{J_1 \cdot J_2} \cdot s + \frac{\alpha}{v} \cdot \frac{K}{J_1 \cdot J_2} \cdot R^2 \right]} \cdot (v(s) + v_s(s))$$

[0058] Hierbei sind:

- T wie oben die Zeitkonstante des Einlaufverhaltens des Reifens;
 K die Torsionssteifigkeit des Reifens;
 ω_2 die Drehgeschwindigkeit des Gürtels;
 J_1 das Trägheitsmoment der Felge;
 J_2 das Trägheitsmoment des Gürtels;
 R der Radradius;
 s die sogenannte LaPlace Größe.

[0059] **201** bezeichnet hierbei die Radnabe, **202** den Reifenumfang, **203** ω_2 , **204** J_2 , **205** den Radius des Reifens R, **206** die Kraft in X-Richtung, **207** eine erste Feder, **209** eine zweite Feder und **208** die Kraft in Z-Richtung. **209** bezeichnet J_1 , **210** ω_1 . Das Modell der Kraftübertragung zwischen dem Rad und der Fahrbahn wird beispielhaft durch die Anordnung **211** (serielles Feder-Dämpferelement) beschrieben. Das Symbol **211** symbolisiert einen Kontakt zu einem festen Punkt.

[0060] **Fig. 3** zeigt die Abhängigkeit des Frequenzspektrums von α . Die Horizontalachse **301** bezeichnet die Frequenz zwischen 0 und 150 Hz. Die Vertikalachse **302** bezeichnet die Schwingungsamplitude |G|.

[0061] Die Kurven **303**, **304** und **305** zeigen drei Frequenzspektren bei drei verschiedenen Reibbeiwerten α . Den Frequenzspektren sind zwei Resonanzen **306**, **307** bei ca. 40 Hz und bei ca. 60 Hz zu entnehmen. Diese Resonanzen können dadurch berücksichtigt werden, dass diese beiden Frequenzbereiche getrennt voneinander mit einem Modell zweiter Ordnung oder der gesamte Frequenzbereich mit einem Modell dritter oder vierter Ordnung (wie bei der obigen Gleichung) identifiziert werden. Weiterhin können die Energien bzw. die Energieverhältnisse in allen Resonanzen berücksichtigt werden. Dem nachgeschaltet folgt eine Einheit, die die verschiedenen Informationen fusioniert (Fusionsmodul).

[0062] **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung des Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0063] Die Auswertung der Radrehzahlen basiert auf Grundlage der Gleichung XXX ($w_1 = \dots$). Da je nach Anregung die einzelnen Ordnungen unterschiedlich angeregt werden, wird Gleichung XXX in drei Untermodelle abhängig vom gültigen Frequenzbereich aufgeteilt und vereinfacht:

Gesamter Frequenzbereich Block 407

$$\omega_1(s) = \frac{1}{[s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0]} \cdot M(s)$$

Unterer Frequenzbereich (um 40 Hz) Block 408

$$\omega_1(s) = \frac{1}{[s^2 + b_1 s + b_0]} \cdot M(s)$$

Oberer Frequenzbereich (um 70 Hz) Block 409

$$\omega_1(s) = \frac{1}{[s^2 + c_1 s + c_0]} \cdot M(s)$$

[0064] Die Blöcke **401**, **402** und **403** stellen Bandpassfilter (BP) dar. In [Fig. 4](#) ist die beispielhafte Auswertung der Modelle mit dem Parameterschätzverfahren Recursive-Least-Squares (RLS) beschrieben. Hierzu werden zunächst die benötigten Ableitungen in den Blöcken **404**, **405** und **406** bestimmt, die eigentliche Parameterschätzung erfolgt in den Blöcken **407**, **408** und **409**. Die Schätzfehler der Modelle werden im Block **410** ermittelt und zur Reibwertschätzung hinzugezogen. Weiterhin werden die Verhältnisse der Resonzen im oberen und unteren Energiebereich in Block **411** bestimmt und ebenfalls zur Reibwertüberwachung herangezogen.

[0065] Aus den Informationen der Blöcke **407–411** wird im Block **107** ein Reibwert ermittelt. Beim Block **107** kann es sich um ein mehrdimensionales Kennfeld handeln, das die verschiedenen Eingänge auf einen Reibwert bezieht. Eine beispielhafte Ausführung ist ein neuronales Netzwerk, dem die Abhängigkeiten auf Basis von Messungen antrainiert werden.

[0066] Dieses Verfahren funktioniert radindividuell, so dass radindividuelle Aussagen und auch seitenweise Aussagen zur μ -Split-Erkennung möglich sind.

[0067] In der zweiten Detektionseinheit **102** (siehe [Fig. 1](#)) erfolgt die Schlupfüberwachung. Im normalen Fahrbetrieb stellen sich bei unterschiedlichen Fahrbahnbeschaffenheiten (trocken, nass, Schnee, vereist) unterschiedliche Schlupfwerte ein. Der Schlupf wird dabei aus dem seitenweisen Vergleich zwischen Vorder- und Hinterraddrehzahl bestimmt.

[0068] Beispielsweise läuft parallel zur Drehschwingungsauswertung ein Modell, das die ABS/ESP-Sensorik als Eingang und den Schlupf auf Hochreibwert als Ausgang hat. Dieses Modell wird reifenspezifisch gelernt (sog. Resettaster) oder fahrzeugspezifisch festgelegt. Aus den Abweichungen zwischen dem gemessenen und geschätzten Schlupf kann die Fahrbahnbeschaffenheit bestimmt werden.

[0069] Durch die seitenweise Verarbeitung ist auch hier eine μ -Split-Erkennung möglich.

[0070] Wenn die Abweichung zwischen dem gemessenen und dem geschätztem Schlupf sehr klein ist, kann ein Hochreibwert erkannt werden, wenn andere Verfahren und speziell die nachfolgend beschriebene statistische Auswertung auf einen reduzierten Reibbeiwert hinweist.

[0071] In der dritten Detektionseinheit **103** erfolgt die Überwachung der Fahrdynamik. Die Messwerte werden in das Modul **106** übergeben. Die fahrdynamischen Größen wie die Gierrate, Geschwindigkeit, Lenkradwinkel oder Schwimmwinkel hängen physikalisch zusammen, wobei der Reibwert oder die reibwertabhängigen Schräglaufsteifigkeiten eine zentrale Rolle spielen. Durch Überwachung dieser Größen (durch die Detektionseinheit **103**) kann beispielsweise über einen Kalman-Filter auf den Reibbeiwert geschlossen werden. Dies erfolgt im Modul **106** (siehe [Fig. 1](#)).

[0072] In dem Modul **109** erfolgt eine statistische Auswertung. Auf Basis verschiedener Eingangsgrößen von der vierten Detektionseinheit **110** wird ein Grundreibwert bestimmt. Hierbei liefern verschiedene Eingangsgrößen einen Reibbeiwert, der dann mit anderen Reibbeiwerten verknüpft wird (z. B. über Fuzzy-Logik). Mögliche Eingangsgrößen sind:

- Außentemperatur unterhalb einer voreingestellten Schwelle. Daraus ergibt sich, dass der Reibbeiwert kleiner ist.
- ABS/ESP/TCS-Eingriffe. Je häufiger diese Eingriffe auftreten, umso kleiner ist der mögliche Reibbeiwert.
- Verwendung der Reibbeiwertschätzung von ABS/ESP/TCS.
- Häufiges Anschlagen der anderen Verfahren. Daraus ergibt sich ebenfalls ein kleinerer Reibbeiwert.
- Im Fusionsmodul **107** (siehe [Fig. 1](#), [Fig. 4](#), [Fig. 8](#)) werden die berechneten Reibbeiwerte der verschiedenen Verfahren miteinander kombiniert. Die Kombination erfolgt beispielsweise durch Mittelwertbildung, gewichtete Mittelwertbildung unter Verwendung von Gütewerten der einzelnen Verfahren, Fuzzy-Logik oder indem jedes Verfahren ein Vertrauensintervall liefert, wobei die verschiedenen Vertrauensintervalle überlagert werden und der Bereich mit der größten Überschneidung die fusionierte Aussage ergibt.

[0073] Das Ergebnis der Fusion besteht in einer Klassifizierung des Reibbeiwertes, beispielsweise in hoch, mittel, niedrig.

[0074] Beispielsweise entscheidet die statistische Auswertung darüber, ob ein hoher oder ein mittlerer Reibbeiwert vorliegt.

[0075] Spricht eines der drei anderen Verfahren an, wird die Reibbeiwertklasse um eine Stufe verringert.

Sprechen zwei andere Verfahren an, wird die Reibbeiwertklasse um zwei Stufen verringert. Sprechen drei Verfahren an bzw. spricht eines der Verfahren besonders stark an, wird Niedrigreibbeiwert ausgegeben.

[0076] **Fig. 5** zeigt ein Ergebnis der Reibbeiwertklassifikation gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Auf der Querachse **501** ist die Zeit von 70 bis 95 Sekunden abgebildet. Auf der Hochachse **502** ist der sog. LM-Indikator abgebildet. Ein hoher LM-Wert ($LM = \text{Low } \mu$), wie etwa der Wert bei $t = 90 \text{ s}$ bedeutet einen kleinen Reibwert und ein niedriger LM-Wert, wie etwa bei $t = 72 \text{ s}$ bedeutet einen hohen Reibwert.

[0077] Im ersten Zeitabschnitt befindet sich das Fahrzeug auf einer Hauptstraße **507**. Im zweiten Abschnitt **508** biegt das Fahrzeug nach rechts ab. Im dritten Abschnitt **509** befindet sich das Fahrzeug auf einer schmalen Straße und im vierten Abschnitt **510** nähert sich das Fahrzeug einer Kreuzung.

[0078] Wie in der Kurve **503** zu erkennen ist, hängt der LM-Indikator jeweils von der aktuellen Situation ab. In der vorgenommenen Messung betragen die Detektions- und die Erholungszeit weniger als 300 Millisekunden. Dies gilt insbesondere für den Bereich **505**. Im Bereich **504** schaltet sich der Vehicle Dynamics Observer/ESP zu. Im Bereich **506** wird gebremst, so dass das entsprechende Schlupfmodell zum Einsatz kommt.

[0079] **Fig. 6** zeigt ein Fahrzeug gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Das Fahrzeug **601** weist ein System **100** zur Reibbeiwertschätzung auf. Insbesondere greift das System auf Sensordaten von ESP-Sensoren und/oder Bremsanlagensensoren zurück.

[0080] **Fig. 7** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens, bei dem in Schritt **701** eine Analyse der Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs durchgeführt wird. In Schritt **702** wird ein Schätzwert auf Basis der Analyse erzeugt und in Schritt **703** erfolgt eine Kombination dieses Schätzwertes mit einem weiteren Schätzwert hinsichtlich des Reibbeiwertes, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt. In Schritt **704** erfolgt dann die Adaption eines Fahrerassistenzsystems auf Basis der Klassifizierung des Reibbeiwertes.

[0081] **Fig. 8** zeigt ein weiteres System zur Reibbeiwertschätzung, bei dem die Messwerte der Detektionseinrichtungen **101**, **102**, **103** an die entsprechenden Weiterverarbeitungsmodule **104**, **105**, **106** übergeben werden.

[0082] Weiterhin wird ein Modell **801** herangezogen, dem Messwerte a_x **802** und a_y **803** zugeführt werden. Dieses Keulenmodell betrifft die Längsdynamik und die Querdynamik des Fahrzeugs. Alternativ zu diesem Modell kann auch ein anderes Modell **806** hinzugezogen werden, welches aus den Werten a_x und a_y die Werte R_{TOA} **807**, R_{WSM} **808** und RIO **809** berechnet. Bei diesen Werten handelt es sich um Gültigkeitswerte (z. B. zwischen 0 und 1) der drei Verfahren **104–106**. (Tire-Oszillation-Analys, Wheel-Slip-Model und Vehicle-Dynamics-Observer).

[0083] Anhand eines dieser Modelle sowie der Messwerte der Detektionseinrichtungen **101**, **102** und **103** erfolgt in den Modulen **104**, **105** und **106** jeweils eine Abschätzung des Reibbeiwertes. Danach erfolgt im ersten Teil des Fusionsmoduls **107** eine erste Gewichtung, in der auch das Modell **801** bzw. **806** berücksichtigt wird. Das Ergebnis ist ein (fusionierter) Reibbeiwert **810**, der einem zweiten Teil des Fusionsmoduls **107** übergeben wird. Diesem zweiten Teil des Fusionsmoduls **107** wird auch das Ergebnis der statistischen Auswertung **811** übergeben. In diesem zweiten Teil erfolgt wiederum eine Gewichtung unter Berücksichtigung des Modells **801** oder **806**. Das Endergebnis ist dann der klassifizierte Reibbeiwert **111**, der beispielsweise einer Fahrerassistenzeinheit **108** übergeben wird.

[0084] Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass „umfassend“ und „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkungen anzusehen.

Patentansprüche

1. Fahrerassistenzsystem für ein Fahrzeug, das Fahrerassistenzsystem aufweisend:
ein erstes Modul (**104**) zur Analyse einer Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs und zur Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwerts auf Basis der Analyse;
ein Datenfusionsmodul (**107**) zur Kombination des ersten Schätzwertes mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt;

wobei das Fahrerassistenzsystem zur Adaption auf Basis der Klassifizierung ausgeführt ist.

2. Fahrerassistenzsystem nach Anspruch 1, weiterhin aufweisend:
ein zweites Modul (**105**) zur Erzeugung des zweiten Schätzwertes.

3. Fahrerassistenzsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin aufweisend:
ein drittes Modul (**106**) zur Erzeugung eines dritten Schätzwertes des Reibbeiwertes, der dem Datenfusionsmodul (**107**) zugeführt wird;
wobei das Datenfusionsmodul (**107**) zur Kombination des ersten Schätzwertes mit dem zweiten Schätzwert und mit dem dritten Schätzwert des Reibbeiwertes ausgeführt ist, wodurch die Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt.

4. Fahrerassistenzsystem nach Anspruch 1 oder 2, weiterhin aufweisend:
ein viertes Modul (**109**) zur Erzeugung eines vierten Schätzwertes des Reibbeiwertes, der dem Datenfusionsmodul (**107**) zugeführt wird;
wobei das Datenfusionsmodul (**107**) zur Kombination des ersten Schätzwertes mit dem zweiten Schätzwert, dem dritten Schätzwert und dem vierten Schätzwert des Reibbeiwertes ausgeführt ist, wodurch die Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt.

5. Fahrerassistenzsystem nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
wobei der erste Schätzwert auf einer Überwachung einer Drehung des Rads durch eine erste Detektionseinrichtung (**101**) in dem Fahrzeug basiert.
wobei der zweite Schätzwert auf einer Überwachung des Schlupfes durch eine zweite Detektionseinrichtung (**102**) in dem Fahrzeug basiert.

6. Fahrerassistenzsystem nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei der dritte Schätzwert auf einer Überwachung einer Fahrdynamik des Fahrzeugs durch eine dritte Detektionseinrichtung (**103**) basiert.

7. Fahrerassistenzsystem nach einem der Ansprüche 4 bis 6, wobei der vierte Schätzwert auf einer statistischen Auswertung verschiedener Eingangsgrößen basiert.

8. Fahrerassistenzsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die drei Detektionseinrichtungen (**101**, **102**, **103**) zu einer ESP-Sensorik des Fahrzeugs gehören.

9. Fahrerassistenzsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kombination im Datenfusionsmodul (**107**) auf Basis einer Mittelwertbildung der Schätzwerte erfolgt.

10. Fahrerassistenzsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Kombination im Datenfusionsmodul (**107**) auf Basis einer Fuzzy-Logik erfolgt.

11. Fahrerassistenzsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die erste Detektionseinrichtung (**101**) als Raddrehzahlsensor ausgeführt ist;
wobei die Analyse der Drehschwingung des Rads auf Basis eines Modells der Drehschwingung erfolgt.

12. Fahrzeug mit einem Fahrerassistenzsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11.

13. Verfahren zur Assistenz eines Fahrers eines Fahrzeugs, das Verfahren aufweisend die Schritte:
Analyse einer Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs;
Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwerts auf Basis der Analyse;
Kombination des ersten Schätzwertes mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt;
Adaption eines Fahrerassistenzsystems auf Basis der Klassifizierung.

14. Programmelement, das, wenn es auf einem Prozessor ausgeführt wird, den Prozessor anleitet, die folgenden Schritte durchzuführen:
Analyse einer Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs;
Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwerts auf Basis der Analyse;
Kombination des ersten Schätzwertes mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt;
Adaption eines Fahrerassistenzsystems auf Basis der Klassifizierung.

15. Computerlesbares Medium, auf dem ein Programmelement gespeichert ist, das, wenn es auf einem Prozessor ausgeführt wird, den Prozessor anleitet, die folgenden Schritte durchzuführen:
Analyse einer Drehschwingung eines Rads des Fahrzeugs;
Erzeugung eines ersten Schätzwertes eines Reibbeiwerts auf Basis der Analyse;
Kombination des ersten Schätzwertes mit einem zweiten Schätzwert des Reibbeiwertes, wodurch eine Klassifizierung des Reibbeiwertes erfolgt;
Adaption eines Fahrerassistenzsystems auf Basis der Klassifizierung.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

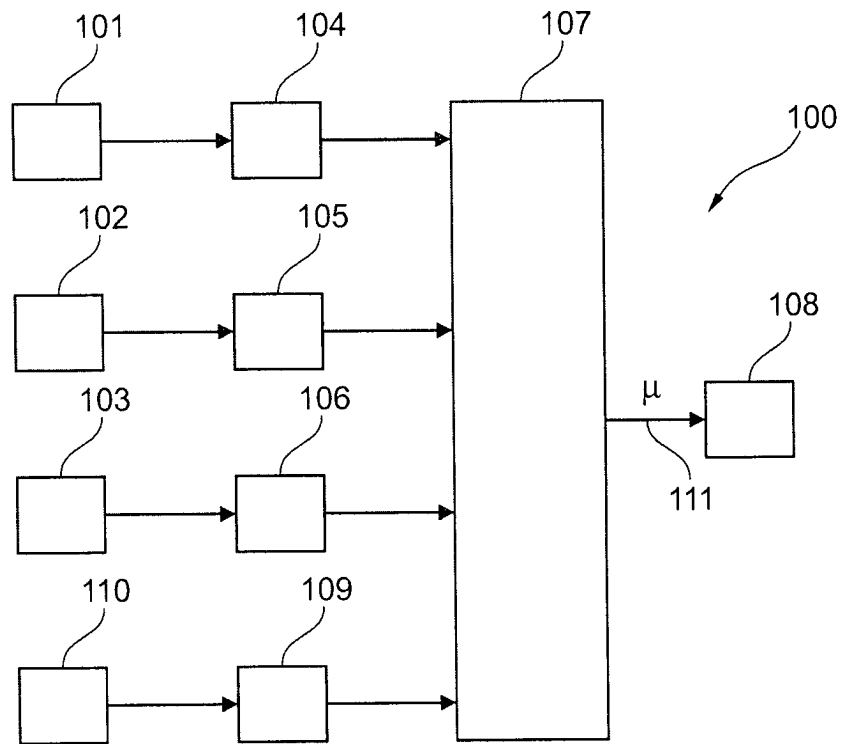


Fig. 1

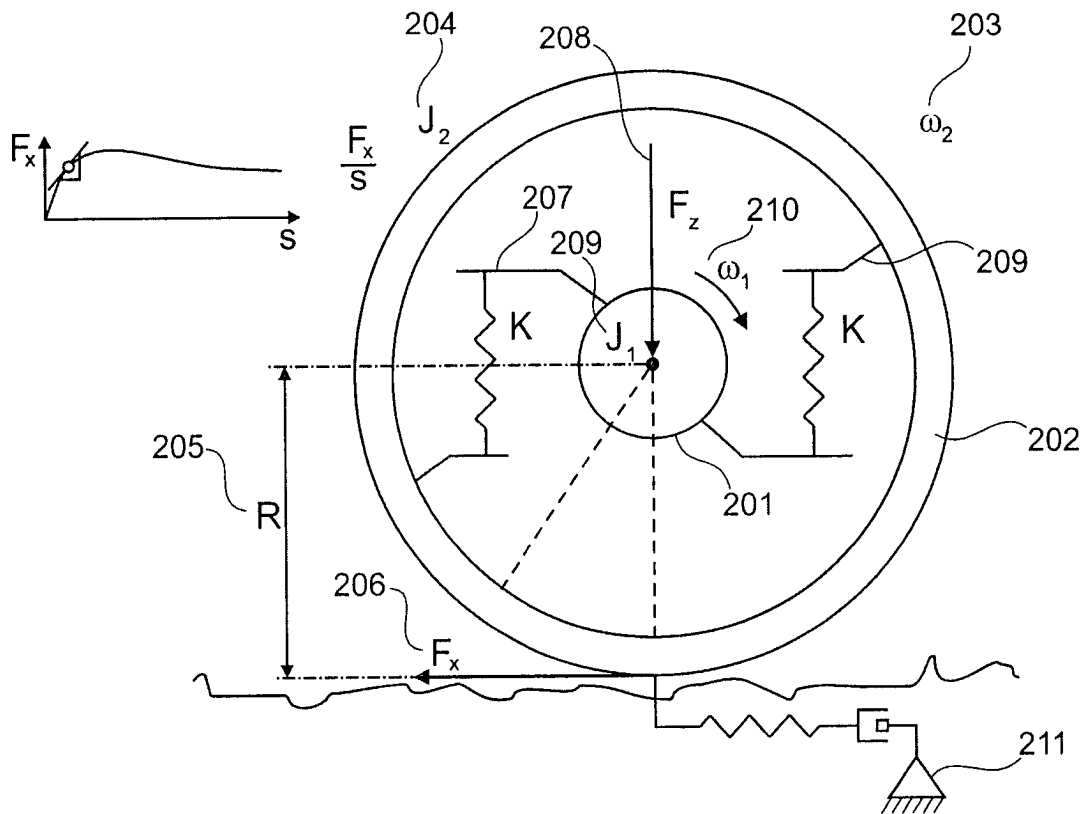


Fig. 2

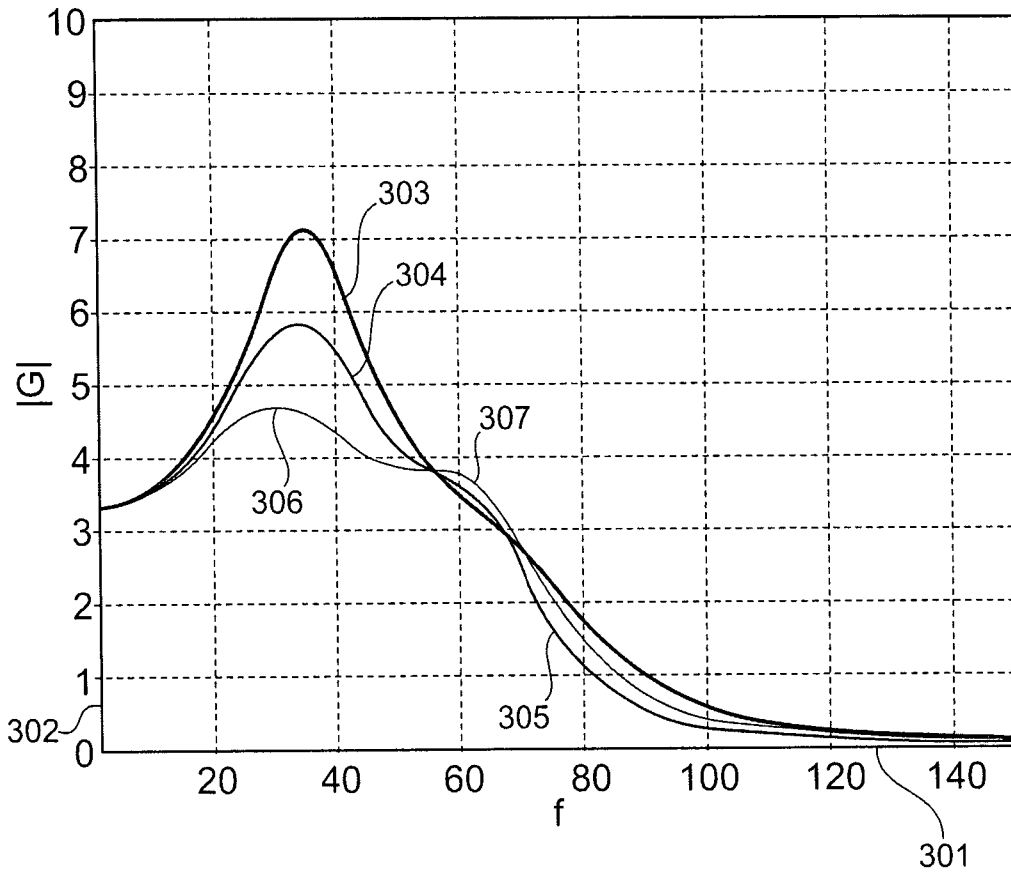


Fig. 3

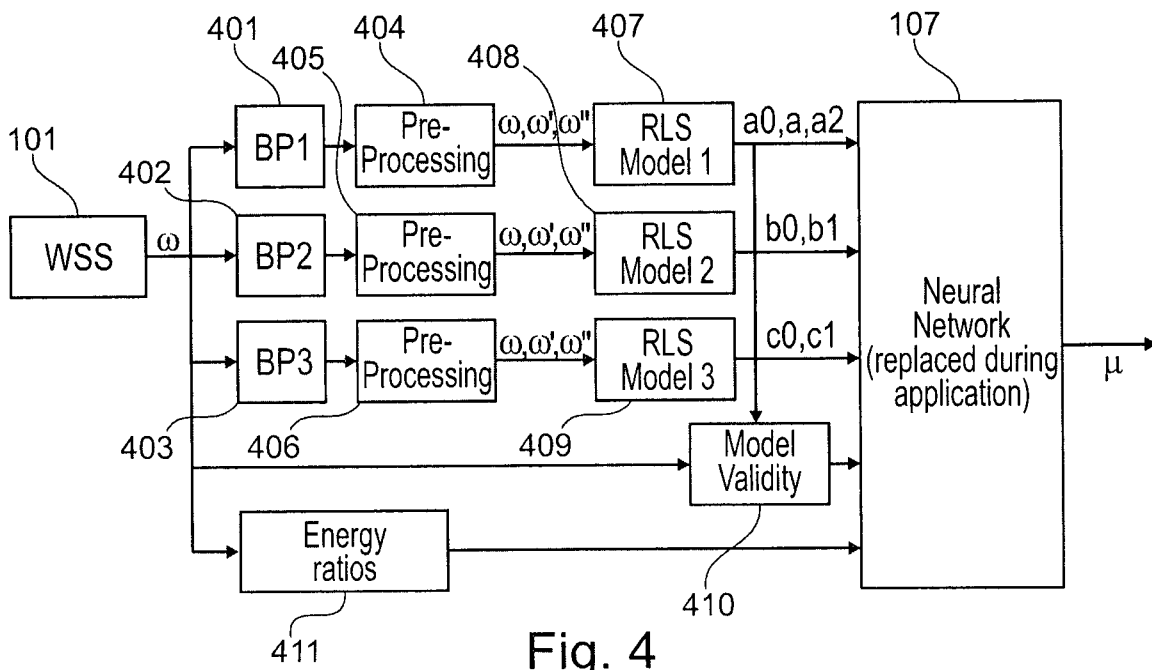


Fig. 4

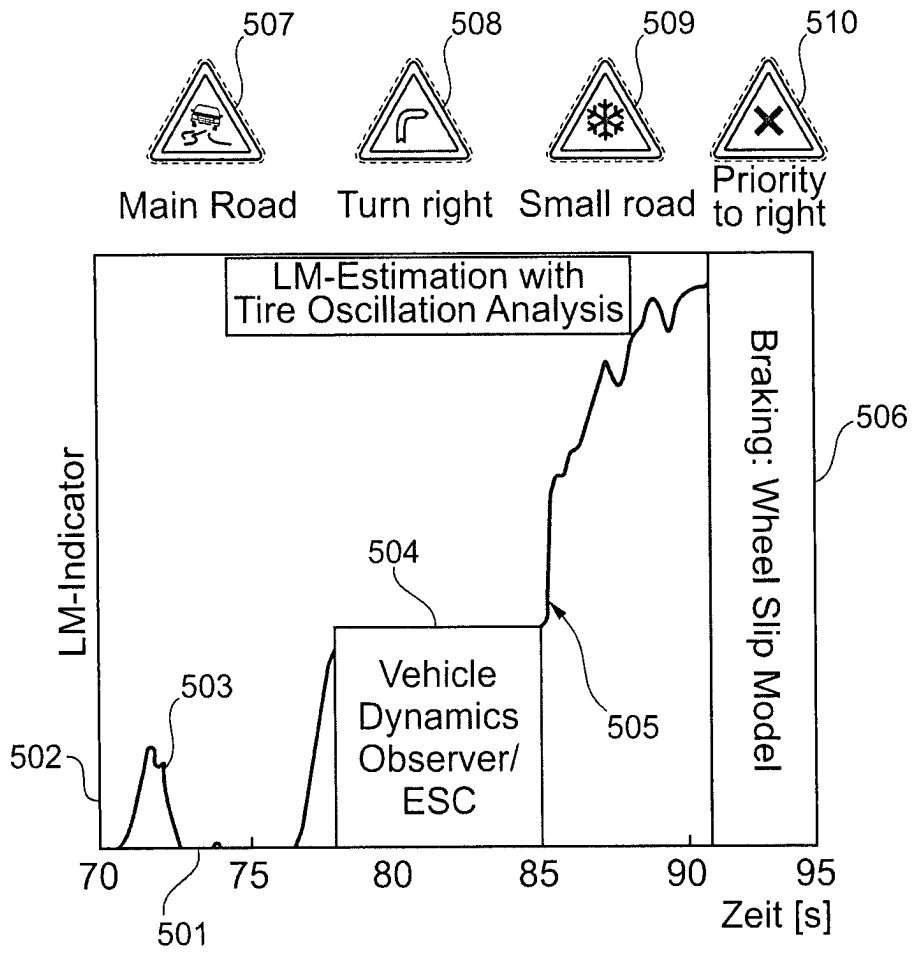


Fig. 5

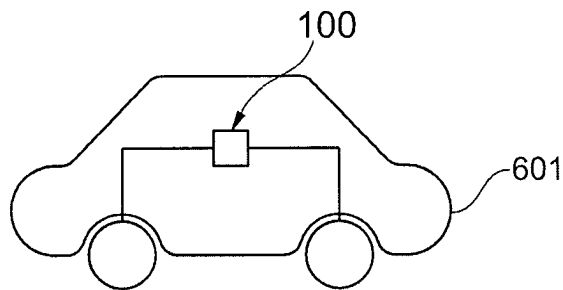


Fig. 6

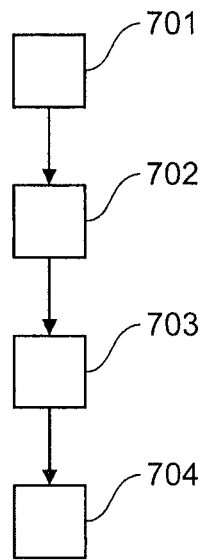


Fig. 7

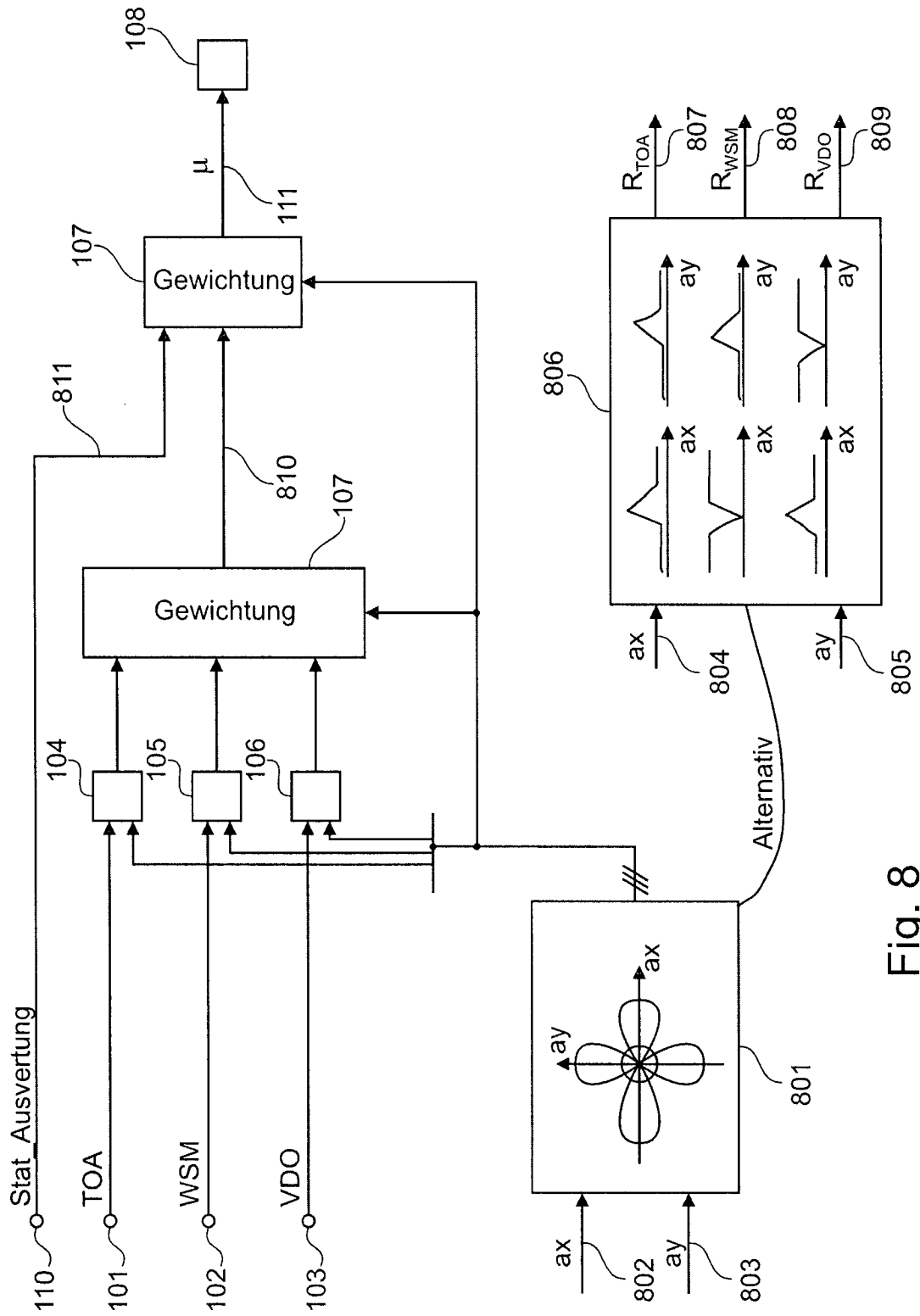


Fig. 8