(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 22 179 B4** 2004.12.09

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **195 22 179.6**
(22) Anmeldetag: **19.06.1995**
(43) Offenlegungstag: **21.12.1995**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **09.12.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G01M 17/00**
B62D 6/00
// B62D 101:00,113:00,151:00,111:00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
P 137570/94 20.06.1994 JP

(71) Patentinhaber:
Toyota Jidosha K.K., Toyota, Aichi, JP

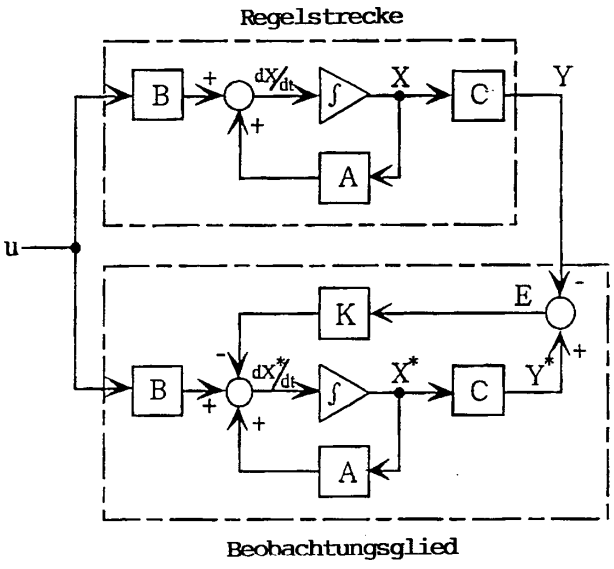
(74) Vertreter:
Tiedtke, Bühling, Kinne & Partner GbR, 80336 München

(72) Erfinder:
Hirano, Yutaka, Susono, Shizuoka, JP

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 36 42 049 C2
DE 36 08 420 C2
DE 42 26 749 A1
DE 42 16 301 A1
DE 41 14 165 A1
DE 40 31 304 A1
DE 39 12 045 A1
DE 37 34 477 A1
DE 691 31 595 T2
JP 02-0 45 802 A

(54) Bezeichnung: **Bewegungszustandsabschätzungsverfahren bei radgetriebenen Kraftfahrzeugen**

(57) Hauptanspruch: Bewegungszustandsabschätzungsverfahren, bei dem ein Bewegungszustandsmodell eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs mit Lenkwinkeldaten als einem Referenzeingangssignal zum Verändern eines Koeffizienten und einer Rückkopplungsverstärkung von Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs in Übereinstimmung mit einer Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs beaufschlagt wird, und bei dem ein auf das Bewegungszustandsmodell bezogenes Beobachtungsglied mit zumindest einer von beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs als einem Referenzeingangssignal beaufschlagt wird, um zumindest eine von unbeobachteten Bewegungszustandsvariablen beruhend auf einer Zustandsgleichung des Beobachtungsglieds abzuschätzen, wobei das Abschätzungsverfahren die Schritte umfaßt:
Erfassen der Lenkwinkeldaten, Fahrgeschwindigkeit und zumindest einer der beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs;
Umwandeln der Zustandsgleichung des Beobachtungsglieds mittels bilinearer Transformation oder Justin-Transformation in eine diskrete Gleichung, wobei die erfaßten Lenkwinkeldaten, Fahrgeschwindigkeit und beobachtbare Bewegungszustandsvariablen verwendet werden; und
aufeinanderfolgendes Berechnen der umgewandelten diskreten Gleichung, um zumindest eine von unbeobachteten Bewegungszustandsvariablen abzuschätzen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren bei einem radgetriebenen Kraftfahrzeug zum Abschätzen von Bewegungszustandsvariablen wie beispielsweise einem lateralen Winkelbetrag des Schlupfes bzw. Schlupf bzw. Schlupfwinkel, einer Gierrate, einer lateralen Beschleunigung bzw. Querbeschleunigung u.s.w. des Kraftfahrzeugs beim Wenden bzw. Umfahren einer Kurve, und insbesondere auf ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren, bei dem einem auf ein Bewegungszustandsmodell eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs bezogenen Beobachtungsglied zumindest eine von beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs als ein Referenzeingangssignal zugeführt wird, um unbeobachtete Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs abzuschätzen.

Stand der Technik

[0002] In der japanischen Patentoffenlegungsschrift Nr. 02045802, ist ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren offenbart, bei dem an ein Bewegungszustandsmodell eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs Lenkwinkeldaten als ein Referenzeingangssignal zum Verändern eines Koeffizienten und einer Rückkopplungsverstärkung von Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs in Übereinstimmung mit einer Fahrtgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs angelegt werden, und bei dem an ein auf das Bewegungszustandsmodell bezogenes Beobachtungsglied Gierwinkelbeschleunigungsdaten als ein Referenzeingangssignal angelegt werden, um beruhend auf einer Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes eine Gierrate und eine Querbeschleunigung abzuschätzen.

[0003] Bei einem derartigen herkömmlichen Bewegungszustandsabschätzungsverfahren ist die Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes nicht diskret dargestellt. Als ein Ergebnis wird ein Fehler in dem abgeschätzten Wert akkumuliert, wenn die Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs aufeinanderfolgend mittels einer Berechnungseinrichtung, beispielsweise einem Mikrocomputer, berechnet werden. Demzufolge konvergiert eine Abweichung des abgeschätzten Wertes und der erfaßten Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs nicht auf "0". Zusätzlich sind im Ausgangssignal eines Sensors zur Erfassung der Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs unvermeidbar Rauschen bzw. Störsignale und Driftkomponenten enthalten. Aus den vorstehend genannten Gründen kann eine genaue Abschätzung der Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs nicht realisiert werden.

Aufgabenstellung

[0004] Es ist daher eine vorrangige Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Bewegungszustandsabschätzungsverfahren zu schaffen, mit dem es möglich ist, konstant bbzw. ständig eine genaue Abschätzung von Bewegungszustandsvariablen eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs zu realisieren bzw. zu erhalten.

[0005] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst, indem ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren geschaffen wird, bei dem eine Zustandsgleichung eines Beobachtungsgliedes mittels bilinearer Transformation in eine diskrete Gleichung umgewandelt wird und sukzessiv bzw. aufeinanderfolgend berechnet wird, um unbeobachtete Bewegungszustandsvariablen auf der Grundlage von als einem Referenzeingangssignal angelegten bzw. zugeführten beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen abzuschätzen bzw. zu berechnen.

[0006] Bei einem derartigen Bewegungszustandsabschätzungsverfahren dient die sukzessive bzw. aufeinanderfolgende Berechnung der umgewandelten bzw. konvertierten diskreten Gleichung dazu, die Akkumulation bzw. Anhäufung bzw. Ansammlung eines Fehlers in dem abgeschätzten bzw. berechneten Wert zu vermeiden, so daß eine Abweichung des geschätzten Wertes und der erfaßten Bewegungszustandsvariablen konstant gegen "0" konvergiert.

[0007] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren geschaffen, bei dem ein Bewegungszustandsmodell des Kraftfahrzeugs ein Filter zum Beseitigen eines Fehlers in Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs enthält, die diesem als ein Referenzeingangssignal zugeführt werden, und bei dem eine Zustandsgleichung eines auf das Bewegungszustandsmodell bezogenen Beobachtungsgliedes mit einer Charakteristik des Filters beaufschlagt ist.

[0008] Bei einem wie vorhergehend beschriebenen Bewegungszustandsabschätzungsverfahren ist die Anwendung bzw. Auferlegung der Charakteristik des. Filters bzw. des Filterübertragungsverhaltens auf die Zustandsgleichung hilfreich, um eine genaue Abschätzung bzw. Berechnung der Bewegungszustandsvariablen

zu erzielen, ungeachtet von Störsignalen bzw. Rauschen und Driftkomponenten, die in den erfaßten Bewegungszustandsvariablen enthalten sind.

[0009] Als weiteren Stand der Technik sei noch auf die DE 40 31 304 A1 verwiesen. Dort wird ein Bewegungszustandsmodel eines Fahrzeugs umgekehrt zum vorstehend beschriebenen Erfindungsgegenstand aufgelöst nämlich mit Bezug auf lediglich die Fahrzeugseitengeschwindigkeit Vy basierend auf der Gleichung $Vy = Vx \cdot \beta$.

[0010] Falls ein Beobachtungsglied entsprechend jenem gemäß der Erfindung bei dem Abschätzungsverfahren gemäß der DE 40 31 304 A1 verwendet werden würde, würde eine Zustandsgleichung des Beobachtungsglieds gerade nicht in eine diskrete Gleichung konvertiert werden, wie dies beim Erfindungsgegenstand der Fall ist.

[0011] Schließlich wird in der DE 691 31 595 A1 allgemein offenbart, eine bilineare Transformation zur Berechnung eines Algorithmus in eine diskrete Form durchzuführen. Jedoch ist aus der DE 691 31 595 A1 nicht bekannt, die bi-lineare Transformation oder „Tustin"-Transformation einzusetzen, um die erfidungsgemäßen Koeffizienten A, B sowie den Rückkopplungsverstärkungsfaktor K in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs zu verändern.

Ausführungsbeispiel

[0012] Andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden ausführlichen Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele derselben in Verbindung mit der beigefügten Zeichnung ersichtlich. Es zeigen:

[0013] **Fig.** 1 ein Blockschaltbild eines Bewegungszustandsmodells eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs und eines darauf bezogenen bzw. diesem zugeordneten Identitärts-Beobachtungsglieds;

[0014] **Fig.** 2 ein Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Bewegungszustandsabschätzungsgeräts für ein radgetriebenes Kraftfahrzeug;

[0015] **Fig.** 3 ein Flußdiagramm eines Programms, das von einem in **Fig.** 2 dargestellten Mikrocomputer ausgeführt wird;

[0016] **Fig.** 4 ein Blockschaltbild eines modifizierten Modells, bei dem das Beobachtungsglied aus **Fig.** 1 frequenzkorrigiert ist;

[0017] **Fig.** 5 ein Ersatzblockschaltbild des in **Fig.** 4 dargestellten modifizierten Modells; und

[0018] **Fig.** 6 ein Flußdiagramm eines Programms, das an ein zweites Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung angepaßt ist.

[0019] Nachstehend ist zum besseren Verständnis eine grundlegende Theorie eines Bewegungszustandsabschätzungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0020] Im Fall, daß ein lateraler Schlupfwinkel β und eine Gierrate γ eines durch eine Fahrtgeschwindigkeit V, einen Vorderradlenkwinkel δf und einen Hinterradlenkwinkel δr bestimmten radgetriebenen Kraftfahrzeugs als Bewegungszustandsvariable des Kraftfahrzeugs abgeschätzt werden, werden der laterale Schlupfwinkel β, die Gierrate γ, die Fahrtgeschwindigkeit V und Lenkwinkel δf, δr durch die folgenden Bewegungsgleichungen wiedergegeben.

$$dX/dt = AX + BU \qquad \ldots.(1)$$

$$X = \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} \qquad \ldots.(2)$$

$$U = \begin{bmatrix} \delta f \\ \delta r \end{bmatrix} \qquad \ldots.(3)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_f + c_r}{MV} & -1 - \frac{a_f c_f - a_r c_r}{MV^2} \\ -\frac{a_f c_f - a_r c_r}{I_z} & -\frac{a_f^2 c_f + a_r^2 c_r}{I_z V} \end{bmatrix} \qquad \ldots.(4)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_f}{MV} & \frac{c_r}{MV} \\ \frac{a_f c_f}{I_z} & -\frac{a_r c_r}{I_z} \end{bmatrix} \qquad \ldots.(5)$$

[0021] In den Gleichungen (4) und (5) bezeichnet M das Gewicht bzw. die Masse des Kraftfahrzeugs, I_z ein Trägheits-Giermoment des Kraftfahrzeugs, a_f einen horizontalen Abstand von dem Schwerpunkt des Kraftfahrzeugs zu einer Vorderradachse, a_r einen horizontalen Abstand von dem Schwerpunkt des Kraftfahrzeugs zu einer Hinterradachse, c_f eine Seitenführungskraft bzw. Seitenführungsleistung von Vorderrädern und c_r eine Seitenführungsleistung von Hinterrädern. Diese Werte werden jeder als ein fester Wert bei dem radgetriebenen Kraftfahrzeug verarbeitet.

[0022] In diesem Fall kann die Gierrate γ der Bewegungszustandsvariablen mittels eines Winkelgeschwindigkeitssensors erfaßt werden. Für den Fall, daß jede mittlere Geschwindigkeit ω_l, ω_r der linken und rechten Räder erfaßt wird, kann die Gierrate γ mittels der folgenden Gleichungen berechnet werden.

$$\omega_{rl} = \omega_l - \omega_r \qquad (6)$$

$$\gamma = \omega_{rl}/Tr \qquad (7)$$

wobei "Tr" eine Spurweite des Kraftfahrzeugs wiedergibt.

[0023] Da eine Messung des lateralen Schlupfwinkels β schwierig ist, wird der laterale Schlupfwinkel β als eine unbeobachtete Bewegungszustandsvariable betrachtet. Im Fall, daß an ein Beobachtungsglied die Gierrate γ als ein Referenzeingangssignal zum Abschätzen bzw. Berechnen des lateralen Schlupfwinkels β angelegt wird, ist demzufolge eine Ausgangsgleichung des Bewegungszustandsmodells durch die folgenden Gleichungen (8) und (9) repräsentiert.

$$Y = CX \tag{8}$$

$$C = [0\ 1] \tag{9}$$

[0024] Im Fall, daß ein Identitäts-Beobachtungsglied mit Bezug auf das Bewegungszustandsmodell (Regelstrecke) des Kraftfahrzeugs, das durch die Gleichungen (1) bis (5) und (8), (9) wiedergegeben ist, erstellt bzw. zusammengesetzt wird, ist das gesamte Modell wie in **Fig.** 1 gezeigt dargestellt. In diesem Fall ist die Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes wie nachstehend beschrieben wiedergegeben.

[0025]

$$dX^*/dt = (A - KC)X^* + KY + BU = AX^* + BU - KC(X^* - X) \tag{10}$$

wobei X* ein geschätzter bzw. berechneter Wert von X ist, dX*/dt ist ein differenzierter Wert des geschätzten Wertes ist, und K eine Rückkopplungsverstärkung des Beobachtungsglieds ist. Unter der Annahme, daß ein Pol von "A – KC" durch p_1, p_2 wiedergegeben ist (vorbestimmte negative Konstante) konvergiert X* zu bzw. auf X. In dem Fall, daß der Pol von "A – KC" durch p_1, p_2 wiedergegeben ist und daß ein Laplace Operator durch "s" wiedergegeben ist, ist die Rückkopplungsverstärkung K durch die folgenden Gleichungen dargestellt.

$$|sI - (A - KC)| = (s - p_1)(s - p_2) \quad \ldots.(11)$$

$$K = \begin{bmatrix} -\{a_{11}(-a_{11} + p_1 + p_2) - p_1p_2 - a_{21}a_{12}\}/a_{21} \\ a_{11} + a_{22} - (p_1 + p_2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \quad \ldots.(12)$$

[0026] Da die Elemente "$a_{11} – a_{22}$, "$b_{11} – b_{22}$" der vorhergehenden Koeffizienten A, B jeweils eine Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit V sind, wie in den Gleichungen (4) und (5) definiert, wird die Rückkopplungsverstärkung K eine Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit V. Somit kann ein Beobachtungsglied, dessen Pol durch p1, p2 definiert ist, ohne von der Fahrzeuggeschwindigkeit V abhängig zu sein, zusammengesetzt sein bzw. erstellt werden.

[0027] Bei einer praktischen Berechnung ist es notwendig, die Gleichung (10) zu diskretisieren. Unter der Annahme, daß eine Steuerperiode oder Berechnungszyklus durch "T" wiedergegeben ist, ist ein diskretes System, das der Gleichung (1) entspricht wie nachstehend beschrieben darstellbar.

$$X[n + 1] = A_dX[n] + B_dU[n + 1] \tag{13}$$

[0028] Vorausgesetzt, daß die Koeffizienten A_d, B_d jeweils durch die folgenden Gleichungen wiedergegeben sind.

$$A_d = e^{AT} \quad \ldots.(14)$$

$$B_d = \left(\int_0^T e^{AT}dt\right)B \quad \ldots.(15)$$

[0029] Wenn die Gleichung (13) auf die Gleichung (10) angewendet wird, ist die Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes durch die folgende Gleichung wiedergegeben.

$$X^*[n + 1] = E_dX^*[n] + K_dY[n + 1] + F_dU[n + 1] \tag{16}$$

[0030] Vorausgesetzt, daß die Koeffizienten E_d, K_d, F_d wie nachstehend beschrieben dargestellt sind.

$$E_d = e^{(A - KC)T} \qquad \ldots.(17)$$

$$K_d = \left(\int_0^T e^{(A - KC)t}dt\right)K \qquad \ldots.(18)$$

$$F_d = \left(\int_0^T e^{(A - KC)t}dt\right)B \qquad \ldots.(19)$$

[0031] Bei der Umwandlung in das diskrete System verändern sich jeweils "A – KC", "K", "B" in den vorhergehenden Gleichungen (16) bis (19) als Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit V entsprechend der vergangenen Zeit. Es ist deshalb erforderlich, eine bilineare Transformation oder Tustin Transformation zur Umwandlung in das diskrete System einzuführen. Bei der bilinearen Transformation ist ein Laplace-Operator "s" durch die folgende Gleichung dargestellt.

$$s = \frac{2(z - 1)}{T(z + 1)} \qquad \ldots.(20)$$

wobei "z" ein Verzögerungsoperator ist, und "$z^{-d}X[n]$" entspricht "X[n – d]".

[0032] Somit kann die Gleichung (10) unter Verwendung des Laplace-Operators "s" wie nachstehend beschrieben neu geschrieben werden.

$$s\beta^* = a_{11}\beta^* + (a_{11} - k_1)\gamma^* + k_1\gamma + b_{11}\delta_f + b_{12}\delta_r \qquad (21)$$

$$s\gamma^* = a_{21}\beta^* + (a_{22} - k_2)\gamma^* + k_2\gamma + b_{21}\delta_f + b_{22}\delta_r \qquad (22)$$

[0033] Wenn die obige Gleichung (20) in die Gleichungen (21) und (22) eingesetzt wird und erweitert wird, wird die folgende Gleichung erhalten.

$$\begin{bmatrix} z\beta^* \\ z\gamma^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 - Ta_{11} & -T(a_{12} - k_1) \\ -Ta_{21} & 2 - T(a_{22} - k_2) \end{bmatrix}^{-1} \left\{ \begin{bmatrix} 2 + Ta_{11} & T(a_{12} - k_1) \\ Ta_{21} & 2 + T(a_{22} - k_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta^* \\ \gamma^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T(z + 1)(k_1\gamma + b_{11}\delta_f + b_{12}\delta_r) \\ T(z + 1)(k_2\gamma + b_{21}\delta_r + b_{22}\delta_r) \end{bmatrix} \right\} \qquad \ldots.(23)$$

[0034] Wenn jeder Koeffizient der Gleichung (23) als eine Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit V unter Verwendung der Gleichungen (4) und (5) erweitert wird, wird die folgende Gleichung erhalten.

$$\begin{bmatrix} z\beta^* \\ z\gamma^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta^* \\ \gamma^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(z + 1)(k_1\gamma + b_{11}\delta_f + b_{12}\delta_r) \\ T(z + 1)(k_2\gamma + b_{21}\delta_f + b_{22}\delta_r) \end{bmatrix} \qquad \ldots.(24)$$

[0035] In Gleichung (24) sind "$g_{11} – g_{22}$" und "$h_{11} – h_{22}$" wie nachstehend beschrieben dargestellt bzw. bestimmt.

$$g_{11} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \left\{ 4 - 2(p_1+p_2)T - p_1p_2T^2 - \frac{4(c_f + c_r)T}{MV} \right\} \quad \ldots.(25)$$

$$g_{12} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \frac{4I_zT}{a_fc_f - a_rc_r} \cdot \left\{ p_1p_2 + \frac{(c_f + c_r)(p_1 + p_2)}{MV} + \frac{(c_f + c_r)^2}{M^2V^2} \right\} \quad \ldots.(26)$$

$$g_{21} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \frac{-4(a_fc_f - a_rc_r)T}{I_z} \quad \ldots.(27)$$

$$g_{22} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + P_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \left\{ 4 + 2(p_1+p_2)T - p_1p_2T^2 + \frac{4(c_f + c_r)T}{MV} \right\} \quad \ldots.(28)$$

$$h_{11} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \left\{ 2 - \left(p_1 + p_2 + \frac{c_f + c_r}{MV} \right) T \right\} \quad \ldots.(29)$$

$$h_{12} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \frac{I_zT}{a_fc_f - a_rc_r} \cdot \left\{ p_1p_2 + \frac{(c_f + c_r)(p_1 + p_2)}{MV} + \frac{(c_f + c_r)^2}{M^2V^2} \right\} \quad \ldots.(30)$$

$$h_{21} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1p_2T^2} \cdot \frac{-(a_fc_f - a_rc_r)T}{I_z} \quad \ldots.(31)$$

$$h_{22} = \frac{1}{4 - 2(p_1 + p_2)T + p_1 p_2 T^2} \cdot \left\{ 2 + \frac{(cf + cr)T}{MV} \right\} \quad \ldots (32)$$

[0036] Wenn die Gleichung (24) in einem diskreten System neu geschrieben wird bzw. als diskrete Gleichung dargestellt wird, wird die folgende Gleichung erhalten.

$$\begin{bmatrix} \beta^*[n+1] \\ \gamma^*[n+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}[n+1] & g_{12}[n+1] \\ g_{21}[n+1] & g_{22}[n+1] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta^*[n] \\ \gamma^*[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{11}[n+1] & h_{12}[n+1] \\ h_{21}[n+1] & h_{22}[n+1] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad \ldots (33)$$

[0037] Vorausgesetzt, daß "d_1", "d_2" in Gleichung (33) durch die folgenden Gleichungen dargestellt sind.

$$d_1 = T(k_1[n+1]\gamma[in+1] + b_{11}[n+1]\delta_f[n+1] + b_{12}[n+1]\delta_r[n+1] + k_1[n]\gamma[n] + b_{11}[n]\delta_f[n] + b_{12}[n]\delta_r[n]) \quad (34)$$

$$d_2 = T(k_2[n+1]\gamma[n+1] + b_{21}[n+1]\delta_f[n+1] + b_{22}[n+1]\delta_r[n+1] + k_2[n]\gamma[n] + b_{21}[n]\delta_f[n] + b_{22}[n]\delta_r[n]) \quad (35)$$

[0038] Wenn die Gleichung (33) sukzessiv auf einer Grundlage der Gleichungen (25)–(32), (34) und (35) berechnet wird, kann eine Gierrate γ* und ein lateraler Schlupfwinkel β als Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs berechnet bzw. abgeschätzt werden.

[0039] Nachstehend ist ein erstes Ausführungsbeispiel als Bewegungszustandsabschätzungsgerät zum Abschätzen bzw. Berechnen eines lateralen Schlupfwinkels β* und einer Gierrate γ* eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs auf einer Grundlage der vorhergehenden Abschätzungstheorie beschrieben. Wie in **Fig.** 2 gezeigt, enthält das Bewegungszustandsabschätzungsgerät einen Mikrocomputer **15**, der mit einem Fahrzeuggeschwindigkeitssensor **11**, einem Vorderradlenkwinkelsensor **12**, einem Hinterradlenkwinkelsensor **13** und einem Gierratensensor **14** verbunden ist, um den lateralen Schlupfwinkel β* und die Gierrate γ* für verschiedene Steuerungen bzw. Steuervorgänge des Kraftfahrzeugs zu berechnen. Der Fahrzeuggeschwindigkeitssensor **11** ist angeordnet, um eine Fahrtgeschwindigkeit V des Kraftfahrzeugs zum Erzeugen eines die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit V anzeigenden elektrischen Signals zu erfassen, und der Vorderradlenkwinkelsensor **12** ist angeordnet, um einen Vorderradlenkwinkel δf zum Erzeugen eines den Vorderradlenkwinkel δf anzeigendes elektrisches Signal zu erfassen. Der Hinterradlenkwinkelsensor **13** ist angeordnet, um einen Hinterradlenkwinkel δr zum Erzeugen eines den Hinterradlenkwinkel δr anzeigendes elektrisches Signal zu erfassen, und der Gierratensensor **14** ist angeordnet, um eine Gierrate γ des Kraftfahrzeugs zum Erzeugen eines die Gierrate γ anzeigenden elektrischen Signals zu erfassen. Der Mikrocomputer **15** ist programmiert, um die Ausführung eines in dem Flußdiagramm in **Fig.** 3 gezeigten Programms jeweils nach dem Verstreichen einer vorbestimmten Zeit T zu wiederholen, die identisch mit der vorhergehend beschriebenen Steuerperiode oder dem Berechnungszyklus ist.

[0040] In Funktion startet der Computer **15** bei Schritt **20**, um das in **Fig.** 3 gezeigte Programm auszuführen. Bei Schritt **22** liest der Computer **15** von den Sensoren **11**, **12**, **13** und **14** elektrische Signale aus, die jeweils eine Kraftfahrzeuggeschwindigkeit V, einen Vorderradlenkwinkel δf, einen Hinterradlenkwinkel δr und eine Gierrate γ anzeigen. Darauffolgend erneuert der Computer **15** bei Schritt **24** vorherige Daten $\delta_f[n]$, $\delta_r[n]$, $\gamma[n]$, die jeweils vorherige Lenkwinkel δ_f, δ_r und Gierrate γ anzeigen, zu derzeitigen Daten $\delta_f[n+1]$, $\delta_r[n+1]$, $y[n+1]$, die jeweils momentane Lenkwinkel δ_f, δ_r und die Gierrate γ anzeigen, und erneuert bei Schritt **26** die derzeitigen Daten $\delta_f[n+1]$, $\delta_r[n+1]$, $\gamma[n+1]$ als die ausgelesenen Daten δ_f, δ_r und γ.

[0041] Mach dem Abarbeiten von Schritt **26** berechnet der Computer **15** bei Schritt **28**, beruhend auf den Gleichungen (4) und (5), den Koeffizienten A (a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}) und B (b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}) des in **Fig.** 1 dargestellten Modells. In dieser Instanz wird die Fahrzeuggeschwindigkeit V durch die Verarbeitung bei Schritt **22** erfaßt, aber andere Parameter M, I_z, a_f, a_r, c_f, c_r sind vorläufig als jeweils konstant bestimmt, entsprechend dem Typ

des Kraftfahrzeugs. Bei dem folgenden Schritt **30** berechnet der Computer **15** Rückkopplungsverstärkungsfaktoren bzw. Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2, beruhend auf der Gleichung (12) unter Verwendung von Polen p_1, p_2 und der berechneten Koeffizienten A (a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}). Darauffolgend erneuert der Computer **15** bei Schritt **32** die vorherigen Koeffizienten $b_{11}[n] – b_{22}[n]$ und Rückkopplungsverstärkungen $k_1[n]$, $k_2[n]$, die jeweils vorherige Koeffizienten B (b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}) und vorherige Rückkopplungsverstärkungen k1, k2 anzeigt, als die derzeitigen Koeffizienten $b_{11}[n + 1] – b_{22}[n + 1]$ und Rückkopplungsverstärkungen $k_1[n + 1]$, $k_2[n + 1]$, die jeweils die momentanen Koeffizienten B (b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}) und momentane Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2 anzeigen. Bei dem folgenden Schritt **34** erneuert der Computer **15** die derzeitigen Koeffizienten $b_{11}[n + 1] – b_{22}[n + 1]$ und Rückkopplungsverstärkungen k1[n + 1], k2[n + 1] als die berechneten Koeffizienten $b_{11} – b_{22}$ und Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2.

[0042] Nach dem Abarbeiten von Schritt **34** berechnet der Computer **15** bei Schritt **36** Koeffizienten $g_{11} – g_{22}$, $h_{11} – h_{22}$ durch Ausführen der Gleichungen (25) – (32) unter Verwendung der Pole p_1, p_2, der Berechnungsperiode T, Parametern M, I_z, a_f, a_r, c_f, c_r und der erfaßten Kraftfahrzeuggeschwindigkeit V. Danach erneuert der Computer **15** bei Schritt **38** einen zuvor abgeschätzten bzw. berechneten lateralen Schlupfwinkel β*[n] und eine Gierrate γ*[n], die einen vor der Zeit T abgeschätzten bzw. berechneten vorherigen lateralen Schlupfwinkel β* und eine Gierrate γ* anzeigen, als derzeit abgeschätzten lateralen Schlupfwinkel β*[n + 1] und Gierrate γ*[n + 1], die durch Verarbeitung bei Schritt **42** vor der Zeit T berechnet wurden. Darauffolgend berechnet der Computer **15** bei Schritt **40** Werte d_1, d_2 durch Ausführen der Gleichungen (34) (35) unter Verwendung der vorherigen Daten $b_{11}[n] – b_{22}[n]$, $k_1[n]$, $k_2[n]$, $\delta_f[n]$, $\delta_r[n]$, γ[n] und der derzeitigen Daten $b_{11}[n + 1] – b_{22}[n + 1]$, $k_1[n + 1]$, $k_2[n + 1]$, $\delta_f[n + 1]$, $\delta_r[n + 1]$, γ[n + 1]. Bei dem folgenden Schritt **42** berechnet der Computer **15** den derzeit abgeschätzten bzw. berechneten lateralen Schlupfwinkel β*[n + 1] und die Gierrate γ*[n + 1] durch Ausführen der Gleichung (33) unter Verwendung des zuvor abgeschätzten bzw. berechneten lateralen Schlupfwinkels β*[n] und der Gierrate γ*[n] sowie der berechneten Werte d_1, d_2 und Verwenden der Koeffizienten $g_{11} – g_{22}$, $h_{11} – h_{22}$ als die derzeitigen Koeffizienten $g_{11}[n + 1] – g_{22}[n + 1]$, $h_{11}[n + 1] – h_{22}[n + 1]$. Somit beendet der Computer **15** bei Schritt **44** die Ausführung des Programms und der berechnete laterale Schlupfwinkel β*[n +1] und Gierrate γ*[n + 1] werden zur Steuerung des Bewegungszustands des Kraftfahrzeugs verwendet.

[0043] Wie aus der obigen Beschreibung deutlich wird, ist das Bewegungszustandsabschätzungsverfahren bei dem ersten Ausführungsbeispiel dadurch gekennzeichnet, daß das Bewegungszustandsmodell des Kraftfahrzeugs in der Form einer Regelstrecke vorliegt, die mit den Vorder- und Hinterradlenkwinkeldaten δ_f und δ_r beaufschlagt wird, daß das Beobachtungsglied mit der Gierrate γ als einem Referenzeingangssignal beaufschlagt ist und daß die Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes mittels bilinearer Transformation in eine diskrete Gleichung umgewandelt wird und sukzessiv berechnet wird, um den lateralen Schlupfwinkel β* und die Gierrate γ* abzuschätzen bzw. zu berechnen.

[0044] Nachfolgend ist ein zweites Ausführungsbeispiel des Bewegungszustandsabschätzungsverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung in Bezug auf **Fig.** 4 beschrieben. In diesem Ausführungsbeispiel wird eine Abweichung E des Beobachtungsgliedausgangssignals Y* und des Regelstreckenausgangssignals Y in dem Identitäts-Beobachtungsglied zu "0" konvergiert, um den abgeschätzten bzw. berechneten Wert X*, wie nachstehend beschrieben, identisch mit dem realen bzw. tatsächlichen Wert X zu machen.

$$E = Y^* – Y = C(X^* – X) = \gamma^* – \gamma \tag{36}$$

[0045] Bei tatsächlichen Ausgangsdaten der vorhergehenden Sensoren sind jedoch Störgeräusche bzw. Rauschen und Temperaturdriftkomponenten enthalten, die einen Fehler bei der Messung des Ausgangs bzw. Ausgangssignals Y der Regelstrecke bedingen. Um dieses Störsignal und die Temperaturdriftkomponenten zu beseitigen, ist es zweckmäßig, ein Filter wie beispielsweise ein Tiefpaßfilter, ein Bandpaßfilter oder ein Hochpaßfilter auf das Ausgangssignal Y der Regelstrecke anzuwenden. In dem Fall, daß das Filter auf das Ausgangssignal Y der Regelstrecke angewendet wird, wird eine Phasendifferenz zwischen dem Ausgang Y der Regelstrecke und dem Ausgang Y* des Beobachtungsglieds auftreten. Es ist daher vorzuziehen, daß das selbe Filter wie in der Regelstrecke auf den Ausgang bzw. das Ausgangssignal Y* des Beobachtungsglieds angewendet wird. In **Fig.** 4 ist ein gesamtes Modell des Kraftfahrzeugs dargestellt, bei dem das gleiche Filter F(s) jeweils auf den Ausgang Y der Regelstrecke und den Ausgang Y* des Beobachtungsglieds angewendet wird. In dem Fall, daß ein Filter F(s) in dem Beobachtungsglied vorgesehen ist, ist das gesamte Modell des Kraftfahrzeugs, wie in **Fig.** 5 dargestellt, zusammengesetzt. In diesen gesamten Modellen bzw. Gesamtmodellen wird die Abweichung E in dem ersten Ausführungsbeispiel durch eine Abweichung E_f, wie durch die folgende Gleichung wiedergegeben, ersetzt.

$$E_f = F(s)Y^* – F(s)Y = F(s)(Y^* – Y) = F(s)E \tag{37}$$

[0046] Demzufolge wird nur eine wirksame Frequenzkomponente in der Ausgangssignalabweichung zur Eingangsseite zurückgeführt. In diesem Fall ist die Zustandsgleichung des in **Fig.** 5 dargestellten Beobachtungsglieds wie nachstehend beschrieben wiedergegeben.

$$dX^*/dt = AX^* + BU - KE_f \quad (38)$$

[0047] Wenn die Gleichung (38) unter Verwendung des Laplace-Operators "s" neu geschrieben bzw. umgeschrieben wird, ist sie mittels bilinearer Transformation in eine wie nachstehend beschriebene diskrete Gleichung umgewandelt.

$$\begin{bmatrix} z\beta^* \\ z\gamma^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 - Ta_{11} & -Ta_{12} \\ -Ta_{21} & 2 - Ta_{22} \end{bmatrix}^{-1}$$

$$\left\{ \begin{bmatrix} 2 + Ta_{11} & Ta_{12} \\ Ta_{21} & 2 + Ta_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta^* \\ \gamma^* \end{bmatrix} \right.$$

$$\left. + \begin{bmatrix} T(z+1)(b_{11}\delta_f + b_{12}\delta_r - k_1E_f \\ T(z+1)(b_{21}\delta_f + b_{22}\delta_r - k_2E_f \end{bmatrix} \right\}$$

....(39)

[0048] Wenn jeder Koeffizient der Gleichung (39) als Funktion der Kraftfahrzeuggeschwindigkeit V unter Verwendung der Gleichungen (4), (5) und (12) erweitert wird, ist die Gleichung (39) wie nachstehend beschrieben darstellbar.

$$\begin{bmatrix} z\beta^* \\ z\gamma^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta^* \\ \gamma^* \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T(z+1)(b_{11}\delta_f + b_{12}\delta_r - k_1E_f) \\ T(z+1)(b_{21}\delta_f + b_{22}\delta_r - k_2E_f) \end{bmatrix}$$

....(40)

[0049] In der obigen Gleichung (40) sind "$g_{11} - g_{22}$", "$h_{11} - h_{22}$" durch die folgenden Gleichungen wiedergegeben.

$$g_{11}=\frac{1}{D}\left\{4+\frac{(a_fc_f-a_rc_r)T^2}{I_z}+\frac{2\{(a_f^2c_f+a_r^2c_r)M-(c_f+c_r)I_z\}T}{MI_zV}-\frac{c_fc_r(a_f+a_r)^2T^2}{MI_zV^2}\right\} \quad \ldots.(41)$$

$$g_{12}=\frac{1}{D}\left\{-4T-\frac{4(a_fc_f-a_rc_r)T}{MV^2}\right\} \quad \ldots.(42)$$

$$g_{21}=\frac{1}{D}\left\{-\frac{4(a_fc_f-a_rc_r)T}{I_z}\right\} \quad \ldots.(43)$$

$$g_{22}=\frac{1}{D}\left\{4+\frac{(a_fc_f-a_rc_r)T^2}{I_z}-\frac{2\{(a_f^2c_f+a_r^2c_r)M-(c_f+c_r)I_z)T}{MI_zV}-\frac{c_fc_r(a_f+a_r)^2T^2}{MI_zV^2}\right\} \quad \ldots.(44)$$

$$h_{11}=\frac{1}{D}\left\{2+\frac{(a_r2c_f+a_r^2c_r)T}{I_zV}\right\} \quad \ldots.(45)$$

$$h_{12}=\frac{1}{D}\left\{\left(-1-\frac{(a_f c_f - a_r c_r)}{MV^2}\right)T\right\} \quad \ldots.(46)$$

$$h_{21}=\frac{1}{D}\cdot\frac{-(a_f c_f - a_r c_r)T}{I_z} \quad \ldots.(47)$$

$$h_{22}=\frac{1}{D}\left\{2+\frac{(c_f + c_r)T}{MV}\right\} \quad \ldots.(48)$$

[0050] Vorausgesetzt, daß "D" in den Gleichungen (41)–(48) durch die folgende Gleichung dargestellt ist.

$$D=4-\frac{(a_f c_f - a_r c_r)T^2}{I_z} + \frac{2\{(a_f^2 c_f + a_r^2 c_r)M + (c_f + c_r)I_z\}T}{MI_z V} + \frac{c_f c_r (a_f + a_r)^2 T^2}{MI_z V^2} \quad \ldots.(49)$$

[0051] Somit wird die Gleichung (40) wie nachstehend beschrieben in einem diskreten System neu geschrieben.

$$\begin{bmatrix}\beta^*[n+1]\\ \gamma^*[n+1]\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}g_{11}[n+1] & g_{12}[n+1]\\ g_{21}[n+1] & g_{22}[n+1]\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\beta^*[n]\\ \gamma^*[n]\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}h_{11}[n+1] & h_{12}[n+1]\\ h_{21}[n+1] & h_{22}[n+1]\end{bmatrix}\begin{bmatrix}d_1\\ d_2\end{bmatrix} \quad \ldots.(50)$$

[0052] In Gleichung (50) sind Werte d_1, d_2 wie nachstehend beschrieben dargestellt.

$$d_1 = T(b_{11}[n+1]\delta_f[n+1) + b_{12}[n+1)\delta_r[n+1) - k_1[n+1)E_f[n] + b_{11}[n]\delta_f[n] + b_{12}[n]\delta_r[n] - k_1[n]E_f[n-1]) \quad (51)$$

$$d_2 = T(b_{21}[n+1)\delta_f[n+1] + b_{22}[n+1]\delta_r[n+1] - k_2[n+1]E_f[n] + b_{21}[n]\delta_f[n] + b_{22}[n]\delta_r[n] - k_2[n]E_f[n-1]) \quad (52)$$

[0053] In dem Fall, daß ein Butterworth-Filter 2-ter Ordnung als das Filter F(s) verwendet wird, ist "$E_f[n]$" in den Gleichungen (51) und (52) durch die folgende Gleichung wiedergegeben,

$$E_f[n] = a_0E[n] + a_1E[n-1] + a_2E[n-2] + b_1E_f[n-1] + b_2E_f[n-2] \quad (53)$$

wobei "a_0, a_1, a_2, b_1, b_2" jeweils ein Koeffizient des Butterworth-Filters ist.

[0054] Nachstehend ist ein zweites Ausführungsbeispiel eines Bewegungszustandsabschätzungsgeräts zum Abschätzen eines lateralen Schlupfwinkels β* und einer Gierrate γ* eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs auf einer Grundlage der vorhergehenden Abschätzungstheorie bzw. Berechnungstheorie beschrieben. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird der Computer **15** programmiert, um dasselbe Programm wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel auszuführen, abgesehen von einem Teil des in **Fig.** 3 dargestellten Programms und einem durch ein Flußdiagramm in **Fig.** 6 dargestellten Programm.

[0055] In Funktion führt der Computer **15** Verarbeitungen bei Schritt **22** bis **34** wie in **Fig.** 3 gezeigt aus, um von den Sensoren **11**, **12**, **13** und **14** elektrische Signale auszulesen, die jeweils eine Fahrzeuggeschwindigkeit V, einen Vorderradlenkwinkel δ_f, einen Hinterradlenkwinkel δr und eine Gierrate γ anzeigen, um so vorherige Koeffizientendaten $b_{11}[n] - b_{22}[n]$ und vorherige Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2 zu erhalten, die jeweils vorherige Koeffizienten B (b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}) des Bewegungszustandsmodells und Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2 anzeigen, und um derzeitige Koeffizientendaten $b_{11}[n+1] - b_{22}[n+1]$ und Rückkopplungsverstärkungen $k_1[n+1]$, $k_2[n+1]$ zu erhalten, die jeweils momentane Koeffizienten B (b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}) des Modells und momentane Rückkopplungsverstärkungen k_1, k_2 anzeigen.

[0056] Wenn das Programm zu dem in **Fig.** 6 gezeigten Schritt **50** fortschreitet, berechnet der Computer **15** Koeffizienten $g_{11} - g_{22}$, $h_{11} - h_{22}$, beruhend auf der Berechnung der Gleichungen (41)–(49) unter Verwendung der Parameter M, I_z, a_f, a_r, c_f, c_r und der erfaßten Kraftfahrzeuggeschwindigkeit V. Bei dem folgenden Schritt **52** erneuert der Computer **15** den zuvor abgeschätzten bzw. berechneten lateralen Schlupfwinkel β*[n] und die Gierrate γ*[n], die den vorherigen lateralen Schlupfwinkel β* und die Gierrate γ* anzeigen, abgeschätzt bzw. berechnet vor der Zeit T, als den derzeitig abgeschätzten lateralen Schlupfwinkel β*[n + 1] und die Gierrate γ*[n + 1], die durch Verarbeitung bei Schritt **64** vor der Zeit T berechnet werden. Darauffolgend führt der Computer **15** die Verarbeitung bei Schritt **54** bis **58** aus, um die vorhergehenden Zeitserien-Abweichungsdaten E[n – 2], E[n – 1], E[n], die eine Abweichung E der abgeschätzten Gierrate γ* und der erfaßten Gierrate γ anzeigen, mit den folgenden Zeitserien-Abweichungsdaten E[n – 1], E[n], E[n + 1] zu erneuern, und um Zeitserien-Abweichungsdaten $E_f[n-2]$, $E_f[n-1]$ vor den vorhergehenden Zeitserien-Abweichungsdaten, die eine Abweichung E_f der gefilterten Gierrate γ* und der erfaßten Gierrate γ anzeigen, durch die folgenden Zeitserien-Abweichungsdaten $E_f[n-1]$, $E_f[n]$ zu erneuern.

[0057] Nach der Verarbeitung bei Schritt **58** berechnet der Computer **15** bei Schritt **60** die vorhergehenden Abweichungsdaten $E_f[n]$ durch Ausführen der Gleichung (53) unter Verwendung der Abweichungsdaten E[n], E[n – 1], E[n – 2], $E_f[n-1]$, $E_f[n-2]$ und der Koeffizienten a_0, a_1, a_2, b_1, b_2 des Butterworth-Filters. Darauffolgend berechnete der Computer **15** bei Schritt **62** Werte d_1, d_2 durch Ausführen der Gleichungen (51), (52) unter Verwendung der vorherigen Abweichungsdaten $E_f[n-1]$, der vorherigen Daten $b_{11}[n] - b_{22}[n]$, $k_1[n]$, $k_2[n]$, $\delta_f[n]$, $\delta_r[n]$, $E_f[n]$ und den derzeitigen Daten $b_{11}[n+1] - b_{22}[n+1]$, $k_1[n+1]$, $k_2[n+1]$, $\delta_f[n+1]$, $\delta_r[n+1]$. Bei dem folgenden Schritt **64** berechnet der Computer **15** den derzeit berechnetne bzw. abgeschätzten lateralen Schlupfwinkel β*[n + 1] und die Gierrate γ*[n + 1] durch Ausführen der Gleichung (50) unter Verwendung des zuvor abgeschätzten bzw. berechneten Schlupfwinkels β*[n] und der Gierrate γ*[n] und der berechneten Werte d_1, d_2 und unter Verwendung der Koeffizienten $g_{11} - g_{22}$, $h_{11} - h_{22}$ als den derzeitigen Koeffizientendaten $g_{11}(n+1] - g_{22}[n+1]$, $h_{11}[n+1] - h_{22}[n+1]$. Somit berechnet der Computer **15** bei Schritt **66** eine Differenz zwischen der abgeschätzten Gierrate γ*[n + 1] und der erfaßten Gierrate γ[n + 1] auf der Grundlage der folgenden Gleichung (54) und setzt ein Ergebnis der Berechnung als eine Abweichung E[n + 1].

$$E[n+1] = \gamma^*[n+1] - \gamma[n+1] \quad (54)$$

[0058] Nach dem Abarbeiten von Schritt **66** beendet der Computer **15** die Ausführung des Programms bei Schritt **68**. Somit werden der abgeschätzte bzw. berechnete laterale Schlupfwinkel β*[n + 1] und die Gierrate γ*[n + 1] zum Steuern des Bewegungszustands des Kraftfahrzeugs verwendet.

[0059] Wie aus der vorhergehenden Beschreibung deutlich wird, ist das Bewegungszustandsabschätzungs-

verfahren des zweiten Ausführungsbeispiels dadurch gekennzeichnet, daß ein Fehler bei der Erfassung der Gierrate γ durch das Filter korrigiert wird, um eine genaue Abschätzung bzw. Berechnung des lateralen Schlupfwinkels β* durchzuführen, selbst wenn Störsignale bzw. Rauschen und Temperaturdriftkomponenten in dem Ausgangssignal des Gierratensensors **14** enthalten sind.

[0060] Obwohl bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen der Hinterradlenkwinkel δ_r bei einem radgetriebenen Kraftfahrzeug erfaßt wurde, dessen Hinterräder lenkbar sind, wird der Hinterradlenkwinkel δ_r bei einem radgetriebenen Kraftfahrzeug, dessen Hinterräder nicht lenkbar sind, als fester Wert "0" berechnet bzw. mit diesem gerechnet. Obwohl bei den vorhergehenden Ausführungsbeispielen die Gierrate γ als ein Referenzeingangssignal erfaßt wurde, um den lateralen Schlupfwinkel β* und die Gierrate γ* als Bewegungszustandsvariable des Kraftfahrzeugs abzuschätzen bzw. zu berechnen, kann eine Quergeschwindigkeit oder Querbeschleunigung, eine Gierwinkelgeschwindigkeit oder dergleichen des Kraftfahrzeugs als die Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs abgeschätzt bzw. berechnet werden.

[0061] Ein Bewegungszustandsabschätzungsverfahren, bei dem eine Zustandsgleichung eines Beobachtungsglieds mittels bilinearer Transformation in eine diskrete Gleichung umgewandelt und aufeinanderfolgend berechnet wird, um unbeobachtete Bewegungszustandsvariablen beruhend auf als einem Referenzeingangssignal zugeführten beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen abzuschätzen.

Patentansprüche

1. Bewegungszustandsabschätzungsverfahren, bei dem ein Bewegungszustandsmodell eines radgetriebenen Kraftfahrzeugs mit Lenkwinkeldaten als einem Referenzeingangssignal zum Verändern eines Koeffizienten und einer Rückkopplungsverstärkung von Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs in Übereinstimmung mit einer Fahrgeschwindigkeit des Kraftfahrzeugs beaufschlagt wird, und bei dem ein auf das Bewegungszustandsmodell bezogenes Beobachtungsglied mit zumindest einer von beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs als einem Referenzeingangssignal beaufschlagt wird, um zumindest eine von unbeobachteten Bewegungszustandsvariablen beruhend auf einer Zustandsgleichung des Beobachtungsglieds abzuschätzen, wobei das Abschätzungsverfahren die Schritte umfaßt:
Erfassen der Lenkwinkeldaten, Fahrgeschwindigkeit und zumindest einer der beobachtbaren Bewegungszustandsvariablen des Kraftfahrzeugs;
Umwandeln der Zustandsgleichung des Beobachtungsglieds mittels bilinearer Transformation oder Justin-Transformation in eine diskrete Gleichung, wobei die erfaßten Lenkwinkeldaten, Fahrgeschwindigkeit und beobachtbare Bewegungszustandsvariablen verwendet werden; und
aufeinanderfolgendes Berechnen der umgewandelten diskreten Gleichung, um zumindest eine von unbeobachteten Bewegungszustandsvariablen abzuschätzen.

2. Bewegungszustandsabschätzungsverfahren nach Patentanspruch 1, wobei das Bewegungszustandsmodell ein Filter zum Beseitigen eines Fehlers in der erfaßten Bewegungszustandsvariablen enthält, und wobei die Zustandsgleichung des Beobachtungsgliedes mit einer Charakteristik des Filters beaufschlagt ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

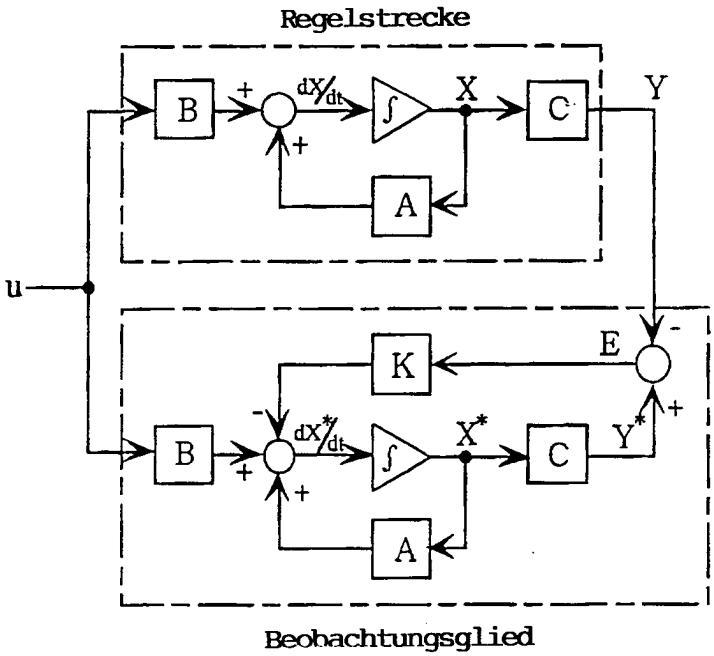


FIG.2

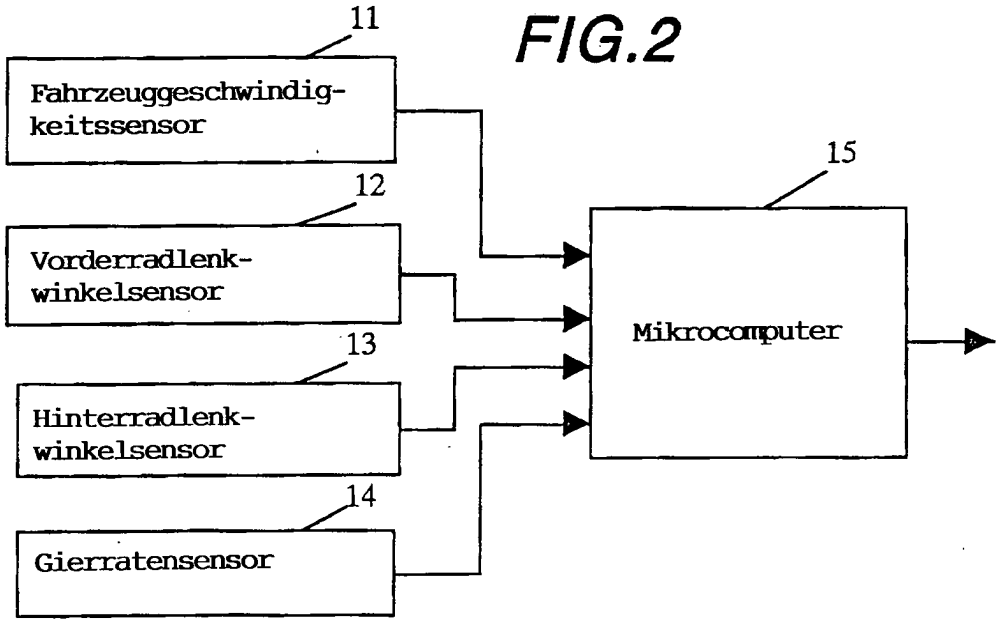


FIG.3

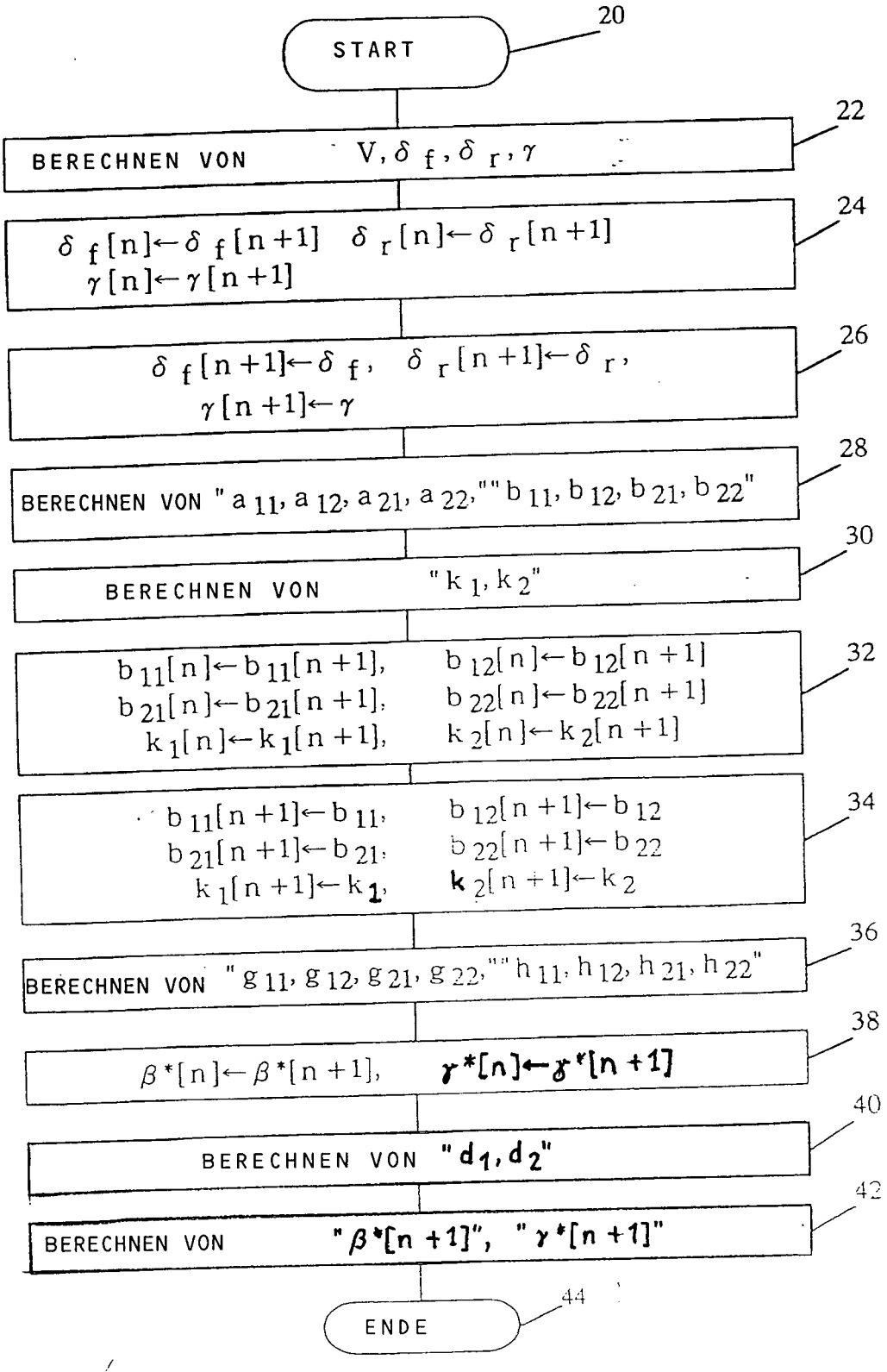

20
START
22
BERECHNEN VON V, δ f, δ r, γ
24
δ f[n]←δ f[n+1] δ r[n]←δ r[n+1]
γ[n]←γ[n+1]
26
δ f[n+1]←δ f, δ r[n+1]←δ r,
γ[n+1]←γ
28
BERECHNEN VON "a 11, a 12, a 21, a 22,""b 11, b 12, b 21, b 22"
30
BERECHNEN VON "k 1, k 2"
32
b 11[n]←b 11[n+1], b 12[n]←b 12[n+1]
b 21[n]←b 21[n+1], b 22[n]←b 22[n+1]
k 1[n]←k 1[n+1], k 2[n]←k 2[n+1]
34
b 11[n+1]←b 11, b 12[n+1]←b 12
b 21[n+1]←b 21, b 22[n+1]←b 22
k 1[n+1]←k 1, k 2[n+1]←k 2
36
BERECHNEN VON "g 11, g 12, g 21, g 22,""h 11, h 12, h 21, h 22"
38
β*[n]←β*[n+1], γ*[n]←γ*[n+1]
40
BERECHNEN VON "d 1, d 2"
42
BERECHNEN VON "β*[n+1]", "γ*[n+1]"
44
ENDE

FIG.4

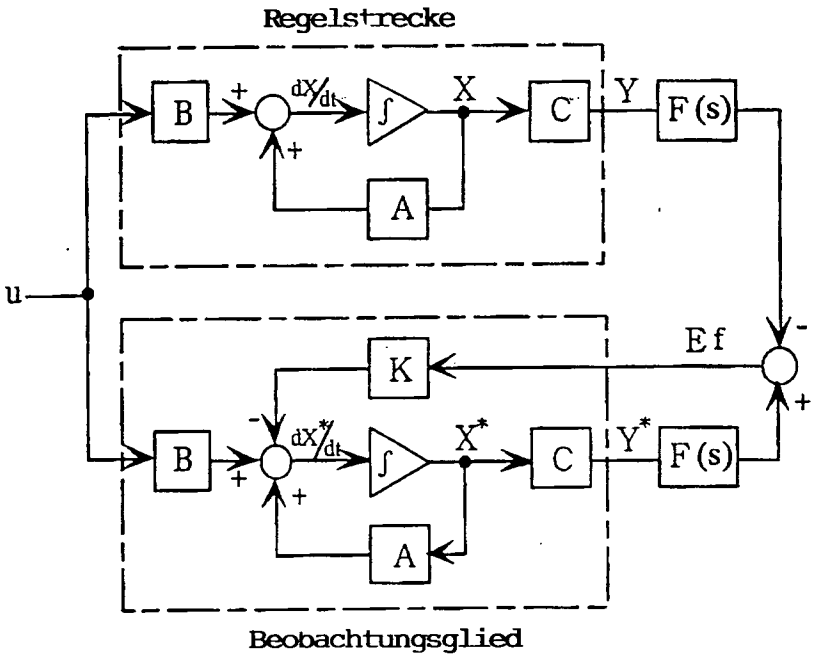

Regelstrecke
B
+
dX/dt
∫
X
C
Y
F(s)
A
u
Ef
K
-
+
X*
Y*
Beobachtungsglied

FIG.5

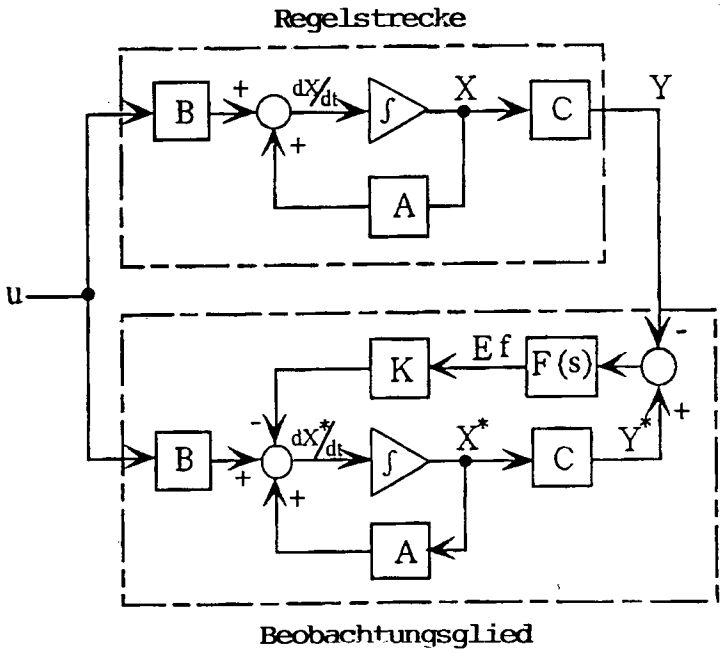
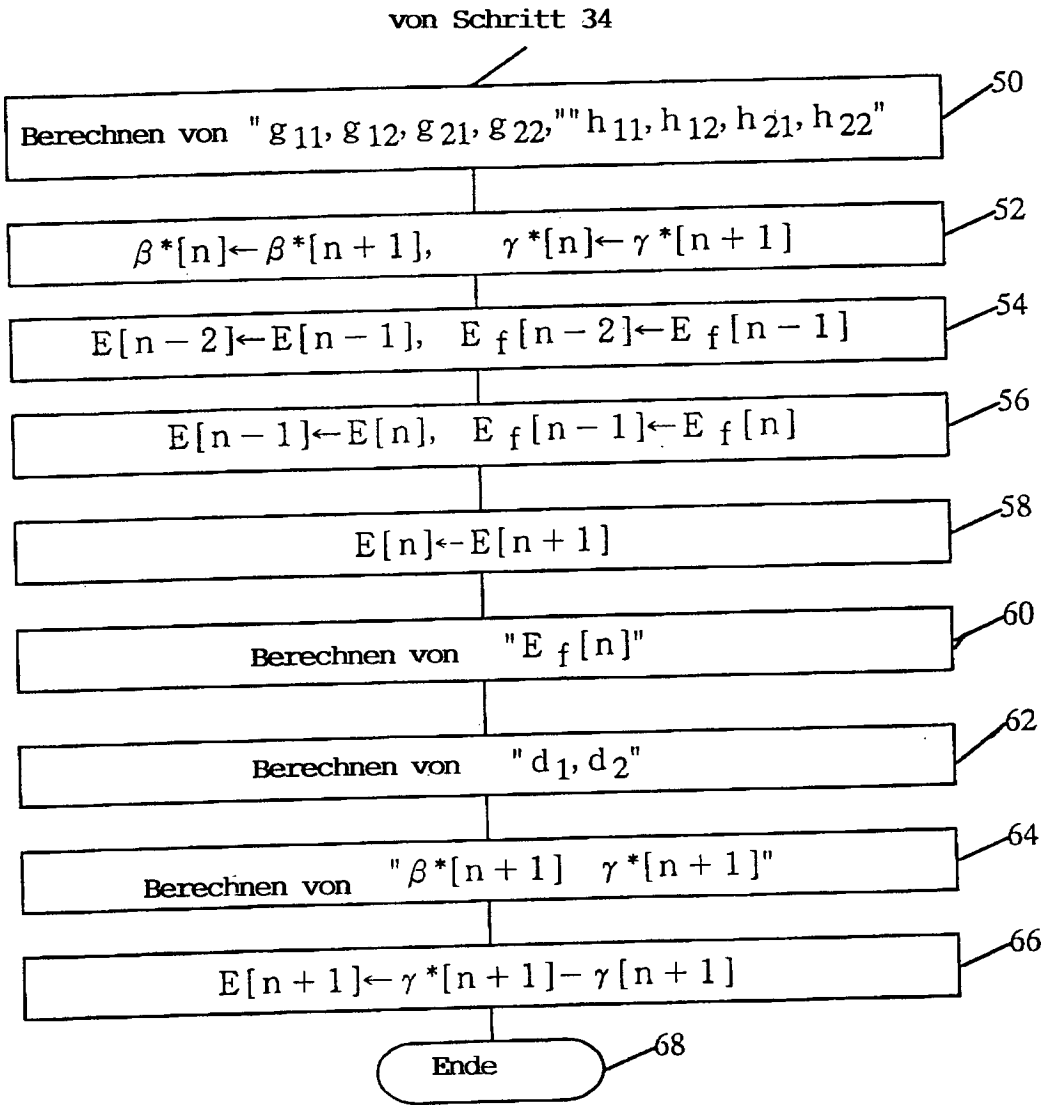

Regelstrecke
B
+
dX/dt
∫
X
C
Y
A
u
Ef
K
F(s)
-
+
X*
Y*
Beobachtungsglied

FIG.6


von Schritt 34
Berechnen von "$g_{11}, g_{12}, g_{21}, g_{22}$,""$h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$"
50
$\beta^*[n] \leftarrow \beta^*[n+1]$, $\gamma^*[n] \leftarrow \gamma^*[n+1]$
52
$E[n-2] \leftarrow E[n-1]$, $E_f[n-2] \leftarrow E_f[n-1]$
54
$E[n-1] \leftarrow E[n]$, $E_f[n-1] \leftarrow E_f[n]$
56
$E[n] \leftarrow E[n+1]$
58
Berechnen von "$E_f[n]$"
60
Berechnen von "d_1, d_2"
62
Berechnen von "$\beta^*[n+1]$ $\gamma^*[n+1]$"
64
$E[n+1] \leftarrow \gamma^*[n+1] - \gamma[n+1]$
66
Ende
68