



(10) **DE 10 2021 130 552 B4** 2025.01.16

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2021 130 552.7**
(22) Anmeldetag: **23.11.2021**
(43) Offenlegungstag: **11.08.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.01.2025**

(51) Int Cl.: **B60W 40/10** (2012.01)

B62D 11/00 (2006.01)
B62D 13/00 (2006.01)
B62D 13/04 (2006.01)
B62D 53/00 (2006.01)
B62D 59/00 (2006.01)
B60D 1/24 (2006.01)
B60D 1/30 (2006.01)
B60D 1/58 (2006.01)

Innerhalb von neun 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. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
17/168,429 05.02.2021 US

(73) Patentinhaber:
GM Global Technology Operations LLC, Detroit, US

(74) Vertreter:
**Manitz Finsterwald Patent- und
Rechtsanwaltspartnerschaft mbB, 80336
München, DE**

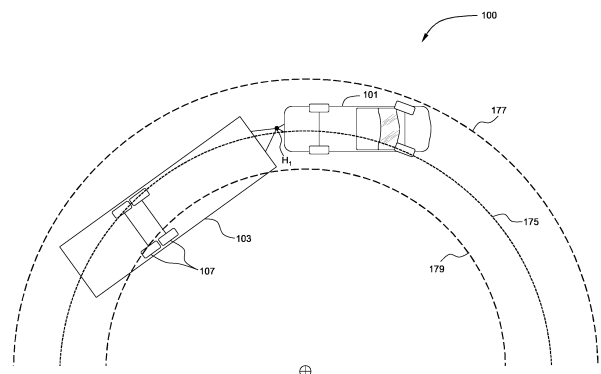
(72) Erfinder:
**Goodarzi, Avesta, Oshawa, ON, CA; Weigert,
Norman J., Oshawa, ON, CA**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2019 / 0 233 034	A1
EP	1 847 442	A2

(54) Bezeichnung: **Zugsystem mit Anhängernachführungssteuerung**

(57) Hauptanspruch: Zugsystem, das umfasst:
ein Zugfahrzeug (101);
einen ersten Anhänger (103);
einen zweiten Anhänger (102) zwischen dem Zugfahrzeug (101) und dem ersten Anhänger (103), wobei der zweite Anhänger (102) wenigstens eine Achse (120) und wenigstens zwei Räder (109) und ein Lenkungssystem (115) umfasst, wobei der zweite Anhänger (102) bei einem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) unter einem Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) mit dem Zugfahrzeug (101) gelenkig gekuppelt ist und bei einem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) mit dem ersten Anhänger (103) gelenkig gekuppelt ist; und
einen Controller (159), der den Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) durch Steuern der Lenkung der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) auf einen Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) festsetzt; dadurch gekennzeichnet, dass
der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Zugsystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder des Anspruchs 4, wie es der Art nach im Wesentlichen aus der US 2019 / 0 233 034 A1 bekannt ist. Ein der Art nach im Wesentlichen vergleichbares Zugsystem ergibt sich aus der EP 1 847 442 A2.

EINLEITUNG

[0002] Viele Fahrzeuge sind dafür ausgelegt, das Ziehen oder Anhängen verschiedener Lasten zu ermöglichen, einschließlich der Folgenden: Fracht, Wohnwagen, Boote und andere Fahrzeuge. Das Anhängen stellt den Betreiber des Zugfahrzeugs, der das Zugfahrzeug unter Berücksichtigung der Straßenbelaggeometrie und der Anhängernachführung manövrieren muss, vor Herausforderungen. Der Fahrweg eines Anhängers kann von dem Fahrweg des Zugfahrzeugs abweichen. Eine derartige Spurabweichung ist allgemein unerwünscht und kann in schärferen Kurven und mit längeren Anhängerabmessungen schwerwiegender sein.

[0003] Übliche Zusanordnungen enthalten ein Zugfahrzeug und einen einzelnen Anhänger. Andere Zusanordnungen können mehrere Anhänger enthalten. Mehr-Anhänger-Anordnungen können eine erhöhte Spurabweichung zeigen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0004] Erfindungsgemäß wird ein Zugsystem vorgestellt, das sich durch die Merkmale des Anspruchs 1 oder die des Anspruchs 4 auszeichnet.

[0005] Gemäß einer oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern der Lenkung der lenkbaren Räder das Bestimmen des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels auf der Grundlage eines Lenkwinkels des Zugfahrzeugs, das Bestimmen eines Ziel-Lenkwinkels der lenkbaren Räder auf der Grundlage des Lenkwinkels des Zugfahrzeugs und des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels und das Steuern eines Lenkwinkels der lenkbaren Räder auf den Ziel-Lenkwinkel der lenkbaren Räder enthalten.

[0006] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern der Lenkung der lenkbaren Räder ferner das Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel und das Einstellen des Ziel-Lenkwinkels der lenkbaren Räder auf der Grundlage des Fehlers enthalten.

[0007] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern das Bestimmen des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels auf der Grundlage eines Lenkwinkels des Zugfahrzeugs, das Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel und das Einstellen der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern auf der Grundlage des Fehlers enthalten.

[0008] Ferner wird eine Vorrichtung zum Ziehen eines ersten Anhängers durch ein Zugfahrzeug beschrieben. Die Vorrichtung umfasst einen zweiten Anhänger, der wenigstens eine Achse und wenigstens zwei Räder, einen ersten Anhängerkupplungspunkt und einen zweiten Anhängerkupplungspunkt aufweist. Der zweite Anhänger ist bei dem ersten Anhängerkupplungspunkt unter einem Anhängerkupplungs-Knickwinkel mit dem Zugfahrzeug gelenkig gekuppelt und ist bei dem zweiten Anhängerkupplungspunkt mit dem ersten Anhänger gelenkig gekuppelt. Ein Controller kann den Anhängerkupplungs-Knickwinkel auf einen Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel festsetzen.

[0009] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale können die wenigstens zwei Räder lenkbare Räder enthalten und kann der Anhängerkupplungs-Knickwinkel durch Steuern eines Lenkwinkels der lenkbaren Räder auf den Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel festgesetzt werden.

[0010] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Anhängerkupplungs-Knickwinkel durch Steuern einer Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern auf den Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel festgesetzt werden.

[0011] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern des Lenkwinkels der lenkbaren Räder das Bestimmen des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels auf der Grundlage

eines Lenkwinkels des Zugfahrzeugs, das Bestimmen eines Ziel-Lenkswinkels der lenkbaren Räder auf der Grundlage des Lenkwinkels des Zugfahrzeugs und des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels und das Steuern des Lenkwinkels der lenkbaren Räder auf den Ziel-Lenkswinkel der lenkbaren Räder enthalten.

[0012] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern des Lenkwinkels der lenkbaren Räder ferner das Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel und das Einstellen des Ziel-Lenkswinkels der lenkbaren Räder auf der Grundlage des Fehlers enthalten.

[0013] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel in Übereinstimmung mit den folgenden Beziehungen bestimmt werden:

$$\theta_{1-target} = \sin^{-1} \frac{\lambda \tan \delta}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}} - \tan^{-1} \frac{e}{L_2 - c} - \cos^{-1} \frac{L_1}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}};$$

$$\lambda = \frac{(\alpha + L_1)^2 - (L_3^2 + d^2) + \frac{2bL_1}{\tan \delta_v} + b^2}{2L_3}; \text{ und}$$

$$L_3 = \sqrt{(L_2 - c)^2 + e^2};$$

wobei:

$\theta_{1-target}$ der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ist;

L_1 ein Radstand des Zugfahrzeugs ist;

L_2 die Länge des zweiten Anhängers zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt und dem zweiten Anhängerkupplungspunkt ist;

L_3 der Abstand zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt und einem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger ist;

δ_v der Lenkwinkel des Zugfahrzeugs ist;

a ein Längsabstand von einem Vorderachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug zu einem vorgegebenen Punkt an dem Zugfahrzeug ist;

b ein seitlicher Abstand von dem Vorderachsenmittelpunkt zu dem vorgegebenen Punkt an dem Zugfahrzeug ist;

c ein Längsabstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger ist;

d ein Abstand zwischen einem Hinterachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug und dem ersten Anhängerkupplungspunkt ist; und

e ein seitlicher Abstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger ist.

[0014] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Ziel-Lenkswinkel in Übereinstimmung mit den folgenden Beziehungen bestimmt werden:

$$\delta_{T-target} = \theta_{1-target} + \tan^{-1} \left[\frac{\tan \delta_v \left(d + \frac{L_2}{2} \cos \theta_{1-target} \right)}{L_1 + \frac{L_2}{2} \sin \theta_{1-target} \tan \delta_v} \right];$$

wobei:

$\theta_{T-target}$ der Ziel-Lenkswinkel ist;

$\theta_{1-target}$ der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ist;

L_1 ein Radstand des Zugfahrzeugs ist;

L_2 die Länge des zweiten Anhängers zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt und dem zweiten Anhängerkupplungspunkt ist;

δ_v der Lenkwinkel des Zugfahrzeugs ist; und

d ein Abstand zwischen einem Hinterachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug und dem ersten Anhängerkupplungspunkt ist.

[0015] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann ein Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel auf einem Lenkwinkel des Zugfahrzeugs beruhen.

[0016] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann das Steuern der Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern das Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel und das Einstellen der Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern auf der Grundlage des Fehlers enthalten.

[0017] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Zwischenanhänger einen Antriebsstrang enthalten, der für wenigstens eines der zwei Räder ein Vortriebsmoment bereitstellt.

[0018] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Zwischenanhänger einen Antriebsstrang enthalten, der für wenigstens eines der zwei Räder ein Vortriebsmoment bereitstellt.

[0019] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Zwischenanhänger ein System enthalten, das für wenigstens eines der zwei Räder ein Bremsmoment bereitstellt.

[0020] Zusätzlich zu einem oder mehreren der hier beschriebenen Merkmale kann der Zwischenanhänger ein System enthalten, das für wenigstens eines der zwei Räder ein Bremsmoment bereitstellt.

[0021] Die obigen Merkmale und Vorteile und weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung gehen leicht aus der folgenden ausführlichen Beschreibung hervor, wenn sie zusammen mit den beigefügten Zeichnungen genommen wird.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0022] Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten erscheinen nur beispielhaft in der folgenden ausführlichen Beschreibung, wobei sich die ausführliche Beschreibung auf die Zeichnungen bezieht; es zeigen:

Fig. 1 eine Ein-Anhänger-Zugkonfiguration mit Spurabweichung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 eine Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration und eine Vergleichs-Ein-Anhänger-Zugkonfiguration mit Spurabweichung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 eine Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration mit Anhängernachführungssteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4A-4D Ausführungsform eines Zwischenanhängers für eine Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration mit Anhängernachführungssteuerung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 einen beispielhaften Steuerprozess gemäß der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 6 einen beispielhaften Steuerprozess gemäß der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0023] Die folgende Beschreibung ist dem Wesen nach lediglich beispielhaft. Einander entsprechende Bezugszeichen bezeichnen überall in den Zeichnungen gleiche oder einander entsprechende Teile und Merkmale. Wie Steuermodul, Modul, Steuerung, Controller, Steuereinheit, Prozessor und ähnliche Begriffe hier verwendet sind, bedeuten sie irgendeine oder verschiedene Kombinationen einer oder mehrerer anwendungsspezifischer integrierter Schaltungen (ASIC), elektronischer Schaltungen, Zentraleinheiten (vorzugsweise Mikroprozessoren) und zugeordnetem Speicher und Ablagespeicher (Nur-Lese-Speicher (ROM), Schreib-Lese-Speicher (RAM), elektrisch programmierbarem Nur-Lese-Speicher (EPROM), Festplattenlaufwerk usw.) oder Mikrocontrollern, die ein oder mehrere Software- oder Firmwareprogramme oder Software-

oder Firmware-Routinen ausführen, Kombinationslogikschaltungen, einer Eingabe/Ausgabe-Schaltungsanordnung und von Eingabe/Ausgabe-Vorrichtungen (E/A) und einer geeignete Signalaufbereitungs- und Signalpufferschaltungsanordnung, eines schnellen Taktgebers, einer Analog-Digital-Schaltungsanordnung (A/D-Schaltungsanordnung) und einer Digital-Analog-Schaltungsanordnung (D/A-Schaltungsanordnung) und anderer Komponenten zur Bereitstellung der beschriebenen Funktionalität. Ein Steuermodul kann eine Vielzahl von Kommunikationsschnittstellen einschließlich Punkt-zu-Punkt-Leitungen oder diskreter Leitungen und verdrahteter oder drahtloser Schnittstellen zu Netzen einschließlich Weitverkehrsnetzen und lokalen Netzen, Fahrzeugnetzen (z. B. Controller Area Network (CAN), Local Interconnect Network (LIN) und Werks- und Kundendienst-bezogenen Netzen enthalten. Steuermodulfunktionen, wie sie in dieser Erfindung dargelegt sind, können in einer verteilten Steuerarchitektur unter mehreren vernetzten Steuermodulen ausgeführt werden. Software, Firmware, Programme, Anweisungen, Routinen, Code, Algorithmen und ähnliche Begriffe bedeuten irgendwelche durch einen Controller ausführbare Anweisungssätze einschließlich Kalibrierungen, Datenstrukturen und Nachschlagetabellen. Ein Steuermodul weist einen Satz von Steuermodulen auf, die zur Bereitstellung beschriebener Funktionen ausgeführt werden. Routinen werden wie etwa durch eine Zentraleinheit ausgeführt und sind dafür betreibbar, Eingaben von Erfassungsvorrichtungen und anderen vernetzten Steuermodulen zu überwachen und Steuer- und Diagnoseroutinen zum Steuern des Betriebs von Aktuatoren auszuführen. Routinen können während des andauernden Kraftmaschinen- und Fahrzeugbetriebs in regelmäßigen Intervallen ausgeführt werden. Alternativ können Routinen in Ansprechen auf das Auftreten eines Ereignisses, auf Softwareaufrufe oder bei Bedarf über Benutzerschnittstelleneingaben oder Benutzerschnittstellenanforderungen ausgeführt werden.

[0024] Fig. 1 stellt eine Ein-Anhänger-Zugkonfiguration 100 dar, die ein Zugfahrzeug 101 und einen Anhänger 103 enthält. Das Zugfahrzeug 101 und der Anhänger 103 sind bei einem Anhängerkupplungspunkt (H_1) gekuppelt, der während Manövern um Kurven und Ecken die Gelenkbewegung des Anhängers 103 und des Zugfahrzeugs 101 zulässt. Ein-Anhänger-Zugkonfigurationen können einen bestimmten Grad einer Spurbabweichung zeigen, der dadurch charakterisiert ist, dass die Anhängerräder 107 zu der Innenseite des Innenradwegs 175 des Zugfahrzeugs 101 nachführen. Ein bestimmter Grad an Spurbabweichung kann akzeptabel sein. Allerdings kann der Betrag der Spurbabweichung des Anhängers 103 verstärkt werden, während der Wenderadius des Zugfahrzeugs 101 verringert wird. Eine bestimmte Kompensation durch den Fahrer kann dadurch erhalten werden, dass das Zugfahrzeug 101 in Richtung der äußeren Fahrspurgrenze 177 gesteuert wird, was den verfügbaren Wenderadius maximiert. Allerdings kann der Anhänger 103 bei einem bestimmten Wenderadius außerhalb der inneren Fahrspurgrenze 179 von der Spur abweichen.

[0025] Fig. 2 zeigt eine Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration 200, die ein Zugfahrzeug 101, einen Anhänger 102 und einen Anhänger 103 enthält. Der Anhänger 102 ist zwischen dem Zugfahrzeug 101 und dem Anhänger 103. Das Zugfahrzeug 101 und der Zwischenanhänger 102 sind bei einem Anhängerkupplungspunkt (H_1) gekuppelt, der während Manövern um Kurven und Ecken die Gelenkbewegung des Anhängers 102 und des Zugfahrzeugs 101 zulässt. Der Anhänger 102 und der Anhänger 103 sind mit einem Anhängerkupplungspunkt (H_2) gekuppelt, der während Manövern um Kurven und Ecken die Gelenkbewegung des Anhängers 102 und des Anhängers 103 zulässt. Mehr-Anhänger-Zugkonfigurationen können einen bestimmten Grad von Spurbabweichung zeigen, der dadurch charakterisiert ist, dass die Anhängerräder 107, 109 jedes jeweiligen Anhängers zu der Innenseite des Innenradwegs 175 des Zugfahrzeugs 101 nachführen. Ein bestimmter Grad an Spurbabweichung kann akzeptabel sein. Allerdings kann der Betrag der Spurbabweichung eines oder beider Anhänger 102, 103 verstärkt sein, während der Wenderadius des Zugfahrzeugs 101 verringert ist. Eine bestimmte Kompensation durch den Fahrer kann dadurch erhalten werden, dass er das Zugfahrzeug 101 in Richtung der äußeren Fahrspurgrenze 177 steuert, was den verfügbaren Wenderadius maximiert. Allerdings können bei einem bestimmten Wenderadius ein oder beide Anhänger 102, 103 außerhalb der inneren Fahrspurgrenze 179 von der Spur abweichen. Mehr-Anhänger-Konfigurationen können bei dem Anhänger 103, der am weitesten von dem Zugfahrzeug 101 ist, eine drastischere Spurbabweichung zeigen und können eine drastischere Spurbabweichung als Ein-Anhänger-Konfigurationen (Fig. 1 und Fig. 2 der Anhänger 103 in Strichlinien) zeigen.

[0026] Gemäß der vorliegenden Erfindung sind hier und in den verschiedenen Zeichnungen eine Vorrichtung und ein Verfahren für die Anhängernachführungssteuerung in einer Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration 300 dargelegt. Fig. 3 stellt eine Mehr-Anhänger-Zugkonfiguration 300 dar, die ein Zugfahrzeug 101, einen Anhänger 102 und einen Anhänger 103 enthält. Der Anhänger 102 ist zwischen dem Zugfahrzeug 101 und dem Anhänger 103. Das Zugfahrzeug 101 und der Anhänger 102 sind bei einem Anhängerkupplungspunkt (H_1) gekuppelt, der während Manövern um Kurven und Ecken die Gelenkbewegung des Anhängers 102 und des Zugfahrzeugs 101 zulässt. Der Anhänger 102 und der Anhänger 103 sind bei einem Anhängerkupplungs-

punkt (H_2) gekuppelt, der während Manövern um Kurven und Ecken die Gelenkbewegung des Anhängers 102 und des Anhängers 103 zulässt.

[0027] Das Zugfahrzeug 101 kann im Folgenden als Fahrzeug 101 bezeichnet sein und ist bei einem Anhängerkupplungspunkt (H_1) mit einer Gelenkverbindungs-Anhängerkupplung konfiguriert. Beispielhafte Gelenkverbindungs-Anhängerkupplungen bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) können eine Aufnahme-Anhängerkupplung 106 mit Kugel und einer komplementären Deichsel 104F des vorderen Anhängers mit einer Kugelpfannenkupplung oder ein an einer Pickup-Ladefläche montierter Schwanenhals und Sattelkupplungen sein. In irgendeiner Konfiguration sind der Anhänger 102 und das Fahrzeug 101 bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) gelenkig verbunden. Eine beispielhafte Gelenkverbindungs-Anhängerkupplung bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) kann eine Deichsel 104R des hinteren Anhängers mit einer Kugel und eine komplementäre Deichsel 108F des vorderen Anhängers mit Kugelpfannenkupplung enthalten. Zum Beispiel kann die Gelenkverbindungs-Anhängerkupplung bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) alternativ einen Schwanenhals oder eine Sattelkupplung enthalten. In irgendeiner Konfiguration sind das Fahrzeug 101 und der Anhänger 102 bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) gelenkig verbunden und sind der Anhänger 102 und der Anhänger 103 bei dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) gelenkig verbunden. Das Fahrzeug 101 kann ein Vierradfahrzeug sein, das an jeder Ecke einen Reifen und ein Rad 105 enthält. Wie es hier verwendet ist, soll die Bezugnahme auf ein Rad oder auf einen Reifen so verstanden sein, dass sie, sofern nicht etwas anderes spezifisch genannt ist, ein Rad- und Reifenkomplement bedeutet. Der Anhänger 103 ist als ein Zweiaachsenanhänger dargestellt, der auf jeder Querseite zwei Räder 107 enthält. Der Anhänger 102 ist ebenfalls als ein Zweiaachsenanhänger dargestellt, der auf jeder Querseite zwei Räder 109 enthält. Die Anhänger 102, 103 sind beispielhaft und es ist zu verstehen, dass alternative Anhängerkonfigurationen z. B. mehr oder weniger Achsen enthalten können. Wie es hier verwendet ist, ist Achse so zu verstehen, dass sie ein Paar seitlich gegenüberliegender Räder an einem Fahrzeug oder Anhänger bedeutet, die nicht notwendig eine physische Achse dazwischen enthalten. Somit weist das Fahrzeug 101 eine Vorderachse 116, die zwei Vorderräder enthält, und eine Hinterachse 114, die zwei Hinterräder enthält, auf. Der Anhänger 103 weist ein Paar Achsen 118 auf, die vier Räder enthalten, und der Anhänger 102 weist ein Paar Achsen 120 auf, die vier Räder enthalten. Außerdem kann sich Rad, wie es hier verwendet ist, auf ein einzelnes Rad oder mehrere Räder auf einer Seite einer Achse, z. B. eine Pickup-Achse mit Zwillingssreifen oder auf einen Ein- oder Mehrachsenanhänger mit Zwillingssreifen, beziehen.

[0028] Das Fahrzeug 101 kann eine Steuersystemarchitektur 135 enthalten, die mehrere elektronische Steuereinheiten (ECU) 137 enthält, die über eine Vielzahl geeigneter verdrahteter und/oder drahtloser Netze, z. B. über eine Busstruktur 139, kommunikationstechnisch gekoppelt sein können, um Steuerfunktionen und gemeinsame Nutzung von Informationen einschließlich der Ausführung von Steuerroutinen lokal und auf verteilte Weise auszuführen. Die Busstruktur 139 kann ein Controller Area Network (CAN) enthalten, wie es der Durchschnittsfachmann kennt. Die ECUs 137 können derartige Beispiele wie ein Antriebsstrangsteuermodul (PCM), ein Kraftmaschinensteuermodul (ECM), ein Getriebesteuermodul (TCM), ein Karosseriesteuermodul (BCM), ein Lenkungssteuermodul (SCM), ein Steuermodul der elektrischen Antriebseinheit, ein Traktionssteuerungs- oder Stabilitätssteuerungsmodul, ein Tempomatmodul, ein Bremssteuermodul usw. enthalten. Gemäß einer Ausführungsform kann das Lenkungssteuermodul (SCM) 141 eine beispielhafte ECU 137 sein, die primär die Aufgabe von Funktionen hat, die sich auf die Anhängernachführungs-Steuersystem-Überwachung, Anhängernachführungs-Steuersystem-Steuerung und Anhängernachführungs-Steuersystem-Diagnose gemäß der vorliegenden Erfindung beziehen. Die ECUs 137 einschließlich des SCM 141 können mit einer Vielzahl von Sensoren und Aktuatoren sowie irgendeiner Kombination der anderen ECUs (z. B. über die Busstruktur 139 und/oder über andere verdrahtete und/oder drahtlose Netze) indirekt oder direkt verbunden sein.

[0029] Das SCM 141 kann von Sensoren und von anderen ECUs 137 eine Vielzahl von Informationen zur Verwendung in der Anhängernachführungssteuerung empfangen. Informationen, die durch das SCM 141 empfangen werden, können derartige Beispiele wie dynamische und kinematische Informationen des Fahrzeugs 101 wie etwa die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Fahrzeugfahrtrichtung, den Fahrzeuglenkwinkel, Fahrzeugmehrachsen-Beschleunigungen und Fahrzeugmehrachsen-Rucke, Fahrzeuggieren, Fahrzeugnicken, Fahrzeugwanken und ihre abgeleiteten Größen usw. enthalten. Viele derartige Größen können allgemein über die Fahrzeugbusstruktur 139 verfügbar sein, wobei sie von bekannten Fahrzeugsensoren ausgehen oder in dem SCM 141 oder in einer anderen ECU 137 (z. B. dem Traktions-, dem Stabilitätssteuerungs- und/oder dem Bremsmodul) davon abgeleitet werden. Derartige Sensoren können z. B. Raddrehzahlsensoren bei jedem Rad des Fahrzeugs 101, den Lenkwinkelsensor 181 und den Trägheitsmessungssensor 188 enthalten. Einige Sensoren können Informationen als direkte Eingaben in das SCM 141 bereitstellen, während andere Informationen über die Busstruktur 139 bereitstellen können, wobei z. B. ein Sensor als eine

Netzknotenvorrichtung arbeiten kann oder wobei derartige Informationen auf der Busstruktur über eine andere ECU 137 allgemein verfügbar sind.

[0030] Die Vorderradlenkung des Fahrzeugs 101 kann durch einen Vorderradlenkmechanismus 180 beeinflusst werden, der ein Lenkgetriebe und Lenkgestänge, wie sie im Gebiet bekannt sind, enthalten kann. Außerdem kann das Fahrzeug 101 ein aktives Hinterradlenkungssystem enthalten. Die Betreiberlenkungseingabe kann über ein Lenkrad und eine mechanische Lenkwelle, die mit dem Lenkgetriebe zusammenwirkt, erfolgen. Die mechanische Lenkanstrengung kann durch hydraulische oder elektrische Vorrichtungen unterstützt werden. Es sind Steer-by-wire-Systeme bekannt, bei denen die Betreiberlenkabsicht bestimmt wird und zusammen mit anderen Informationen wie etwa der Fahrzeuggeschwindigkeit (V) und der Gierrate (ω) eine Zahnstange ohne die Notwendigkeit einer mechanischen Lenkwelle, die mit dem Lenkgetriebe zusammenwirkt, betätigt.

[0031] Die in **Fig. 3** dargestellte Zugkonfiguration 300 enthält ein Fahrzeug 101, einen Anhänger 102 und einen Anhänger 103, die bei Anhängerkupplungspunkten (H_1) und (H_2) gelenkig gekuppelt sind. In **Fig. 3** sind verschiedene geometrische Beziehungen der Zugkonfiguration dargestellt. Das Fahrzeug 101 weist eine Fahrzeuglängsmittellinie 201 auf und der Anhänger 102 weist eine Anhängergängsmittellinie 203 auf. Jede jeweilige Mittellinie 201, 203 geht durch einen Zugkonfigurations-Anhängerkupplungspunkt (H_1). Zwischen der Anhängermittellinie 203 und der Fahrzeugmittellinie 201 ist ein Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) definiert und dieser ist ein Maß für die Ausrichtungsabweichung oder Gelenkbewegung zwischen dem Anhänger 102 und dem Fahrzeug 101. Während die Zugkonfiguration auf einer Geraden fährt, ist der Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) im Wesentlichen null, und während die Zugkonfiguration um Kurven oder Ecken fährt, ist er von null verschieden. Die Anhängerkupplungs-Knickwinkel-Erfassung (Anhängerkupplungs- θ_1 -Erfassung) ist dem Fachmann bekannt und kann als Beispiele durch einen Drehsensor 112 wie etwa einen Codierer oder ein Potentiometer oder ein Bildverarbeitungssystem 113, das eine Kamera enthält, bereitgestellt werden. Der Drehsensor 112, das Bildverarbeitungssystem 113 oder ein alternativer Anhängerkupplungs-Knickwinkel-Sensor (Anhängerkupplungs- θ_1 -Sensor) können z. B. über die Busstruktur 139 Anhängerkupplungs-Knickwinkel-Informationen (Anhängerkupplungs- θ_1 -Informationen) für das SCM 141 bereitstellen. Die Vorderachse 116 des Fahrzeugs 101 schneidet die Fahrzeugmittellinie 201 im Punkt (A). Der Punkt (A) kann als der Fahrzeug-Vorderachsen-Mittelpunkt (A) bezeichnet werden. Die Hinterachse 114 des Fahrzeugs 101 schneidet die Fahrzeugmittellinie 201 im Punkt (B). Der Punkt (B) kann als der Fahrzeug-Hinterachsen-Mittelpunkt (B) bezeichnet werden. Der Abstand zwischen der Vorderachse 116 und der Hinterachse 114 des Fahrzeugs 101, d. h. der Abstand zwischen den Mittelpunkten (A) und (B), ist mit (L_1) bezeichnet und kann als der Fahrzeuggradstand bezeichnet werden. Der Abstand zwischen dem Hinterachsenmittelpunkt (B) und dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) entlang der Fahrzeugmittellinie 201 ist als (d) bezeichnet. Der Abstand zwischen dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) und dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) entlang der Mittellinie 203 des Anhängers 102 ist durch (L_2) bezeichnet und kann als die Länge des Anhängers 102 bezeichnet werden. Gemäß einer Ausführungsform kann eine äußerste vordere Ecke (C_V) des Fahrzeugs 101 eine äußere Wendeumfangsreferenz oder einen äußeren Wendeumfangsgrenzwert bereitstellen, die bzw. der als ein freier Weg für die Anhänger 102, 103 angesehen wird. Außerdem kann eine äußerste hintere Ecke (C_T) des Anhängers 102 als ein Grenzwert an die Nachführung des Anhängers 102 definiert sein. Der Abstand zwischen dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) und der äußersten rechten Ecke (C_T) des Anhängers 102 ist durch (L_3) bezeichnet. Die äußerste vordere Ecke (C_V) des Fahrzeugs 101 kann relativ zu einem Längsabstand (a) vor dem Vorderachsenmittelpunkt (A) und einem seitlichen Abstand (b) von dem Vorderachsenmittelpunkt (A) in Richtung der Außenseite der aktuellen Richtungsänderung definiert sein. Ähnlich kann die äußerste hintere Ecke (C_T) relativ zu einem Längsabstand (c) von dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) und einem seitlichen Abstand (e) von dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) in Richtung der Außenseite der aktuellen Fahrtrichtungsänderung definiert sein. Der Lenkwinkelsensor 181 kann einen Lenkwinkel (δ_V) der Vorderräder des Fahrzeugs 101 bereitstellen. Für Ausführungsformen, in denen der Anhänger 102 lenkbare Räder enthält, ist ein Lenkwinkel der Räder des Anhängers 102 als (δ_T) bezeichnet.

[0032] Gemäß einer Ausführungsform kann das Anhängernachführungssteuersystem das SCM 141 enthalten, das Steuerrouinen, verschiedene Sensoren und/oder Sensorinformationen und den Anhänger 102 zwischen dem Fahrzeug und dem Anhänger 103 enthält. Der Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) kann mit einem Ziel der Verringerung der Spurabweichung des Anhängers 103 auf einen (im Folgenden diskutierten) Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) gesteuert werden. Gemäß einer Ausführungsform kann der Anhänger 102 nicht lenkbare Räder enthalten. Gemäß einer anderen Ausführungsform kann der Anhänger 102 lenkbare Räder enthalten. Gemäß einer Ausführungsform kann der Anhänger 102 ein Reibungsbremsystem zum Anwenden eines Bremsmoments auf die Räder enthalten. Gemäß einer Ausführungsform kann der Anhänger 102 ein Vortriebssystem zum Anwenden eines Traktionsmoments auf ein oder mehrere Räder

enthalten. Wie es hier verwendet ist, kann ein Traktionsmoment ein Vortriebsmoment und/oder ein Bremsmoment enthalten.

[0033] Die **Fig. 4A-4D** stellen einzelne Lenkungs-, Reibungsbrems- und Vortriebssysteme dar, die in dem Anhänger 102 allein oder in verschiedenen Kombinationen enthalten sein können. **Fig. 4A** stellt eine Ausführungsform lenkbarer Räder an dem Anhänger 102 dar. Die Radlenkung kann durch ein Anhängerlenkungssystem 115 beeinflusst werden, das ein Lenkgetriebe und Lenkgestänge enthalten kann. Das Anhängerlenkungssystem 115 kann einen Aktuator 117 enthalten, der veranlasst, dass das Lenkgetriebe die Räder des Anhängers 102 in die gewünschte Richtung lenkt. Gemäß einer Ausführungsform kann der Aktuator 117 z. B. ein Dreh- oder Linearelektromotor oder ein Hydraulikaktuator oder eine Kombination wie etwa ein elektrohydraulischer Aktuator sein. Dem Durchschnittsfachmann können andere Aktuatoren bekannt sein. Gemäß einer anderen Ausführungsform kann das Anhängerlenkungssystem 115 einzelne Mechanismen mit einem Aktuator am Rad wie etwa unabhängigen elektrischen Aktuatoren enthalten. Der Aktuator 117 ist entweder direkt oder wie dargestellt über die Busstruktur 139, die Steuerbefehle für den Aktuator 117 bereitstellen kann, mit dem SCM 141 kommunikationstechnisch gekoppelt. Ähnlich kann die Anhängerlenkungssystem-Rückkopplung wie etwa der Lenkwinkel (δ_T) für das SCM 141 bereitgestellt werden. Eine verdrahtete Kommunikation kann über einen Fahrzeug-Anhänger-Kabelbaum erfolgen. Die Kommunikation zwischen den Systemen des Anhängers 102 und dem Fahrzeug 101 kann durch drahtlose Vernetzung ausgeführt werden. **Fig. 4B** stellt eine Ausführungsform eines elektrischen Vortriebssystems an dem Anhänger 102 dar. Der Radvortrieb kann durch ein Anhängervortriebssystem 125 beeinflusst werden, das eine Antriebseinheit 127 und einen Controller 129 enthalten kann. Die Antriebseinheit kann z. B. einen Elektromotor (M), Leistungselektronik und Untersetzungs- und Differentialzahnradgetriebe für das Anwenden eines Vortriebsmoments auf ein oder mehrere Räder des Anhängers 102 enthalten. Das Differentialzahnradgetriebe kann ein Torque-Vectoring-Differentialzahnradgetriebe enthalten, das eine unabhängige Drehmomentsteuerung bei jedem Rad zulässt. Der Controller 129 ist entweder direkt oder wie dargestellt über die Busstruktur 139, die Steuerbefehle für den Controller 129 bereitstellen kann, kommunikationstechnisch mit dem SCM 141 gekoppelt. Die verdrahtete Kommunikation kann über einen Fahrzeug-Anhänger-Kabelbaum erfolgen. Die Kommunikation zwischen den Systemen des Anhängers 102 und dem Fahrzeug 101 kann durch drahtlose Vernetzung ausgeführt werden. **Fig. 4C** stellt eine Ausführungsform eines elektrischen Vortriebssystems an dem Anhänger 102 dar. Der Radvortrieb kann durch ein Anhängervortriebssystem 145 bewirkt werden, das einen Motor (M) pro Rad und einen Controller 149 enthalten kann. Der Controller 149 kann z. B. Leistungselektronik zum Steuern des Vortriebsmoments bei jedem mit einem Motor ausgestatteten Rad des Anhängers 102 enthalten. Der Controller 149 ist entweder direkt oder wie dargestellt über die Busstruktur 139, die Steuerbefehle für den Controller 149 bereitstellen kann, mit dem SCM 141 kommunikationstechnisch gekoppelt. Die verdrahtete Kommunikation kann über einen Fahrzeug-Anhänger-Kabelbaum erfolgen. Die Kommunikation zwischen den Systemen des Anhängers 102 und dem Fahrzeug 101 kann durch drahtlose Vernetzung ausgeführt werden. **Fig. 4D** stellt eine Ausführungsform eines Reibungsbremssystems an dem Anhänger 102 dar. Die Radbremsung kann durch ein Bremssystem 155 bewirkt werden, das einen Bremsaktuator 156 pro Rad und einen Controller 159 enthalten kann. Die Bremsaktuatoren 156 können elektrisch, hydraulisch oder irgendein anderer geeigneter Aktuator sein. Der Controller 159 kann z. B. Leistungselektronik oder hydraulische Steuerungen zum Steuern des Bremsmoments bei jedem mit einer Bremse ausgestatteten Rad des Anhängers 102 enthalten. Der Controller 159 ist entweder direkt oder wie dargestellt über die Busstruktur 139, die Steuerbefehle für den Controller 159 bereitstellen kann, kommunikationstechnisch mit dem SCM 141 gekoppelt. Die verdrahtete Kommunikation kann über einen Fahrzeug-Anhänger-Kabelbaum erfolgen. Die Kommunikation zwischen den Systemen des Anhängers 102 und dem Fahrzeug 101 kann über drahtlose Vernetzung ausgeführt werden.

[0034] **Fig. 5** stellt einen beispielhaften Steuerprozess 500 dar, der auf die in **Fig. 3** dargestellte beispielhafte Zugkonfiguration 300, die den mit einem Anhängerlenkungssystem ausgestatteten Anhänger 102 enthält, anwendbar ist. Der Anhänger 102 kann mit einem oder mehreren eines Vortriebssystems und eines Bremssystems zum Anwenden eines Traktionsmoments auf ein oder mehrere Räder wie hier beschrieben ausgestattet sein. Der Steuerprozess 500 kann einen Vorwärtsskopplungsabschnitt 502 und einen Rückkopplungsabschnitt 504 enthalten. Gemäß einer Ausführungsform ist nur der Vorwärtsskopplungsabschnitt 502 implementiert, um eine Steuerung des Anhängerlenkungssystems bereitzustellen. Gemäß einer anderen Ausführungsform ist zusammen mit dem Vorwärtsskopplungsabschnitt 502 der Rückkopplungsabschnitt 504 implementiert, um eine Regelung des Anhängerlenkungssystems bereitzustellen. Bei der Bestimmung des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels ($\theta_{1-target}$) 507 kann der Fahrzeuglenkwinkel (δ_V) 501 (z. B. von dem Lenkwinkelsensor 181) verwendet werden. Bei der Bestimmung eines Ziel-Lenkwinkels ($\delta_{T-target}$) 505 der Räder des Anhängers 102 können der Fahrzeuglenkwinkel (δ_V) 501 und der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) 507 verwendet werden. Gemäß einer reinen Vorwärtsskopplungsimplementierung kann der

Ziel-Lenkwinkel ($\delta_{T-target}$) 505 bei der Bestimmung eines Lenkwinkelbefehls ($\delta_{T-command}$) 511 für das Lenkungssystem des Anhängers 102 direkt genutzt werden. In einer Regelung des Anhängerlenkungssystems kann der Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) 503 (z. B. von dem Drehsensor 112) bei der Bestimmung eines Anhängerkupplungs-Knickwinkel-Fehlers zusammen mit dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) 507 bei dem Summierknoten 506 verwendet werden. Dieser Fehler kann durch die PID-Regelung 509 bei der Bestimmung einer Einstellung auf den Ziel-Lenkwinkel ($\delta_{T-target}$) 505 bei dem Summierknoten 508 verarbeitet werden. Der eingestellte Ziel-Lenkwinkel ($\delta_{T-target}$) von dem Knoten 508 kann daraufhin bei der Bestimmung eines Lenkwinkelbefehls ($\delta_{T-command}$) 511 für das Lenkungssystem des Anhängers 102 genutzt werden. Die PID-Regelung 509 ist beispielhaft und der Fachmann versteht, dass eine alternative Fehlerverarbeitungsregelung genutzt werden kann.

[0035] Gemäß einer Ausführungsform kann der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) in Übereinstimmung mit den folgenden Beziehungen bestimmt werden:

$$\theta_{1-target} = \sin^{-1} \frac{\lambda \tan \delta_v}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}} - \tan^{-1} \frac{e}{L_2 - c} - \cos^{-1} \frac{L_1}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{(\alpha + L_1)^2 - (L_3^2 + d^2) + \frac{2bL_1}{\tan \delta_v} + b^2}{2L_3}, \quad (2)$$

$$L_3 = \sqrt{(L_2 - c)^2 + e^2}, \quad (3)$$

wobei:

L_1 der Radstand des Fahrzeugs 101 ist;

L_2 die Länge des Anhängers 102 ist;

L_3 der Abstand zwischen dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) und der äußersten hinteren Ecke (C_T) des Anhängers 102 ist;

δ_v der Lenkwinkel des Fahrzeugs 101 ist;

a der Längsabstand vor dem Fahrzeug 101 von dem Vorderachsenmittelpunkt (A) des Fahrzeugs 101 zu der äußersten vorderen Ecke (C_v) des Fahrzeugs 101 in Richtung der Außenseite der aktuellen Fahrtrichtungsänderung ist;

b der seitliche Abstand von dem Vorderachsenmittelpunkt (A) des Fahrzeugs 101 zu der äußersten vorderen Ecke (C_v) des Fahrzeugs 101 in Richtung der Außenseite der aktuellen Fahrtrichtungsänderung ist;

c der Längsabstand von dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu der äußersten hinteren Ecke (C_T) an dem Anhänger 102 in Richtung der Außenseite der aktuellen Fahrtrichtungsänderung ist;

d der Abstand zwischen einem Hinterachsenmittelpunkt (B) und dem Anhängerkupplungspunkt (H_1) entlang der Fahrzeugmittellinie 201 ist;
und

e der seitliche Abstand von dem Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu der äußersten hinteren Ecke (C_T) an dem Anhänger 102 in Richtung der Außenseite der aktuellen Fahrtrichtungsänderung ist.

[0036] Gemäß einer Ausführungsform kann der Ziel-Lenkwinkel ($\delta_{T-target}$) der Räder des Anhängers 102 in Übereinstimmung mit der folgenden Beziehung und mit dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$), wie er in Übereinstimmung mit den obigen Beziehungen (1)-(3) bestimmt wurde, bestimmt werden:

$$\delta_{T-target} = \theta_{1-target} + \tan^{-1} \left[\frac{\tan \delta_v \left(d + \frac{L_2}{2} \cos \theta_{1-target} \right)}{L_1 + \frac{L_2}{2} \sin \theta_{1-target} \tan \delta_v} \right]. \quad (4)$$

[0037] Fig. 6 stellt einen beispielhaften Steuerprozess 600 dar, der auf die in Fig. 3 dargestellte beispielhafte Zugkonfiguration 300, die den Anhänger 102 enthält, der nicht notwendig mit einem Lenkungssystem des Anhängers 102 ausgestattet ist, der aber mit einem oder mehreren eines Vortriebssystems und eines Bremssystems zum Anwenden eines Traktionsmoments auf ein oder mehrere Räder wie hier beschrieben ausgestattet sein kann, wodurch die Differentiallenkung des Anhängers 102 beeinflusst werden kann, anwendbar ist. Bei der Bestimmung des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels ($\theta_{1-target}$) 607 kann der Fahrzeuglenkwinkel (δ_v) 603 (z. B. von dem Lenkwinkelsensor 181) verwendet werden. Der Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) 605 (z. B. von dem Drehsensor 112) kann zusammen mit dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) 607 bei der Bestimmung eines Anhängerkupplungs-Knickwinkel-Fehlers bei dem Summierknoten 606 verwendet werden. Dieser Fehler kann durch die PID-Regelung 609 und daraufhin durch eine Steuertransformation 615 bei der Bestimmung von Geschwindigkeitseinstellungen zu seitlich gegenüberliegenden Rädern des Anhängers 102, um eine Differentiallenkung des Anhängers 102 zu bewirken, verarbeitet werden. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform stellt die Steuertransformation 615 die Ausgabe der PID-Regelung 609 zum Erzeugen einer an die Knoten 608 und 610 angelegten Raddrehzahleinstellung ein. Die Fahrzeuggeschwindigkeit (V) 601 (z. B. von den Raddrehzahlsensoren) wird ebenfalls für Summierknoten 608 und 610 bereitgestellt und repräsentiert die nicht eingestellte Raddrehzahl der Räder des Anhängers 102. Die eingestellten Raddrehzahlen des Anhängers 102 von dem Summierknoten 608 und 610 können daraufhin bei der Bestimmung von Traktionsmomentbefehlen (z. B. Vortrieb und/oder Bremsung) für das linke 611 und für das rechte 613 Rad des Anhängers 102 für das Vortriebs- und/oder Bremssystem des Anhängers 102 genutzt werden. Die PID-Regelung 609 ist beispielhaft und der Fachmann versteht, dass eine alternative Fehlerverarbeitungsregelung genutzt werden kann.

Patentansprüche

1. Zugsystem, das umfasst:

ein Zugfahrzeug (101);

einen ersten Anhänger (103);

einen zweiten Anhänger (102) zwischen dem Zugfahrzeug (101) und dem ersten Anhänger (103), wobei der zweite Anhänger (102) wenigstens eine Achse (120) und wenigstens zwei Räder (109) und ein Lenkungssystem (115) umfasst, wobei der zweite Anhänger (102) bei einem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) unter einem Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) mit dem Zugfahrzeug (101) gelenkig gekuppelt ist und bei einem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) mit dem ersten Anhänger (103) gelenkig gekuppelt ist; und

einen Controller (159), der den Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) durch Steuern der Lenkung der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) auf einen Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) festsetzt; **dadurch gekennzeichnet**, dass

der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) in Übereinstimmung mit den folgenden Beziehungen bestimmt wird:

$\theta_{1-target}$

$$= \sin^{-1} \frac{\lambda \tan \delta_v}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}} - \tan^{-1} \frac{e}{L_2 - c} - \cos^{-1} \frac{L_1}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_v)^2 + L_1^2}};$$

$$\lambda = \frac{(\alpha + L_1)^2 - (L_3^2 + d^2) + \frac{2bL_1}{\tan \delta_v} + b^2}{2L_3}; \text{ und}$$

$$L_3 = \sqrt{(L_2 - c)^2 + e^2};$$

wobei:

$\theta_{1-target}$ der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) ist;

L_1 ein Radstand des Zugfahrzeugs (101) ist;

L_2 eine Länge des zweiten Anhängers (102) zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) und dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) ist;

L_3 ein Abstand zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) und einem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger (102) ist;

δ_v der Lenkwinkel des Zugfahrzeugs (101) ist;

a ein Längsabstand von einem Vorderachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug (101) zu einem vorgegebenen

nen Punkt an dem Zugfahrzeug (101) ist;

b ein seitlicher Abstand von dem Vorderachsenmittelpunkt zu dem vorgegeben Punkt an dem Zugfahrzeug (101) ist;

c ein Längsabstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger (102) ist;

d ein Abstand zwischen einem Hinterachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug (101) und dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) ist; und

e ein seitlicher Abstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger (102) ist.

2. Zugsystem nach Anspruch 1, wobei das Steuern der Lenkung (115) der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) umfasst:

Bestimmen des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels ($\theta_{1-target}$) auf der Grundlage eines Lenkwinkels des Zugfahrzeugs (101);

Bestimmen eines Ziel-Lenkwinkels der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) auf der Grundlage des Lenkwinkels des Zugfahrzeugs (101) und des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels ($\theta_{1-target}$); und

Steuern eines Lenkwinkels der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) auf den Ziel-Lenkwinkel der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102).

3. Zugsystem nach Anspruch 2, wobei das Steuern der Lenkung (115) der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) ferner umfasst:

Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$); und

Einstellen des Ziel-Lenkwinkels der wenigstens zwei Räder (109) des zweiten Anhängers (102) auf der Grundlage des Fehlers.

4. Zugsystem, das umfasst:

ein Zugfahrzeug (101);

einen ersten Anhänger (103);

einen zweiten Anhänger (102) zwischen dem Zugfahrzeug (101) und dem ersten Anhänger (103), wobei der zweite Anhänger (102) wenigstens eine Achse (120) und wenigstens zwei Räder (109) umfasst, wobei der zweite Anhänger (102) bei einem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) unter einem Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) mit dem Zugfahrzeug (101) gelenkig gekuppelt ist und bei einem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) mit dem ersten Anhänger (103) gelenkig gekuppelt ist; und

einen Controller (159), der einen Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) durch Steuern einer Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern (109) des zweiten Anhängers (102) auf einen Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) festsetzt; **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) in Übereinstimmung mit den folgenden Beziehungen bestimmt wird:

$\theta_{1-target}$

$$= \sin^{-1} \frac{\lambda \tan \delta_V}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_V)^2 + L_1^2}} - \tan^{-1} \frac{e}{L_2 - c} - \cos^{-1} \frac{L_1}{\sqrt{d^2 (\tan \delta_V)^2 + L_1^2}};$$

$$\lambda = \frac{(\alpha + L_1)^2 - (L_3^2 + d^2) + \frac{2bL_1}{\tan \delta_V} + b^2}{2L_3}; \text{ und}$$

$$L_3 = \sqrt{(L_2 - c)^2 + e^2};$$

wobei:

$\theta_{1-target}$ der Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1-target}$) ist;

L_1 ein Radstand des Zugfahrzeugs (101) ist;

L_2 eine Länge des zweiten Anhängers (102) zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) und dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) ist;

L_3 ein Abstand zwischen dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) und einem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger (102) ist;

δ_v der Lenkwinkel des Zugfahrzeugs (101) ist;

a ein Längsabstand von einem Vorderachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug (101) zu einem vorgegebenen Punkt an dem Zugfahrzeug (101) ist;

b ein seitlicher Abstand von dem Vorderachsenmittelpunkt zu dem vorgegebenen Punkt an dem Zugfahrzeug (101) ist;

c ein Längsabstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger (102) ist;

d ein Abstand zwischen einem Hinterachsenmittelpunkt an dem Zugfahrzeug (101) und dem ersten Anhängerkupplungspunkt (H_1) ist; und

e ein seitlicher Abstand von dem zweiten Anhängerkupplungspunkt (H_2) zu dem vorgegebenen Punkt an dem zweiten Anhänger ist (102).

5. Zugsystem nach Anspruch 4, wobei das Steuern der Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern (109) des zweiten Anhängers (102) umfasst:

Bestimmen des Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkels ($\theta_{1\text{-target}}$) auf der Grundlage eines Lenkwinkels des Zugfahrzeugs (101);

Bestimmen eines Fehlers zwischen einem gemessenen Anhängerkupplungs-Knickwinkel (θ_1) und dem Ziel-Anhängerkupplungs-Knickwinkel ($\theta_{1\text{-target}}$); und

Einstellen der Drehzahldifferenz zwischen den wenigstens zwei Rädern (109) des zweiten Anhängers (102) auf der Grundlage des Fehlers.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

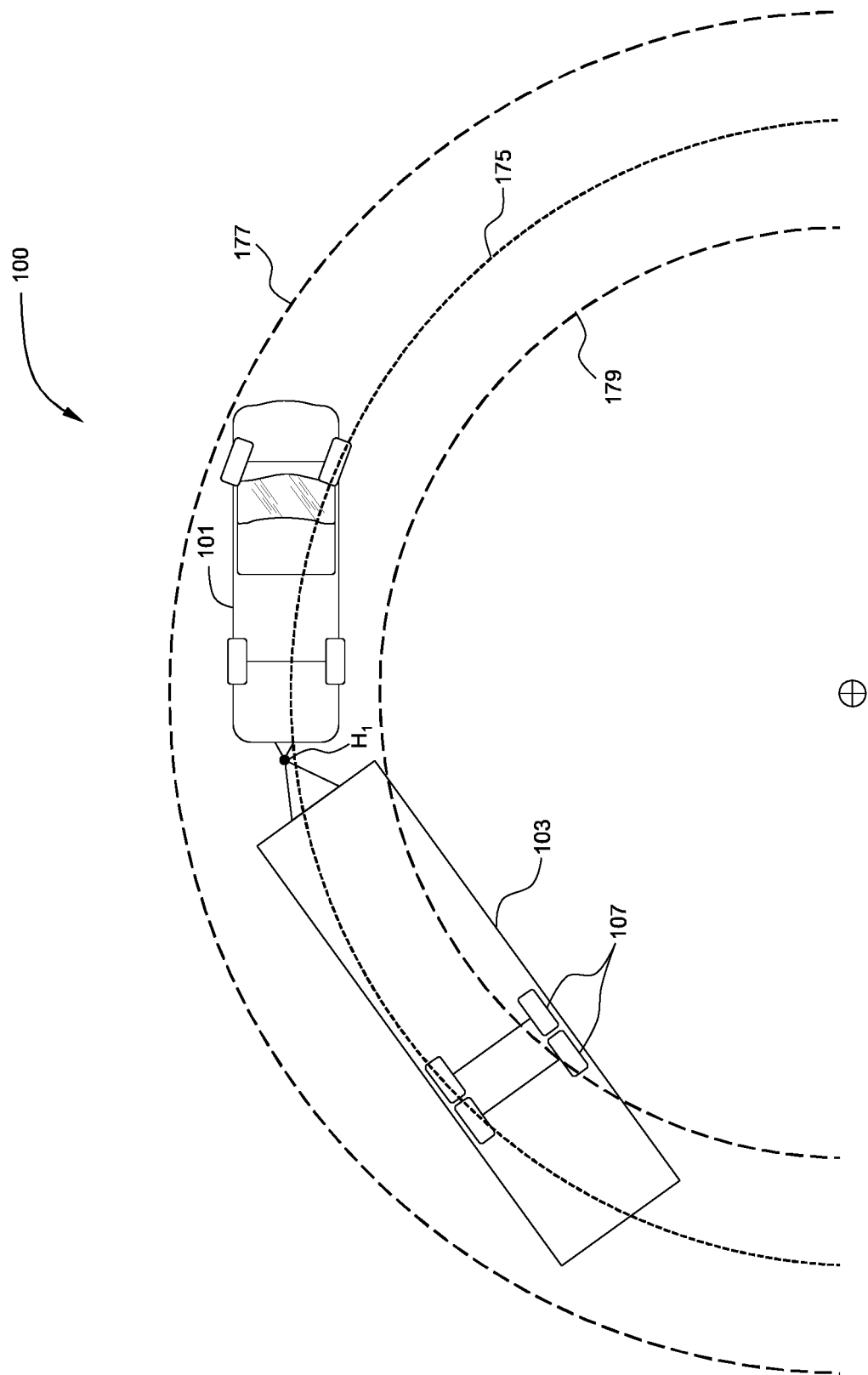


FIG. 1

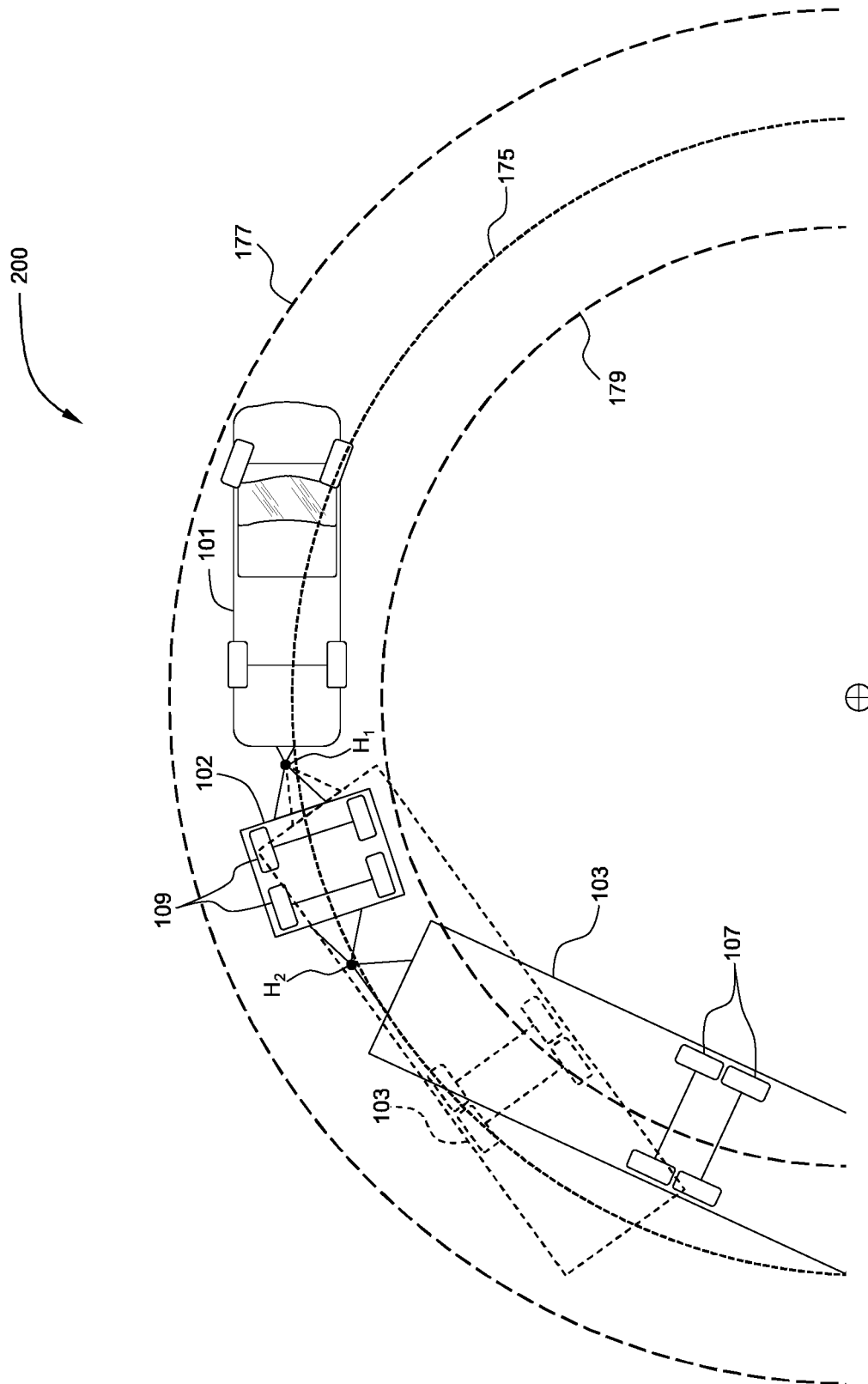


FIG. 2

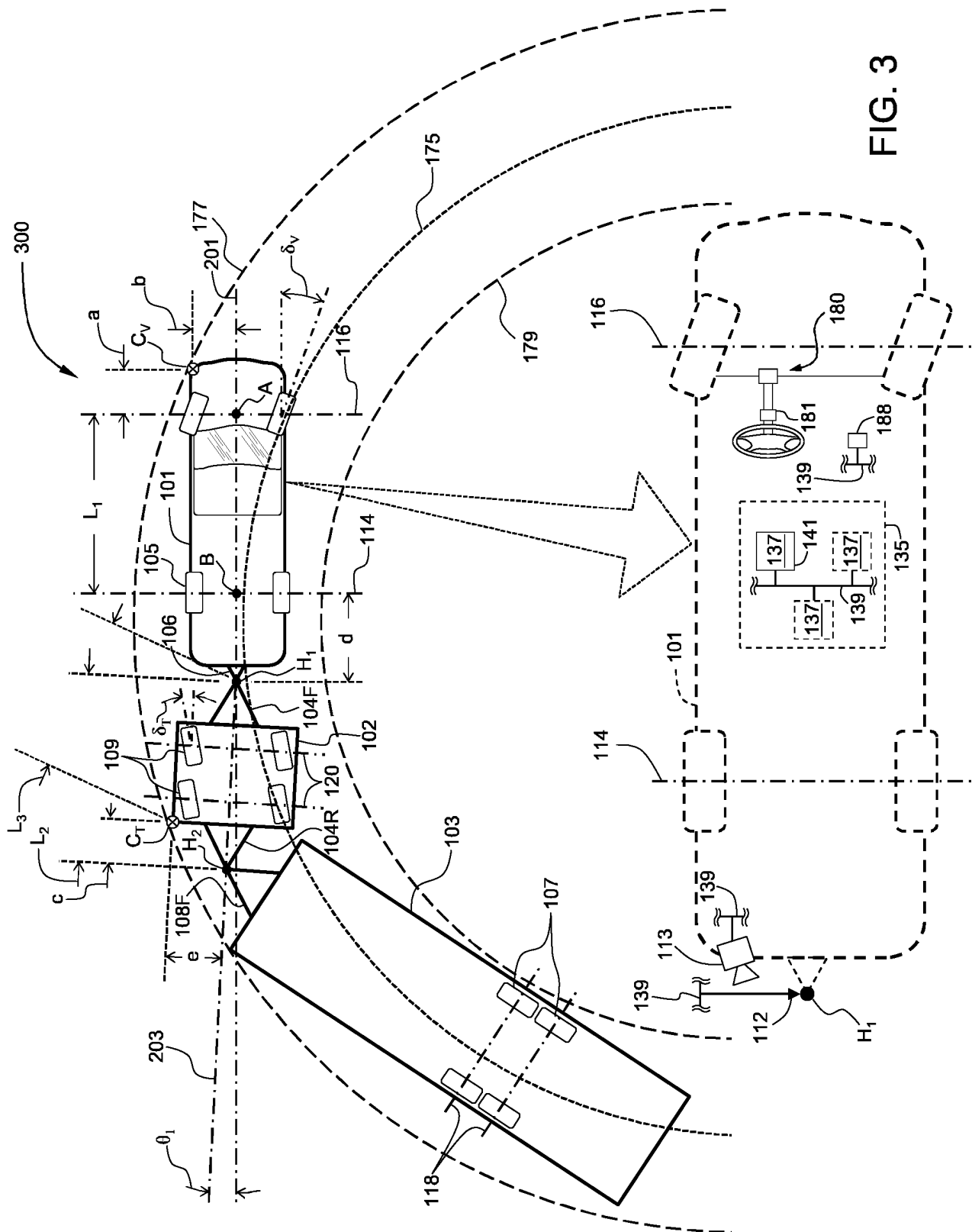


FIG. 3

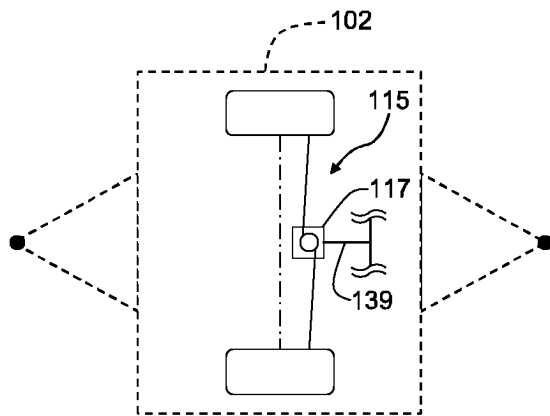


FIG. 4A

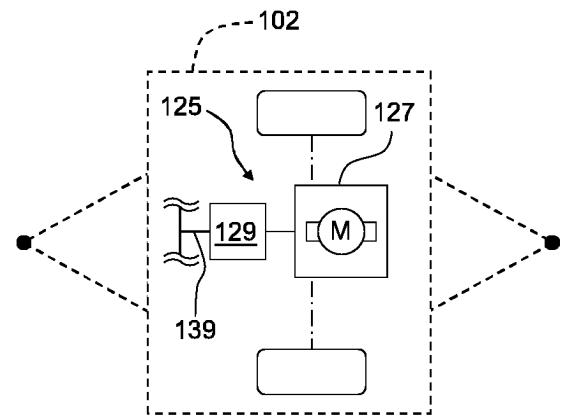


FIG. 4B

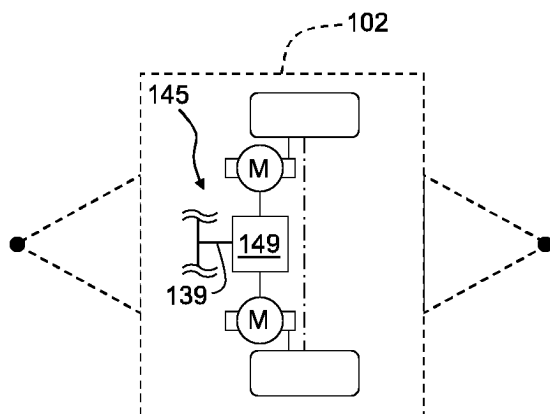


FIG. 4C

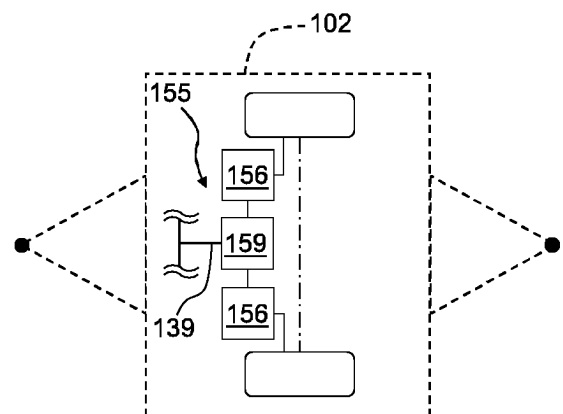


FIG. 4D

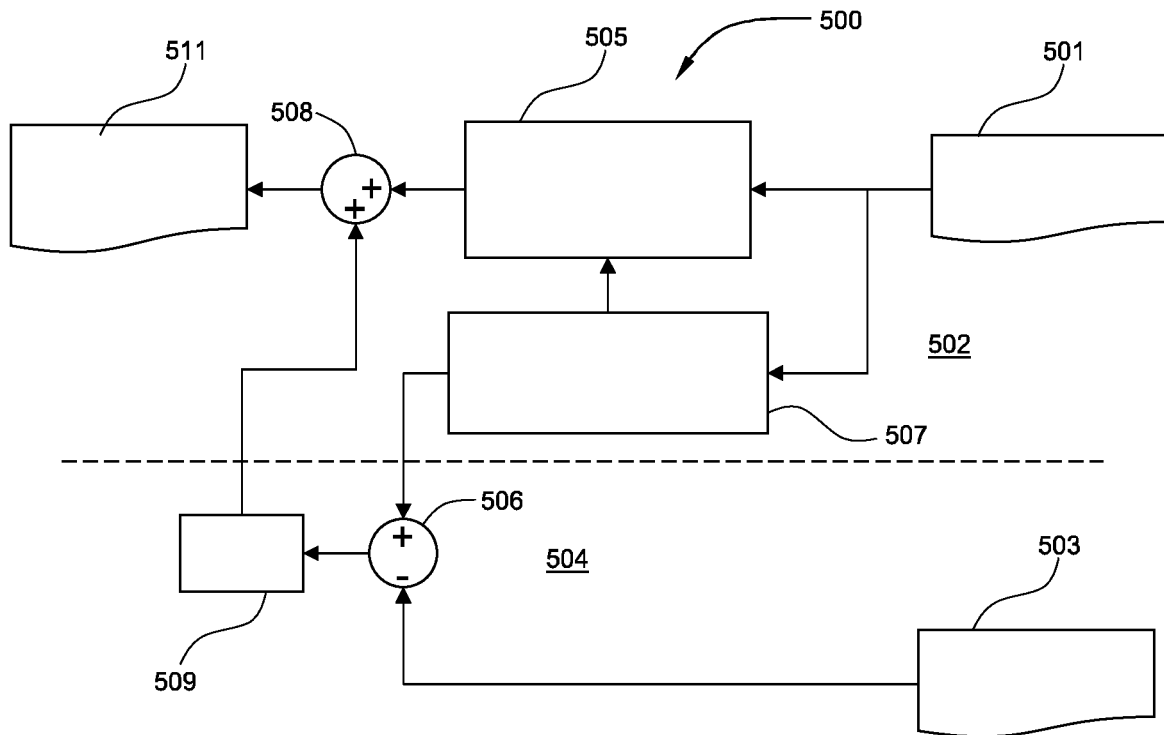


FIG. 5

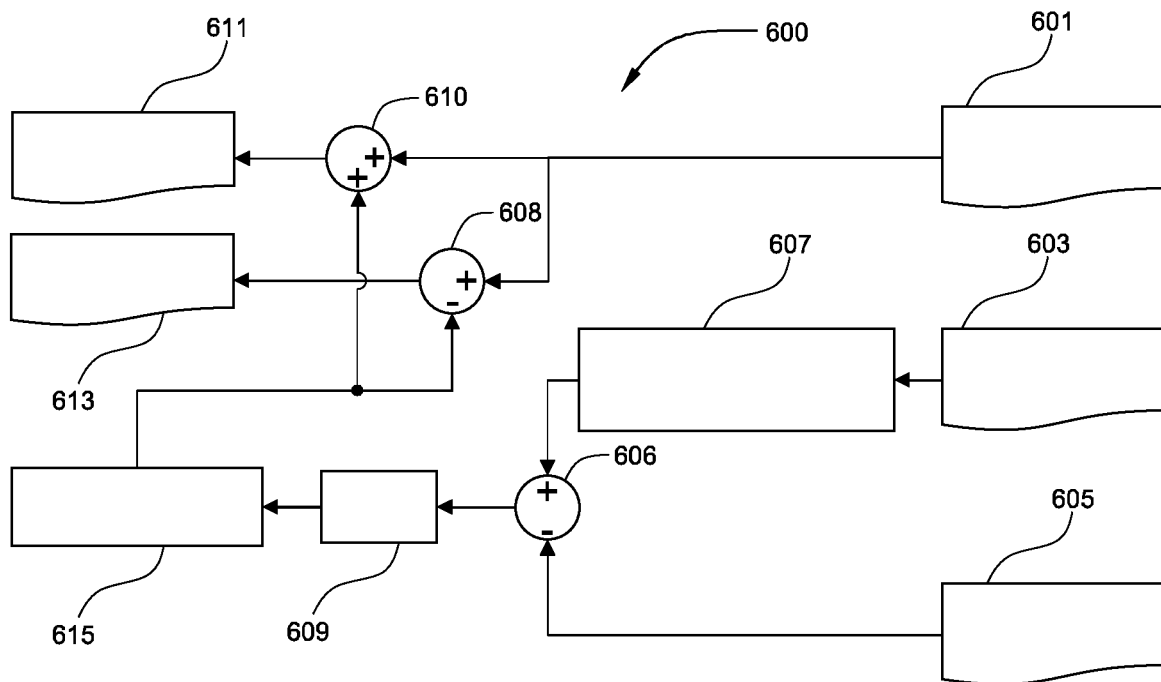


FIG. 6