



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 108 036.0**
 (22) Anmeldetag: **05.04.2018**
 (43) Offenlegungstag: **11.10.2018**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **24.06.2021**

(51) Int Cl.: **B60W 30/08 (2012.01)**
G08G 1/16 (2006.01)
B60W 40/02 (2006.01)
B60W 50/08 (2020.01)
B60W 60/00 (2020.01)
B60W 10/04 (2006.01)
B60W 10/18 (2012.01)
B60W 10/20 (2006.01)
G01C 21/34 (2006.01)
G01S 19/45 (2010.01)
G01S 17/88 (2006.01)
G06F 17/10 (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:
2017-076069 **06.04.2017** **JP**

(72) Erfinder:
Kindo, Toshiki, Toyota-shi, Aichi-ken, JP

(73) Patentinhaber:
TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA, Toyota-shi, Aichi-ken, JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:
JP **H11- 91 397** **A**

(74) Vertreter:
**KUHNEN & WACKER Patent- und
 Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising,
 DE**

(54) Bezeichnung: **Routeneinstellungsvorrichtung und Routeneinstellungsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Routeneinstellungsvorrichtung (101), die eine Route einstellt, auf der sich ein Host-Fahrzeugs fortbewegen soll, wobei die Routeneinstellungsvorrichtung aufweist:

eine Hinderniserkennungseinheit (12), die dafür ausgelegt ist, Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs zu erkennen;

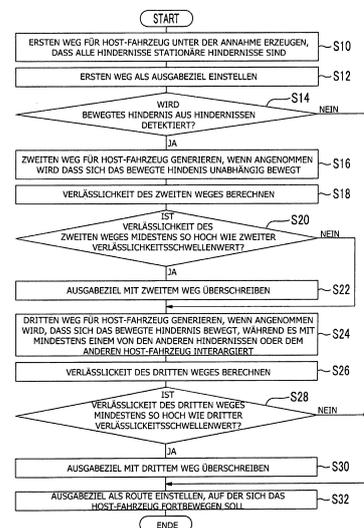
eine Einheit (15) zum Generieren eines ersten Weges, um einen ersten Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme zu generieren, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind;

eine Einheit (13) zum Detektieren bewegter Hindernisse, um ein bewegtes Hindernis aus den Hindernissen zu detektieren;

eine Einheit (16) zum Generieren eines zweiten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen zweiten Weges des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt;

eine Einheit (17) zum Generieren eines dritten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen dritten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem

von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert;
 eine ...



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Routeneinstellungsvorrichtung und ein Routeneinstellungsverfahren.

Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Die ungeprüfte japanische Patentanmeldung JP H11-91397 A ist in der einschlägigen Technik als Beispiel für eine Vorrichtung bekannt, die ein autonomes Fahren eines Host-Fahrzeugs durchführt. Eine in JP H11-91397 A offenbarte Steuervorrichtung für ein sich autonom fortbewegendes Fahrzeug führt ein autonomes Fahren (ein autonomes Fortbewegen) des Host-Fahrzeugs auf Basis des Ergebnisses einer Detektion einer Außenumgebung des Host-Fahrzeugs durch.

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0003] Um ein autonomes Fahren durch ein Host-Fahrzeug durchführen zu können, müssen anhand eines Verfahrens, das vorab in einer Steuervorrichtung des Host-Fahrzeugs eingestellt worden ist, Kandidaten für mögliche Wege des Host-Fahrzeugs generiert werden. Als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs muss unter Berücksichtigung einer Effizienz der Fortbewegung und dergleichen einer von den generierten Wegen eingestellt werden. Jedoch kann das Verfahren zum Generieren von Wegen, das unter anderem vorab in der Steuervorrichtung eingestellt worden ist, entsprechend der Situation des Host-Fahrzeugs ungeeignet sein. In einem solchen Fall sind alle Wege, die unter Verwendung des Verfahrens generiert worden sind, ungeeignet, und möglicherweise eignet sich keiner der Wege für die Einstellung als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs.

[0004] Auf dem vorliegenden technischen Gebiet besteht ein Bedarf an der Schaffung einer Routeneinstellungsvorrichtung und eines Routeneinstellungsverfahrens, durch die einer der Wege, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind, als geeignete Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs eingestellt werden kann.

[0005] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Routeneinstellungsvorrichtung, die eine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einstellt. Die Routeneinstellungsvorrichtung weist auf: eine Hinderniserkennungseinheit, die dafür ausgelegt ist, Hindernisse in der Umgebung des Fahrzeugs zu erkennen, eine Einheit zum Generieren eines ersten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen ersten Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme zu generieren, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind, eine Einheit zum Detektieren bewegter Hindernisse, die dafür ausgelegt ist, unter den Hindernissen ein bewegtes Hindernis zu detektieren, eine Einheit zum Generieren eines zweiten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen zweiten Weg für das Host-Fahrzeug zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, eine Einheit zum Generieren eines dritten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen dritten Weg für das Fahrzeug zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem der anderen Hindernisse oder mit dem Host-Fahrzeug interagiert, eine Verlässlichkeitsberechnungseinheit, die dafür ausgelegt ist, eine Verlässlichkeit des zweiten Weges und eine Verlässlichkeit des dritten Weges zu berechnen, und eine Routeneinstellungseinheit, die dafür ausgelegt ist, auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einzustellen.

[0006] Die Routeneinstellungsvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung generiert den ersten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind, generiert den zweiten Weg für das Host-Fahrzeug wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, und generiert den dritten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Die Routeneinstellungsvorrichtung berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges und stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Somit kann die Routeneinstellungsvorrichtung

als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einen von den Wegen einstellen, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

[0007] Wenn in der Routeneinstellungsvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie ein dritter Verlässlichkeitsschwellenwert, kann die Routeneinstellungseinheit als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den dritten Weg einstellen. Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie ein zweiter Verlässlichkeitsschwellenwert, kann die Routeneinstellungseinheit als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den zweiten Weg einstellen. Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert, kann die Routeneinstellungseinheit als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den ersten Weg einstellen. Die Routeneinstellungsvorrichtung kann als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs nacheinander den dritten Weg und den zweiten Weg einstellen, wenn die Verlässlichkeit ausreichend hoch ist. Wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges in der Routeneinstellungsvorrichtung nicht ausreichend hoch sind, wird als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der erste Weg eingestellt. Somit wird einer Situation entgegengewirkt, wo wegen der ungenügenden Verlässlichkeit des zweiten Weges und der ungenügenden Verlässlichkeit des dritten Weges keine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs eingestellt werden kann.

[0008] In der Routeneinstellungsvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Verlässlichkeitsberechnungseinheit die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf Basis einer Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und einer Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnen, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt. Die Routeneinstellungsvorrichtung führt die Berechnung auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs, die unter anderem anhand des Zustands eines Sensors des Host-Fahrzeugs erhalten wird, und der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses durch, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt. Somit kann die Routeneinstellungsvorrichtung die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf besser geeignete Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges nur anhand der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des sich unabhängig bewegenden Hindernisses berechnet wird.

[0009] In der Routeneinstellungsvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Verlässlichkeitsberechnungseinheit die Verlässlichkeit des dritten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnen, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Die Routeneinstellungsvorrichtung führt die Berechnung auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs, die unter anderem anhand des Zustands des Sensors des Host-Fahrzeugs erhalten wird, und der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Fahrzeugs durch, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Somit kann die Routeneinstellungsvorrichtung die Verlässlichkeit des dritten Weges auf besser geeignete Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges nur anhand der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des interaktiven bewegten Hindernisses berechnet wird.

[0010] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Routeneinstellungsvorrichtung, die eine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einstellt. Die Routeneinstellungsvorrichtung weist auf: eine Hinderniserkennungseinheit, die dafür ausgelegt ist, Hindernisse in der Umgebung des Fahrzeugs zu erkennen, eine Einheit zum Detektieren bewegter Hindernisse, die dafür ausgelegt ist, unter den Hindernissen ein bewegtes Hindernis zu detektieren, eine Einheit zum Generieren eines zweiten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen zweiten Weg für das Host-Fahrzeug zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, eine Einheit zum Generieren eines dritten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen dritten Weg für das Fahrzeug zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem der anderen Hindernisse oder mit dem Host-Fahrzeug interagiert, eine Verlässlichkeitsberechnungseinheit, die dafür ausgelegt ist, eine Verlässlichkeit des zweiten Weges und eine Verlässlichkeit des dritten Weges zu berechnen, und eine Routeneinstellungseinheit, die dafür ausgelegt ist, auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und des dritten Weges den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einzustellen.

[0011] Die Routeneinstellungsvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung generiert den zweiten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, und generiert den dritten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Die Routeneinstellungsvorrichtung berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges und stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs ein. Somit kann die Routeneinstellungsvorrichtung als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einen von den Wegen einstellen, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

[0012] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Routeneinstellungsverfahren, das eine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs so einstellt, dass Hindernissen ausgewichen wird. Das Routeneinstellungsverfahren beinhaltet: Generieren eines ersten Weges für das Fahrzeug unter der Annahme, dass alle Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs stationäre Hindernisse sind, Generieren eines zweiten Weges für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich ein bewegtes Hindernis, das unter den Hindernissen detektiert wird, unabhängig bewegt, Generieren eines dritten Weges für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem der anderen Hindernisse oder mit dem Host-Fahrzeug interagiert, Berechnen einer Verlässlichkeit des zweiten Weges und einer Verlässlichkeit des dritten Weges und Einstellen des ersten Weges, des zweiten Weges oder des dritten Weges als Route für das Host-Fahrzeug auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges.

[0013] Das Routeneinstellungsverfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung generiert den ersten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind, generiert den zweiten Weg für das Host-Fahrzeug wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, und generiert den dritten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Das Routeneinstellungsverfahren berechnet zumindest die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges und stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Somit kann das Routeneinstellungsverfahren als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einen von den Wegen einstellen, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

[0014] Im Routeneinstellungsverfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann beim Einstellen der Route als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der dritte Weg eingestellt werden, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie ein dritter Verlässlichkeitsschwellenwert. Beim Einstellen der Route kann als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der zweite Weg eingestellt werden, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie ein zweiter Verlässlichkeitsschwellenwert. Beim Einstellen der Route kann als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der erste Weg eingestellt werden, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert. Das Routeneinstellungsverfahren kann als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den dritten Weg und nachrangig den zweiten Weg einstellen, wenn die Verlässlichkeit ausreichend hoch ist. Wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges in der Routeneinstellungsvorrichtung nicht ausreichend hoch sind, wird als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der erste Weg eingestellt. Somit wird einer Situation entgegengewirkt, wo wegen der ungenügenden Verlässlichkeit des zweiten Weges und der ungenügenden Verlässlichkeit des dritten Weges keine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs eingestellt werden kann.

[0015] Im Routeneinstellungsverfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann bei der Berechnung der Verlässlichkeit die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet werden, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt. Das Routeneinstellungsverfahren führt die Berechnung auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs, die unter anderem anhand des Zustands eines Sensors des Host-Fahrzeugs erhalten wird, und der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Fahrzeugs durch, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt. Somit kann das Routenein-

stellungsverfahren die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf besser geeignete Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges nur anhand der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des sich unabhängig bewegenden Hindernisses berechnet wird.

[0016] Im Routeneinstellungsverfahren gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung kann bei der Berechnung der Verlässlichkeit die Verlässlichkeit des dritten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet werden, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Das Routeneinstellungsverfahren führt die Berechnung auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs, die unter anderem anhand des Zustands des Sensors des Host-Fahrzeugs erhalten wird, und der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Fahrzeugs durch, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Somit kann das Routeneinstellungsverfahren die Verlässlichkeit des dritten Weges auf besser geeignete Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges nur anhand der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des interaktiven bewegten Hindernisses berechnet wird.

[0017] Wie bisher beschrieben wurde, können gemäß den Aspekten der vorliegenden Erfindung als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs Wege geeignet eingestellt werden, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

Figurenliste

[0018] Merkmale, Vorteile und die technische und industrielle Bedeutung von als Beispiel dienenden Ausführungsformen der Erfindung werden nachstehend unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben, in denen gleiche Bezugszahlen gleiche Elemente bezeichnen:

Fig. 1 ist eine Skizze, die ein autonomes Fahrsystem gemäß der vorliegenden Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 2 ist ein Ablaufschema, das ein Routeneinstellungsverfahren veranschaulicht.

Fig. 3 ist ein Ablaufschema, das einen Prozess der Generierung eines dritten Weges veranschaulicht; und

Fig. 4 ist ein Ablaufschema, das einen Prozess zum Auswählen eines in Frage kommenden Weges veranschaulicht.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0019] Im Folgenden wird eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Eine Routeneinstellungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform bildet einen Teil eines autonomen Fahrsystems.

[0020] **Fig. 1** ist eine Skizze, die das autonome Fahrsystem gemäß der vorliegenden Ausführungsform veranschaulicht. Ein autonomes Fahrsystem **100**, das in **Fig. 1** veranschaulicht ist, führt ein autonomes Fahren eines Fahrzeugs, wie etwa eines Personenwagens aus. Das autonome Fahren ist eine Fahrzeugsteuerung, mit der das Fahrzeug autonom eine Strecke zu einem Ziel zurücklegt, das vorab eingestellt worden ist. Das Ziel kann von einem Insassen, wie etwa einem Fahrer, eingestellt werden oder kann vom autonomen Fahrsystem **100** automatisch eingestellt werden. Beim autonomen Fahren legt das Fahrzeug eine Strecke autonom zurück, und der Fahrer muss keine Fahrbetätigung durchführen. Im Folgenden wird das Fahrzeug, das ein Objekt für ein autonomes Fahren im autonomen Fahrsystem **100** ist, als Host-Fahrzeug bezeichnet.

Konfiguration eines autonomen Fahrsystems

[0021] Wie in **Fig. 1** veranschaulicht ist, ist das autonome Fahrsystem **100** so gestaltet, dass es eine Routeneinstellungsvorrichtung 101 aufweist. Die Routeneinstellungsvorrichtung 101 ist eine Vorrichtung, die unter anderem eine Route des Host-Fahrzeugs, das eine Strecke autonom fahrend zurücklegt, einstellt.

[0022] Das autonome Fahrsystem **100** weist eine elektronische Steuereinheit (ECU) **10** auf, die das gesamte System beherrscht. Die ECU **10** ist eine elektronische Steuereinheit, die eine zentrale Verarbeitungseinheit

(CPU), einen Nur-Lese-Speicher (ROM), einen Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM), eine Kommunikationsschaltung eines Controller Area Network (CAN) und dergleichen beinhaltet. Zum Beispiel verwirklicht die ECU **10** verschiedene Funktionen über die CAN-Kommunikationsschaltung durch Laden eines Programms, das im ROM gespeichert ist, in den RAM und Ausführen des Programms, das in den RAM geladen ist, durch die CPU. Die ECU **10** kann mit einer Mehrzahl elektronischer Einheiten gestaltet sein. Die ECU **10** ist mit einem GPS-Empfänger **1**, einem externen Sensor **2**, einem internen Sensor **3**, einer Landkartendatenbank **4**, einer HMI **5** und einem Stellantrieb **6** verbunden.

[0023] Der GPS-Empfänger **1** misst die Position des Host-Fahrzeugs (beispielsweise den Breitengrad und den Längengrad des Host-Fahrzeugs) durch Empfangen von Signalen von drei oder mehr GPS-Satelliten. Der GPS-Empfänger **1** sendet die Informationen über die gemessene Position des Fahrzeugs **2** an die ECU **10**.

[0024] Der externe Sensor **2** ist ein Detektor, der eine Situation in der Umgebung des Host-Fahrzeugs detektiert. Der Außensensor **2** beinhaltet eine Kamera und/oder einen Radarsensor. Die Kamera ist eine Bilderzeugungsvorrichtung, welche die Außensituation des Host-Fahrzeugs abbildet. Die Kamera ist hinter einer Windschutzscheibe des Host-Fahrzeugs angeordnet. Die Kamera sendet die Bildinformationen, welche die Außensituation des Host-Fahrzeugs betreffen, an die ECU **10**. Die Kamera kann eine monokulare Kamera oder eine Stereokamera sein. Die Stereokamera beinhaltet zwei Bildgebungseinheiten, die so angeordnet sind, dass sie eine binokulare Disparität reproduzieren.

[0025] Der Radarsensor ist ein Detektor, der ein Hindernis in der Umgebung des Host-Fahrzeugs unter Verwendung einer elektrischen Welle (beispielsweise einer Millimeterwelle) oder von Licht detektiert. Der Radarsensor beinhaltet einen Millimeterwellenradar oder LIDAR (Light Detection and Ranging). Der Radarsensor sendet eine elektrische Welle oder Licht in den Bereich in der Umgebung des Host-Fahrzeugs und detektiert ein Hindernis durch Empfangen einer elektrischen Welle oder von Licht, die bzw. das von dem Hindernis reflektiert wird. Der Radarsensor sendet die Informationen über das detektierte Hindernis an die ECU **10**. Der Radarsensor kann sowohl ein Millimeterwellenradar als auch LIDAR beinhalten.

[0026] Ein Verkehrssignal kann von der Kamera detektiert werden, und ein externes Hindernis kann anhand von LIDAR detektiert werden. In einem solchen Fall kann das Verkehrssignal unter Verwendung eines Templates detektiert werden, das auf Farbinformationen (beispielsweise Helligkeit) des von der Kamera erhaltenen Bildes oder auf der Form des Bildes basiert (zum Beispiel unter Verwendung einer Hough-Transformation). Landkarteninformationen, die nachstehend beschrieben sind, können verwendet werden, um die Genauigkeit der Detektion des Verkehrssignals zu verbessern.

[0027] Der Innensensor **3** ist ein Detektor, der den Zustand des Host-Fahrzeugs detektiert, das eine Strecke autonom zurücklegt. Der interne Sensor **3** beinhaltet einen Fahrzeuggeschwindigkeitssensor, einen Beschleunigungssensor und einen Gierratensensor. Der Fahrzeuggeschwindigkeitssensor ist ein Detektor, der die Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs detektiert. Zum Beispiel wird ein Raddrehzahlsensor, der in einem Rad des Host-Fahrzeugs angeordnet ist, oder eine Antriebswelle, die sich mit dem Rad dreht, als Fahrzeuggeschwindigkeitssensor verwendet. Der Fahrzeuggeschwindigkeitssensor sendet die Informationen über die detektierte Fahrzeuggeschwindigkeit (Raddrehzahlinformationen) an die ECU **10**.

[0028] Der Beschleunigungssensor ist ein Detektor, der die Beschleunigung des Host-Fahrzeugs detektiert. Zum Beispiel weist der Beschleunigungssensor einen Vorwärts- und Rückwärtsbeschleunigungssensor und einen Seitenbeschleunigungssensor auf. Der Vorwärts- und Rückwärtsbeschleunigungssensor detektiert die Vorwärts- und Rückwärtsbeschleunigung des Host-Fahrzeugs. Der Seitenbeschleunigungssensor nimmt die Seitenbeschleunigung des Host-Fahrzeugs wahr. Zum Beispiel sendet der Beschleunigungssensor die Beschleunigungsinformationen des Host-Fahrzeugs an die ECU **10**. Der Gierratensensor ist ein Detektor, der die Gierrate (Drehwinkelgeschwindigkeit) des Host-Fahrzeugs um die vertikale Achse am Schwerpunkt des Host-Fahrzeugs detektiert. Zum Beispiel kann ein Gyrosensor als Gierratensensor verwendet werden. Der Gierratensensor sendet die Informationen über die detektierte Gierrate des Host-Fahrzeugs an die ECU **10**.

[0029] Die Landkartendatenbank **4** ist eine Speichervorrichtung, in der die Landkarteninformationen gespeichert sind. Zum Beispiel ist die Landkartendatenbank **4** in einem Festplattenlaufwerk (HDD) ausgebildet, das im Host-Fahrzeug eingebaut ist. Die Landkarteninformationen schließen Traffic Rule Map ein. Traffic Rule Map ist eine Landkarte, die eine Verkehrsregel mit Positionsinformationen auf der Landkarte assoziiert. Traffic Rule Map beinhaltet Fahrstreifen- und Fahrstreifenverbindungsinformationen.

[0030] Die Landkarteninformationen können das Ausgangssignal des externen Sensors **2** einschließen, um eine Simultan-Lokalisierungs- und -Kartenerstellungstechnologie (SLAM) zu nutzen. Das heißt, die Landkarteninformationen schließen Localization Knowledge ein, das verwendet wird, um die Position des Host-Fahrzeugs zu erkennen. Localization Knowledge sind dreidimensionale Positionsdaten, die einen Merkmalspunkt mit Koordinaten verknüpfen. Beispiele für den Merkmalspunkt schließen einen Punkt ein, der eine vergleichsweise hohe Reflektanz im Detektionsergebnis von LIDAR und dergleichen hat, und eine Struktur (zum Beispiel das Äußere eines Schildes, eines Mastens und eines Bordsteins), die eine Form aufweist, die charakteristische Ränder aufweist.

[0031] Die Landkarteninformationen können Background Knowledge einschließen. Background Knowledge ist eine Landkarte, die Voxel verwendet, um ein dreidimensionales Objekt wiederzugeben, das als Hindernis (stationäres Hindernis) vorliegt, das stationär ist und seine Position auf der Landkarte nicht ändert. Die Landkarteninformationen können ferner Traffic Light Location einschließen, wobei es sich um dreidimensionale Positionsdaten des Verkehrssignals handelt

[0032] Die Landkarteninformationen können Oberflächenwissen bzw. Surface Knowledge einschließen, wobei es sich um Oberflächendaten handelt, welche die Beschaffenheit der Oberfläche betreffen. Die Landkarteninformationen können Trajectory Knowledge einschließen. Trajectory Knowledge sind Daten, die eine bevorzugte Fortbewegungsbahn wiedergeben, die auf der Straße definiert ist. Localization Knowledge, Background Knowledge, Traffic Light Location und Trajectory Knowledge können in einem Speicher gespeichert werden, der von der Landkartendatenbank **4** verschieden ist.

[0033] Die HMI **5** ist eine Schnittstelle zum Eingeben und Ausgeben von Informationen zwischen dem autonomen Fahrsystem **100** und dem Insassen. Zum Beispiel schließt die HMI **5** eine Anzeige und einen Lautsprecher ein. Die HMI **5** gibt gemäß einem Steuersignal von der ECU **10** ein Bild auf der Anzeige aus und gibt Töne aus dem Lautsprecher aus. Die Anzeige kann eine Frontscheibenanzeige sein. Zum Beispiel schließt die HMI **5** eine Eingabevorrichtung (eine Schaltfläche, ein Berührungsfeld, eine Spracheingabevorrichtung oder dergleichen) ein, um eine Eingabe vom Insassen zu empfangen.

[0034] Der Stellantrieb **6** ist eine Vorrichtung, die zum Steuern des Fahrzeugs verwendet wird. Der Stellantrieb **6** schließt zumindest ein Drosselstellglied, ein Bremsenstellglied und ein Lenkungsstellglied ein. Das Drosselstellglied regelt eine Antriebskraft des Fahrzeugs durch Regeln der Luftmenge, die zu einem Verbrennungsmotor geliefert wird (eines Drosselöffnungsgrads), gemäß einem Steuersignal von der ECU **10**. Wenn das Fahrzeug ein Hybridfahrzeug ist, wird die Antriebskraft durch Eingeben eines Steuersignals von der ECU **10** in einen Elektromotor als Leistungsquelle zusätzlich zum Steuern der Luftmenge, die zum Verbrennungsmotor geliefert wird, geregelt. Wenn das Fahrzeug ein Hybridfahrzeug ist, wird die Antriebskraft durch Eingeben eines Steuersignals von der ECU **10** in einen Elektromotor als Leistungsquelle zusätzlich zum Steuern der Luftmenge, die zum Verbrennungsmotor geliefert wird, geregelt. In solchen Fällen bildet der Elektromotor als Leistungsquelle den Stellantrieb **6**.

[0035] Der Bremsenstellantrieb steuert eine Bremsleistung, die an das Rad des Fahrzeugs angelegt wird, durch Steuern eines Bremssystems gemäß einem Steuersignal von der ECU **10**. Zum Beispiel kann ein hydraulisches Bremssystem als Bremssystem verwendet werden. Der Lenkungsstellantrieb steuert gemäß einem Steuersignal von der ECU **10** das Ansteuern eines Hilfsmotors, der ein Lenkungs Drehmoment in einem elektrischen Servolenkungssystem steuert. Somit steuert der Lenkungsstellantrieb das Lenkmoment des Fahrzeugs.

[0036] Nun wird eine funktionelle Konfiguration der ECU **10** beschrieben Die ECU **10** weist eine Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11**, eine Hinderniserkennungseinheit **12**, eine Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse, eine Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14**, eine Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges, eine Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges, eine Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, eine Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18**, eine Routeneinstellungseinheit **19**, eine Fortbewegungspiangenerierungseinheit **20** und eine Fortbewegungssteuereinrichtung **21** auf. Ein Teil der Funktionen der ECU **10** kann in einem Server ausgeführt werden, der mit dem Host-Fahrzeug kommuniziert.

[0037] Die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** erkennt die Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte (Host-Fahrzeugpositionsschätzung: Lokalisierung) auf Basis der Informationen über die Position des Host-Fahrzeugs, die am GPS-Empfänger **1** empfangen werden, und der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**. Genauer verwendet die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** Localization Knowledge der Landkartendatenbank **4** und das Detektionsergebnis des externen Sensors **2**, um die Position des Host-Fahrzeugs anhand einer SLAM-Technologie zu erkennen. Die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** kann

die Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte anhand eines bekannten Verfahrens erkennen. Wenn die Position des Host-Fahrzeugs von einem Sensor gemessen wird, der außerhalb der Straße und dergleichen angeordnet ist, kann die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** die Position des Host-Fahrzeugs durch Kommunikation mit dem Sensor erkennen.

[0038] Die Hinderniserkennungseinheit **12** detektiert Hindernisse (einschließlich der Positionen der Hindernisse) in der Umgebung des Host-Fahrzeugs auf Basis des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2** und der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**. Die Hinderniserkennungseinheit **12** detektiert die Hindernisse unter Verwendung des Abstands von der Oberfläche, wenn die Landkarteninformationen Surface Knowledge (Oberflächendaten) einschließen. Die Hinderniserkennungseinheit **12** kann die Hindernisse unter Verwendung des Abstands von der Oberfläche durch Anwenden eines geschätzten Oberflächenmodells auf das Detektionsergebnis des externen Sensors **2** detektieren. Die Hinderniserkennungseinheit **12** kann die Hindernisse anhand anderer bekannter Verfahren erkennen.

[0039] Die Hindernisse schließen ein stationäres Hindernis wie etwa einen Strommasten, eine Leitplanke, einen Baum und ein Gebäude, die sich nicht bewegen, und ein bewegtes Hindernis, wie etwa einen Fußgänger, ein Fahrrad und andere Fahrzeuge ein. Zum Beispiel erkennt die Hinderniserkennungseinheit **12** die Hindernisse jedes Mal dann, wenn die Hinderniserkennungseinheit **12** das Detektionsergebnis vom externen Sensor **2** erhält.

[0040] Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse detektiert ein bewegtes Hindernis aus den von der Hinderniserkennungseinheit **12** erkannten Hindernissen. Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse detektiert das bewegte Hindernis aus den Hindernissen mittels Background Knowledge. Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse kann das bewegte Hindernis anhand anderer bekannter Verfahren detektieren.

[0041] Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse schätzt den Bewegungsumfang des bewegten Hindernisses, sobald sie das bewegte Hindernis detektiert. Der Bewegungsumfang beinhaltet die Bewegungsrichtung und die Bewegungsgeschwindigkeit des bewegten Hindernisses. Der Bewegungsumfang kann die Drehzahl des bewegten Hindernisses einschließen. Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse kann einen Fehler im Bewegungsumfang schätzen.

[0042] Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse kann die Art des bewegten Hindernisses anhand von Informationen spezifizieren, die vom externen Sensor **2** erhalten werden. Wenn die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse die Art des bewegten Hindernisses spezifiziert, kann die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse den Bewegungsumfang und den Fehler in der Bewegung des bewegten Hindernisses auf Basis der Art des bewegten Hindernisses korrigieren.

[0043] Die Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14** erkennt den Fortbewegungszustand des Host-Fahrzeugs auf Basis des Detektionsergebnisses des internen Sensors **3** (zum Beispiel der Fahrzeuggeschwindigkeitsinformationen des Fahrzeuggeschwindigkeitssensors, der Beschleunigungsinformationen des Beschleunigungssensors und der Gierrateninformationen des Gierratensensors). Zum Beispiel beinhaltet der Fortbewegungszustand des Host-Fahrzeugs die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Beschleunigung und die Gierrate.

[0044] Die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges generiert einen ersten Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme, dass sämtliche Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs stationäre Hindernisse sind. Der erste Weg ist ein Weg, auf dem einem stationären Hindernis ausgewichen werden kann und der unter Verwendung des Verfahrens generiert wird, bei dem angenommen wird, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind. Der erste Weg beinhaltet mindestens einen in Frage kommenden Weg, mit dem bewirkt werden kann, dass sich das Fahrzeug unter Vermeidung der Hindernisse fortbewegt. Im Folgenden wird die Annahme, dass alle Hindernisse stationäre Hindernisse sind, als Annahme von stationären Hindernissen bezeichnet.

[0045] Die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges generiert den ersten Weg auf Basis des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2**, der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, die von der Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** erkannt wird, von Informationen über die Hindernisse, die von der Hinderniserkennungseinheit **12** erkannt werden, des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs, der von der Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14** erkannt wird, und dergleichen. Die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges kann den ersten Weg anhand anderer bekannter Verfahren generieren.

[0046] Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges generiert einen zweiten Weg des Host-Fahrzeugs, wenn angenommen wird, dass sich ein bewegtes Hindernis unabhängig bewegt. Die unabhängige Bewegung des bewegten Hindernisses bedeutet, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig von der Anwesenheit anderer Hindernisse und des Host-Fahrzeugs bewegt. Zum Beispiel wird angenommen, dass ein anderes Fahrzeug, das sich dem Host-Fahrzeug auf einer Seite des Host-Fahrzeugs nähert, nicht aufgrund der Anwesenheit des Host-Fahrzeugs langsamer wird (nicht interagiert) und seine aktuelle Richtung und Geschwindigkeit beibehält. Im Folgenden wird die Annahme, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, als Annahme einer unabhängigen Bewegung bezeichnet.

[0047] Der zweite Weg ist ein Weg, mit dem einem sich unabhängig bewegenden Hindernis ausgewichen werden kann und der unter Verwendung der Annahme einer unabhängigen Bewegung generiert wird. Der zweite Weg beinhaltet mindestens einen in Frage kommenden Weg, mit dem bewirkt werden kann, dass sich das Fahrzeug unter Vermeidung der Hindernisse fortbewegt.

[0048] Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges generiert den zweiten Weg, für den die Annahme einer unabhängigen Bewegung verwendet wird, auf Basis des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2**, der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, die von der Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** erkannt wird, von Informationen über die Hindernisse, die von der Hinderniserkennungseinheit **12** erkannt werden, des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs, der von der Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14** erkannt wird, und dergleichen.

[0049] Genauer sagt die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges einen in Frage kommenden Weg des bewegten Hindernisses unter Verwendung der Annahme einer unabhängigen Bewegung voraus. Wenn sich das bewegte Hindernis innerhalb eines Fahrstreifens befindet, kann die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges den in Frage kommenden Weg voraussagen, auf dem sich das bewegte Hindernis auf dem Fahrstreifen vorwärts bewegt. Wenn ein Verzweigungspunkt in der Mitte des Fahrstreifens vorhanden ist, teilt sich der in Frage kommende Weg des bewegten Hindernisses ebenfalls in zwei oder mehr Zweige. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges sagt einen möglichen in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs unter Verwendung eines bekannten Verfahrens voraus. Der mögliche in Frage kommende Weg des Host-Fahrzeugs ist ein möglicher in Frage kommender Weg des Host-Fahrzeugs, bei dem der Einfluss der Anwesenheit des bewegten Hindernisses nicht berücksichtigt wird. Der in Frage kommende Weg, der im ersten Weg enthalten ist, der von der Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges generiert wird, kann als möglicher in Frage kommender Weg des Host-Fahrzeugs verwendet werden.

[0050] Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges bestimmt eine Überschneidung zwischen dem möglichen in Frage kommenden Weg des bewegten Hindernisses und dem möglichen in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme einer unabhängigen Bewegung. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges bestimmt, ob oder ob nicht der in Frage kommende Weg, auf dem sich das bewegte Hindernis unabhängig von der Anwesenheit anderer Hindernisse und des Host-Fahrzeugs bewegt, den möglichen in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs überlappt (schneidet). Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges generiert als Weg, der als zweiter Weg in Frage kommend ist, einen in Frage kommenden Weg, der den unter der Annahme einer unabhängigen Bewegung in Frage kommenden Weg des bewegten Hindernisses nicht schneidet, aus den möglichen in Frage kommenden Wegen des Host-Fahrzeugs.

[0051] Wenn es keinen in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs gibt, der unter der Annahme einer unabhängigen Bewegung den in Frage kommenden Weg des bewegten Hindernisses nicht überlappt, führt die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges eine Berechnung zur Vermeidung einer Kollision durch Anpassen der Fahrzeuggeschwindigkeit (des Geschwindigkeitsprofils) des Host-Fahrzeugs durch. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges generiert als Weg, der für den zweiten Weg in Frage kommend ist, einen in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs, auf dem eine Kollision durch Anpassen der Fahrzeuggeschwindigkeit des Host-Fahrzeugs vermieden werden kann. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges kann den zweiten Weg anhand anderer bekannter Verfahren generieren.

[0052] Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges muss für die Generierung des zweiten Weges nicht alle Hindernisse (einschließlich der bewegten Hindernisse) berücksichtigen. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges kann den zweiten Weg unter Berücksichtigung lediglich derjenigen Hindernisse, die einen relativ erheblichen Einfluss auf die Generierung des Weges des Host-Fahrzeugs haben, generieren. Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges kann den zweiten Weg unter Berücksichtigung von lediglich solchen Hindernissen, die innerhalb eines bestimmten Abstands zum Host-Fahrzeug positioniert sind, auf Basis der Tatsache generieren, dass Hindernisse, die in der Nähe des Host-Fahrzeugs positioniert sind,

einen relativ erheblichen Einfluss auf die Generierung des Weges des Host-Fahrzeugs haben und dass Hindernisse, die fern vom Host-Fahrzeug positioniert sind, einen relativ unerheblichen (oder gar keinen) Einfluss auf die Generierung des Weges des Host-Fahrzeugs haben. Diese Tatsache trifft auch auf die Generierung eines nachstehend beschriebenen dritten Weges zu.

[0053] Die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges generiert den dritten Weg des Host-Fahrzeugs, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Die Bewegung des bewegten Hindernisses, während es mit den anderen Hindernissen und dem Host-Fahrzeug interagiert, bedeutet, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es unter anderem langsamer wird, falls dies nötig ist, um einen Kontakt mit einem anderen Fahrzeug oder dem Host-Fahrzeug zu vermeiden. Das bewegte Hindernis kann vorübergehend anhalten, um einen Kontakt mit einem anderen Hindernis oder dem Host-Fahrzeug zu vermeiden. Wenn sich der in Frage kommende Weg des bewegten Hindernisses in mehrere Wege verzweigt, kann die Auswahl der in Frage kommenden Wege des bewegten Hindernisses unter Verwendung des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2** eingeschränkt werden. Im Folgenden wird die Annahme, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert, oder dass die Wege des bewegten Hindernisses verengt werden, als Interaktionsannahme bezeichnet.

[0054] Der dritte Weg ist ein Weg, mit dem einem sich interaktiv bewegenden Hindernis ausgewichen werden kann und der unter Verwendung der Interaktionsannahme generiert wird. Der dritte Weg schließt mindestens einen in Frage kommenden Weg ein, mit dem bewirkt werden kann, dass sich das Fahrzeug unter Vermeidung der Hindernisse fortbewegt.

[0055] Die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges generiert den dritten Weg, für den die Interaktionsannahme verwendet wird, auf Basis des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2**, der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, die von der Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** erkannt wird, von Informationen über die Hindernisse, die von der Hinderniserkennungseinheit **12** erkannt werden, des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs, der von der Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14** erkannt wird, und dergleichen. Die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges generiert den dritten Weg unter Berücksichtigung dessen, dass das bewegte Hindernis aufgrund der Interaktion mit mindestens einem der anderen Hindernisse oder dem Host-Fahrzeug langsamer wird oder vorübergehend anhält. Anders ausgedrückt generiert die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges einen effizienteren Weg für das Host-Fahrzeug unter Berücksichtigung der Möglichkeit, den Einfluss des bewegten Hindernisses aufzuheben. Die Generierung des dritten Weges unter Verwendung der Interaktionsannahme wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0056] Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges. Die Verlässlichkeit des zweiten Weges ist das Ergebnis der Evaluierung der Eignung des zweiten Weges. Die Verlässlichkeit des dritten Weges ist das Ergebnis der Evaluierung der Eignung des dritten Weges. Die Berechnung der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0057] Die Routeneinstellungseinheit **19** stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie ein dritter Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert ist ein Schwellenwert, der vorab eingestellt wird. Die Route bedeutet einen Weg, der schließlich für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs verwendet wird. Der Weg steht zur Wahl für die Route, die verwendet wird, um die Route einzustellen. Wenn der dritte Weg nur einen in Frage kommenden Weg beinhaltet, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den in Frage kommenden Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn beispielsweise eine Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen im dritten Weg vorhanden ist, dann stellt die Routeneinstellungseinheit **19** unter dem Gesichtspunkt einer Fortbewegungseffizienz einen von den in Frage kommenden Wegen als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Die Routeneinstellungseinheit **19** kann einen in Frage kommenden Weg, der den kürzesten Abstand zum Ziel hat, als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einstellen oder kann unter Berücksichtigung eines Staus und dergleichen einen in Frage kommenden Weg, auf dem das Ziel in einer kürzesten Zeit erreicht wird, als die Route einstellen, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

[0058] Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges geringer ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den zweiten Weg ein, wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie ein zweiter Verlässlichkeitsschwellenwert. Der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert ist ein Schwellenwert, der vorab eingestellt wird. Wenn der zweite Weg nur einen in Frage kommenden Weg beinhaltet, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den in Frage kommenden Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn eine Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen für den zweiten Weg vorhanden ist, dann stellt die Routeneinstellungseinheit **19** auf die gleiche Weise wie im Fall des dritten Weges einen von in Frage kommenden Wegen als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

[0059] Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den ersten Weg ein. Wenn der erste Weg einen einzigen in Frage kommenden Weg beinhaltet, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den in Frage kommenden Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn eine Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen für den ersten Weg vorhanden ist, dann stellt die Routeneinstellungseinheit **19** auf die gleiche Weise wie im Fall des dritten Weges einen von den in Frage kommenden Wegen als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

[0060] Die Routeneinstellungseinheit **19** bildet die Routeneinstellungsvorrichtung 101 gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Wie in **Fig. 1** veranschaulicht ist, bilden die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11**, die Hinderniserkennungseinheit **12**, die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse, die Fortbewegungszustandserkennungseinheit **14**, die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges, die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges, die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** und die Routeneinstellungseinheit **19** im autonomen Fahrsystem **100** die Routeneinstellungsvorrichtung 101, welche die Route für das Host-Fahrzeug einstellt.

[0061] Die Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** generiert einen Fortbewegungsplan, welcher der Route entspricht, die von der Routeneinstellungseinheit **19** eingestellt worden ist. Die Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** generiert den Fortbewegungsplan, welcher der Route des Host-Fahrzeugs entspricht, auf Basis des Detektionsergebnisses des externen Sensors **2** und der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4**.

[0062] Auch wenn die Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** nicht besonders beschränkt ist, so gibt die Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** vorzugsweise den generierten Fortbewegungsplan, das heißt die Route des Host-Fahrzeugs, als Mehrzahl von Sätzen aus, die jeweils mit zwei Elementen konfiguriert sind, nämlich einer Sollposition p und einer Geschwindigkeit v am jeweiligen Zielpunkt in einem Koordinatensystem, das in Bezug auf das Host-Fahrzeug festgelegt ist. Das heißt, jeder Satz besteht aus Konfigurationskoordinaten (p,v) . Die Sollposition p beinhaltet zumindest die Positionen einer x -Koordinate und einer y -Koordinate oder Informationen, die den Positionen der x -Koordinate und der y -Koordinate in dem Koordinatensystem, das in Bezug auf das Host-Fahrzeug festgelegt ist, entsprechen. Der Fortbewegungsplan ist nicht besonders beschränkt, vorausgesetzt, dass der Fortbewegungsplan das Verhalten des Host-Fahrzeugs beschreibt. Zum Beispiel kann der Fortbewegungsplan eine Sollzeit t anstelle der Geschwindigkeit v verwenden, oder die Sollzeit t und das Azimut des Host-Fahrzeugs zur jeweiligen Zeit können zum Fortbewegungsplan hinzugefügt werden.

[0063] Im Allgemeinen besteht der Fortbewegungsplan einfach aus Daten, die einen Zustand in der Zukunft, einige Sekunden nach der aktuellen Zeit, darstellen. Jedoch werden gemäß Situationen wie etwa einem Rechtsabbiegen an einer Kreuzung und beim Überholen des Host-Fahrzeugs Daten benötigt, die einen Zustand in einigen zehn Sekunden angeben. Auch wenn dafür keine besondere Beschränkung besteht, ist es somit bevorzugt, dass die Anzahl der Konfigurationskoordinaten des Fortbewegungsplans geändert werden kann und dass der Abstand zwischen den Konfigurationskoordinaten geändert werden kann. Eine Kurve, welche die Koordinationskoordinaten verbindet, kann anhand einer Splinefunktion und dergleichen durch Approximation erhalten werden, und Parameter der Kurve können als Fortbewegungsplan verwendet werden. Für die Generierung des Fortbewegungsplans kann jedes bekannte Verfahren verwendet werden, vorausgesetzt, dass der Fortbewegungsplan das Verhalten des Host-Fahrzeugs beschreiben kann.

[0064] Der Fortbewegungsplan kann aus Daten bestehen, die unter anderem eine Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit, der Beschleunigung/Verlangsamung und des Lenkungsdrehmoments des Host-Fahrzeugs angeben, wenn sich das Host-Fahrzeug auf der Route fortbewegt. Der Fortbewegungsplan kann ein Geschwin-

digkeitsmuster, ein Beschleunigungs-/Verlangsamungsmuster und ein Lenkmuster des Host-Fahrzeugs einschließen. Die Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** kann den Fortbewegungsplan generieren, bei dem die Reisezeit (eine Zeitspanne, die das Host-Fahrzeug braucht, um am Ziel anzukommen) am kürzesten ist.

[0065] Zum Beispiel besteht das Geschwindigkeitsmuster aus Daten, die mit einer Soll-Fahrzeuggeschwindigkeit konfiguriert sind, die in Verbindung mit einer Zeit pro Soll-Steuerungsposition eingestellt wird. Die Soll-Steuerungspositionen werden in vorgegebenen Intervallen (beispielsweise 1 m) auf der Route eingestellt. Zum Beispiel besteht das Beschleunigungs-/Verlangsamungsmuster aus Daten, die mit einer Soll-Beschleunigung/Verlangsamung konfiguriert sind, die in Verbindung mit einer Zeit pro Soll-Steuerungsposition eingestellt wird. Die Soll-Steuerungspositionen werden in vorgegebenen Intervallen (beispielsweise 1 m) auf der Route eingestellt. Zum Beispiel besteht das Lenkungsmuster aus Daten, die mit einem Soll-Lenkungsdrehmoment konfiguriert sind, das in Verbindung mit einer Zeit pro Soll-Steuerungsposition eingestellt wird. Die Soll-Steuerungspositionen werden in vorgegebenen Intervallen (beispielsweise 1 m) auf der Route eingestellt.

[0066] Die Fortbewegungsregelungseinheit **21** regelt die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs automatisch auf Basis des von der Fortbewegungsplangenerierungseinheit **20** generierten Fortbewegungsplans. Die Fortbewegungsregelungseinheit **21** gibt ein Steuersignal, das dem Fortbewegungsplan entspricht, an den Stellantrieb **6** aus. Demgemäß regelt die Fortbewegungsregelungseinheit **21** die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs so, dass sich das Host-Fahrzeug automatisch gemäß dem Fortbewegungsplan fortbewegt. Die Fortbewegungsregelungseinheit **21** kann ein autonomes Fahren des Host-Fahrzeugs anhand eines bekannten Verfahrens ausführen.

Prozesse des autonomen Fahrsystems

[0067] Nun werden Prozesse des autonomen Fahrsystems **100** (Prozesse der Routeneinstellungsvorrichtung 101) beschrieben. Zunächst wird eine Erkennung durch das autonome Fahrsystem **100** beschrieben. Es kann von Vorteil sein, die Interaktion mit einem anderen Fahrzeug zu berücksichtigen, um die Erkennungsgenauigkeit des autonomen Fahrsystems **100** zu erhöhen. Anders ausgedrückt sind Erkennung und Bestimmung miteinander assoziiert. Daher führt das autonome Fahrsystem **100** eine Mehrzahl von Arten einer Bestimmung (Planung) gemäß der Art der Erkennung durch. Das heißt, das autonome Fahrsystem **100** weist eine Mehrzahl von Rechenschichten für die Bestimmung (Planung) gemäß der Ebene der Erkennung durch. Die Schichten entsprechen dem ersten Weg, dem zweiten Weg und dem dritten Weg.

Routeneinstellungsverfahren

[0068] **Fig. 2** ist ein Ablaufschema, das ein Routeneinstellungsverfahren im autonomen Fahrsystem **100** veranschaulicht. Der Prozess im Ablaufschema, das in **Fig. 2** veranschaulicht ist, wird während der autonomen Fahrsteuerung nach Bedarf ausgeführt.

[0069] Wie in **Fig. 2** veranschaulicht ist, verwendet die ECU **10** des autonomen Fahrsystems **100** in S10 die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges, um den ersten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren (Schritt für das Generieren eines ersten Weges). Die Einheit **15** zum Generieren eines ersten Weges generiert den ersten Weg des Host-Fahrzeugs, wenn angenommen wird, dass sämtliche Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs stationäre Hindernisse sind (Annahme von stationären Hindernissen), auf Basis der Landkarteninformationen, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, von Informationen über die Hindernisse und des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs.

[0070] In S12 verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um den ersten Weg als Ausgabeziel einzustellen.

[0071] In S14 bestimmt die ECU **10**, ob oder ob nicht die Einheit **13** zum Erkennen bewegter Hindernisse das bewegte Hindernis aus den Hindernissen detektiert (Schritt zum Bestimmen eines bewegten Hindernisses). Die Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse detektiert das bewegte Hindernis aus den Hindernissen mittels Background Knowledge. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass das bewegte Hindernis nicht aus den Hindernissen detektiert wird (S14): NEIN), geht die ECU **10** zu S32 weiter. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass das bewegte Hindernis aus den Hindernissen detektiert wird (S14): JA), geht die ECU **10** zu S16 weiter.

[0072] In S16 verwendet die ECU **10** die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges, um den zweiten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren (Schritt für das Generieren eines zweiten Weges). Die Einheit **16** zum Generieren eines zweiten Weges generiert den zweiten Weg, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte

Hindernis unabhängig bewegt (Annahme einer unabhängigen Bewegung), auf Basis der Landkarteninformationen, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, von Informationen über die Hindernisse und des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs.

[0073] In **S18** verwendet die ECU **10** die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18**, um die Verlässlichkeit des zweiten Weges zu berechnen (Schritt zum Berechnen der Verlässlichkeit des zweiten Weges). Die Berechnung der Verlässlichkeit des zweiten Weges wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0074] In **S20** verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um zu bestimmen, ob oder ob nicht die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert (**S20**: JA), geht die ECU **10** zu **S22** weiter. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert (**S20**: NEIN), geht die ECU **10** zu **S24** weiter.

[0075] In **S22** verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um das Ausgabeziel mit dem zweiten Weg zu überschreiben. Das heißt, das Ausgabeziel wird vom ersten Weg in den zweiten Weg geändert. Dann geht die ECU **10** zu **S24** weiter.

[0076] In **S24** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um den dritten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren (Schritt für das Generieren eines dritten Weges). Die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges generiert den dritten Weg, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert (Interaktionsannahme), auf Basis der Landkarteninformationen, der Position des Host-Fahrzeugs auf der Landkarte, von Informationen über die Hindernisse und des Fortbewegungszustands des Host-Fahrzeugs. Die Generierung des dritten Weges wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0077] In **S26** verwendet die ECU **10** die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18**, um die Verlässlichkeit des dritten Weges zu berechnen (Schritt zum Berechnen der Verlässlichkeit des dritten Weges). Die Berechnung der Verlässlichkeit des dritten Weges wird nachstehend ausführlich beschrieben.

[0078] In **S28** verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um zu bestimmen, ob oder ob nicht die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert (**S28**: JA), geht die ECU **10** zu **S30** weiter. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert (**S28**: NEIN), geht die ECU **10** zu **S32** weiter.

[0079] In **S30** verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um das Ausgabeziel mit dem dritten Weg zu überschreiben. Das heißt, das Ausgabeziel wird vom ersten Weg oder vom zweiten Weg in den dritten Weg geändert. Dann geht die ECU **10** zu **S32** weiter.

[0080] In **S32** verwendet die ECU **10** die Routeneinstellungseinheit **19**, um als Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, das Ausgabeziel einzustellen (Routeneinstellungsschritt). Wenn das Ausgabeziel der erste Weg ist, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** einen in Frage kommenden Weg, der im ersten Weg enthalten ist, als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn das Ausgabeziel der zweite Weg ist, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** einen in Frage kommenden Weg, der im zweiten Weg enthalten ist, als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

[0081] Wenn das Ausgabeziel der dritte Weg ist, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** einen in Frage kommenden Weg, der im dritten Weg enthalten ist, als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn es beispielsweise eine Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen gibt, dann stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den in Frage kommenden Weg mit der höchsten Fortbewegungseffizienz als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, eingestellt ist, beendet die ECU **10** den aktuellen Prozess.

[0082] Das heißt, es wird eine Bestimmung (der erste Weg, der zweite Weg und der dritte Weg), die den drei Arten der Erkennung (der Annahme eines stationären Hindernisses, der Annahme einer unabhängigen Bewegung und der Interaktionsannahme) entspricht, berechnet. Die ECU **10** kann den Prozess von S14 im

Routeneinstellungsverfahren weglassen. In einem solchen Fall wird der Prozess **S16** nach dem Prozess von **S12** gestartet.

[0083] Prozess der Generierung des dritten Weges.

[0084] Es wird ein Prozess der Generierung des dritten Weges im autonomen Fahrsystem **100** beschrieben. **Fig. 3** ist ein Ablaufschema, das den Prozess der Generierung eines dritten Weges veranschaulicht. Der Prozess der Generierung des dritten Weges entspricht dem Prozess von **S26** in **Fig. 2**.

[0085] Wie in **Fig. 3** veranschaulicht ist, verwendet die ECU **10** in **S40** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um den in Frage kommenden Weg des bewegten Hindernisses zu berechnen. Die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges berechnet den in Frage kommenden Weg für jedes bewegte Hindernis (den in Frage kommenden möglichen Weg des bewegten Hindernisses) unter Verwendung des Detektionsergebnisses der Einheit **13** zum Detektieren bewegter Hindernisse und von Traffic Rule Map.

[0086] In **S42** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um eine Matrix **R** aus in Frage kommenden Wegen des Host-Fahrzeugs und des bewegten Hindernisses zu erhalten. Zuerst wird als Voraussetzung die Bestimmung/Planung eines autonomen Fahrens (die Generierung des Reiseplans einschließlich der Routeneinstellung) im autonomen Fahrsystem **100** beschrieben. Die Bestimmung/Planung eines autonomen Fahrens besteht aus zwei Prozessen, die einen Umgang mit einer Verzweigung einer Lösung und eine Berechnung einer geeigneten Fortbewegungsbahn an ausgewählten Verzweigungspunkten beinhalten. Ersteres wird als Absichtsentscheidung bezeichnet, und Letzteres wird als Verhaltensentscheidung bezeichnet. Angesichts dessen, dass ein Verzweigungspunkt (ein unüblicher Punkt) in einer Situation, der von einer berührungslosen Fortbewegungsbahn gebildet wird, ein Risiko darstellt, betrifft die Absichtsentscheidung hauptsächlich die Vermeidung von Risiken. Bei der Absichtsentscheidung hat die Durchführung einer Bestimmung Priorität. Die Verhaltensentscheidung ist eine Berechnung der Fortbewegungsbahn, die sowohl Sicherheit als auch Effizienz innerhalb eines Bereichs bieten kann, der von der Absichtsentscheidung eingestellt worden ist. Bei der Verhaltensentscheidung hat eine Aufschiebung einer Bestimmung Priorität. Nachstehend wird die Aufschiebung einer Bestimmung beschrieben.

[0087] Das Host-Fahrzeug und bewegte Hindernisse in einem Straßennetz werden bezeichnet durch $a = 1, 2, \dots$, und mögliche in Frage kommende Wege eines Host-Fahrzeugs a werden bezeichnet durch $\alpha = 1, 2, \dots$. Eine Matrix möglicher in Frage kommender Wege des Host-Fahrzeugs a wird bezeichnet durch $R_{a\alpha}$. Es wird davon ausgegangen, dass nicht jedes Fahrzeug zusammen mit allen anderen auf einem Fahrstreifen fahren kann. Angesichts eines Absichtsentscheidungsproblems wird daher davon ausgegangen, dass ein möglicher in Frage kommender Weg $p_{a\alpha}$ Teil einer Routen- und Navigationsdefinitionsdatei (Route and Navigation Definition File, RNDFF) ist, bei der es sich um eine Linie entlang einer Mitte des Fahrstreifens handelt. Wenn sich das Host-Fahrzeug a an einem Punkt (irgendwo in der Mitte des Fahrstreifens) x_a auf der Straße befindet, ist eine Linie, die entlang der Mitte der Straße vor dem Host-Fahrzeug a abzweigt, ein in Frage kommender Weg.

[0088] Durch Zuweisen von 1 zu einem Fall, wo das Host-Fahrzeug a die Möglichkeit hat, den in Frage kommenden Weg einzuschlagen, und 0 zu einem Fall, wo das Host-Fahrzeug a nicht die Möglichkeit hat, den in Frage kommenden Weg einzuschlagen, kann jedes Element $R_{a\alpha}$ der Matrix möglicher in Frage kommender Wege des Host-Fahrzeugs a unter Verwendung der allgemeinen Formel (1) dargestellt werden.

$$R_{a\alpha} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

[0089] Die Matrix **R** in Frage kommender Wege kann nicht nur für das Host-Fahrzeug a , sondern auch für jedes bewegte Hindernis erhalten werden.

[0090] In **S44** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um eine Überschneidungsmatrix **O** zu erhalten, die eine Überschneidung zwischen den in Frage kommenden Wegen darstellt. Wenn der in Frage kommende Weg α des Host-Fahrzeugs a und ein in Frage kommender Weg β eines bewegten Hindernisses b erhalten werden, können die beiden in Frage kommenden Wege α, β eine Überschneidung haben oder können keine Überschneidung haben. Wenn die in Frage kommenden Wege α, β keine Überschneidung haben, besteht für die beiden bewegten Hindernisse nicht die Möglichkeit einer Kollision miteinander. Wenn die in Frage kommenden Wege α, β eine Überschneidung haben, besteht für die beiden bewegten Hindernisse die Möglichkeit einer Kollision miteinander. Eine symmetrische Matrix (Überschneidungs-

matrix) $O_{a\alpha, b\beta}$, welche die Gegebenheit einer Überschneidung darstellt, kann anhand der allgemeinen Formel (2) erhalten werden.

$$O_{a\alpha, b\beta} = \begin{cases} 1 & \text{wenn es eine Überlappung zweier in Fragen Kommenden Wege} \\ & a, b \text{ gibt} \\ 0 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (2)$$

Auch wenn hier ein Satz aus dem Host-Fahrzeug und dem bewegten Hindernis beschrieben wird, kann die Überschneidungsmatrix auch für zwei bewegte Objekte erhalten werden. Das gleiche gilt für verschiedene nachstehend beschriebene Matrizes.

[0091] In **S46** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um eine Kollisionsmöglichkeitsmatrix H zu erhalten. Die Kollisionsmöglichkeitsmatrix H_{ab} des Host-Fahrzeugs a und des bewegten Hindernisses b kann unter Verwendung der allgemeinen Formel (3) erhalten werden.

$$H_{ab} = \sum_{\alpha\beta} R_{a\alpha} O_{a\alpha, b\beta} R_{b\beta} \quad (3)$$

[0092] Es wird davon ausgegangen, dass die Möglichkeit einer Kollision null sein kann, wenn das Host-Fahrzeug a und das bewegte Hindernis b den in Frage kommenden Weg R_a auswählen können, so dass die Kollisionsmöglichkeitsmatrix H eine Nullmatrix ($H = 0$) wird. Da jedes bewegte Hindernis einen Weg zu seinem Ziel auswählt, kann die Matrix R der in Frage kommenden Wege, die $H = 0$ darstellt, nicht immer ausgewählt werden. Wenn die Matrix R der in Frage kommenden Wege, die $H = 0$ darstellt, nicht ausgewählt werden kann, wird davon ausgegangen, dass jedes bewegte Hindernis die Matrix R der in Frage kommenden Wege so auswählt, dass die Anzahl von Elementen ungleich null in der Kollisionsmöglichkeitsmatrix H minimiert wird. In einem solchen Fall wird die Überschneidung zwischen dem in Frage kommenden Weg α des Host-Fahrzeugs a und dem in Frage kommenden Weg β des bewegten Hindernisses b nicht gelöst. Somit kann die Möglichkeit einer Kollision dadurch bestimmt werden, dass die Bewegungsgeschwindigkeit des bewegten Hindernisses berücksichtigt wird, und eine Kollision kann dadurch vermieden werden, dass das Host-Fahrzeug a zeitlich angepasst wird (das Geschwindigkeitsprofil angepasst wird). Bei der Anpassung des Geschwindigkeitsprofils wird davon ausgegangen, dass das Geschwindigkeitsprofil unter dem Gesichtspunkt angepasst wird, dass „es meistens angestrebt wird, dass sich das bewegte Hindernis vor dem Host-Fahrzeug fortbewegt, und daher eine Kollision leicht dadurch vermieden werden kann, dass man das bewegte Hindernis weiterfahren lässt“.

[0093] In **S48** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um eine Zeitmatrix T zu erhalten. Die Bestimmung der Möglichkeit einer Kollision bei gegebener Überschneidung zwischen den in Frage kommenden Wegen wird zunächst für einen Fall beschrieben, wo die Überschneidung nur an einem Punkt auftritt. Ein Punkt, an dem die in Frage kommenden Wege einander schneiden, wird mit $n_{a\alpha, b\beta}$ bezeichnet. Die Länge von x_a bis $n_{a\alpha, b\beta}$, die entlang des in Frage kommenden Weges $p_{a\alpha}$ gemessen wird, wird mit $l(n_{a\alpha, b\beta}, x_a)$ bezeichnet. Wenn der bewegte Körper bekannt ist, kann eine Zeitspanne $t_{a\alpha}$, die das Host-Fahrzeug a braucht, um am Punkt $n_{a\alpha, b\beta}$ anzukommen, anhand der allgemeinen Formel (4) geschätzt werden.

$$t_{a\alpha} = \frac{l(n_{a\alpha, b\beta}, x_a)}{v_a} \quad (4)$$

[0094] Ebenso kann eine Zeitspanne $t_{b\beta}$, die das bewegte Hindernis b braucht, um am Punkt $n_{a\alpha, b\beta}$ anzukommen, erhalten werden. Wenn die Zeitspanne die allgemeine Formel (5) erfüllt, kommen das Host-Fahrzeug a und das bewegte Hindernis b am Punkt $n_{a\alpha, b\beta}$ miteinander in Kontakt. Wenn die Zeitspanne die allgemeine Formel (6) erfüllt, durchfährt das Host-Fahrzeug a den Punkt $n_{a\alpha, b\beta}$ früher als das bewegte Hindernis b .

$$t_{a\alpha} = t_{b\beta} \quad (5)$$

$$t_{a\alpha} < t_{b\beta} \quad (6)$$

[0095] In einem solchen Fall kann die Zeitmatrix T erhalten werden wie in der allgemeinen Formel (7).

$$T_{a \alpha, b \beta}(n_{a \alpha, b \beta}) = \begin{cases} \text{sgn}(t_{b \beta} - t_{a \alpha}), & O_{a \alpha, b \beta} = 1 \\ 0 & , O_{a \alpha, b \beta} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

In **S50** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um einen Konfliktensor C zu erhalten. Die Zeitmatrix T stellt dar, welches vom Host-Fahrzeug a und vom bewegten Hindernis b den betrachteten Punkt $n_{a \alpha, b \beta}$ früher durchfährt. Somit erfüllt die Zeitmatrix T die allgemeine Formel (8).

$$T(n_{a \alpha, b \beta}) = -{}^t T(n_{a \alpha, b \beta}) \quad (8)$$

[0096] Angesichts dessen, dass eine vorgegebene Zeitdifferenz δt zwischen der Zeit, zu der das Host-Fahrzeug a durch den Punkt $n_{a \alpha, b \beta}$ fährt, und der Zeit, zu der das bewegte Hindernis b durch den Punkt $n_{a \alpha, b \beta}$ fährt, notwendig ist, damit das Host-Fahrzeug a und das bewegte Hindernis b sich sicher bewegen können, wird eine Korrektur durchgeführt, wie in der allgemeinen Formel (9). Dann weist die Zeitmatrix T ein asymmetrisches Element und ein symmetrisches Element auf.

$$T_{a \alpha, b \beta}(n_{a \alpha, b \beta}) = \begin{cases} \text{sgn}(t_{b \beta} - t_{a \alpha} - \delta t), & O_{a \alpha, b \beta} = 1 \\ 0 & , O_{a \alpha, b \beta} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

In einem solchen Fall wird der Konfliktensor (eine Konfliktmatrix) C anhand der allgemeinen Formel (10) erhalten.

$$C(n_{a \alpha, b \beta}) = \frac{1}{2} \{ T(n_{a \alpha, b \beta}) + {}^t T(n_{a \alpha, b \beta}) \} \quad (10)$$

Ein Element des Konfliktensors C, das ungleich null ist und das eine symmetrische Matrix ist, stellt einen Satz aus einem bewegten Hindernis und einem Plan dar, zwischen dem die Zeitdifferenz für das Durchfahren des Punktes $n_{a \alpha, b \beta}$ höchstens so groß ist wie δt , das heißt, einen Satz, bei dem ein Kontakt möglich ist.

[0097] Nun kann das Gleiche auf einen Fall angewendet werden, wo die in Frage kommenden Wege einander in einem bestimmten Abschnitt überschneiden. Wenn zwei Endpunkte $n_{a \alpha, b \beta}^n, n_{a \alpha, b \beta}^f$ in dem Abschnitt, der eine Überschneidung aufweist, betrachtet werden, so wird die Möglichkeit eines Kontakts dadurch dargestellt, dass irgendeine von einer ersten Bedingung, dass die Reihenfolge einer Ankunft des Host-Fahrzeugs a und des bewegten Hindernisses b an einem Endpunkt anders ist als die Reihenfolge am anderen Endpunkt, und einer zweiten Bedingung, dass $C(n_{a \alpha, b \beta})$ an jedem Endpunkt gleich eins ist, erfüllt ist. Der Endpunkt, der weit weg vom Host-Fahrzeug a liegt, muss kein Punkt sein, wo keine Überschneidung zwischen den in Frage kommenden Wegen gegeben ist, und kann als die Position des Host-Fahrzeugs a nach T Sekunden eingestellt werden. Das Gleiche gilt für das bewegte Hindernis b.

[0098] Die erste Bedingung kann als allgemeine Formel (11) beschrieben werden. Somit stellt ein Element der allgemeinen Formel (12), das ungleich null ist, die Möglichkeit eines Kontakts dar. In der allgemeinen Formel (12) beinhaltet „Punkt“ die Endpunkte des Abschnitts, und $[n_{a \alpha, b \beta}^n, n_{a \alpha, b \beta}^f]$ stellt ein Liniensegment dar.

$$C_{a \alpha, b \beta}([n_{a \alpha, b \beta}^n, n_{a \alpha, b \beta}^f]) = 1 - \frac{1}{2} \left| \text{sgn}(t_{b \beta}^n - t_{a \alpha}^n) + \text{sgn}(t_{b \beta}^f - t_{a \alpha}^f) \right| \quad (11)$$

$$C_{a \alpha, b \beta} = \sum_{\text{Punkt}} C(n_{a \alpha, b \beta}) + \sum_{\text{Linie}} C([n_{a \alpha, b \beta}^n, n_{a \alpha, b \beta}^f]) \quad (12)$$

Wenn Informationen $C_{a \alpha, b \beta}$ erhalten werden, kann der in Frage kommende Weg $p_{a \alpha}$ aus den Landkarteninformationen erhalten werden. Infolgedessen sind Größen, die durch Beobachtung oder Schätzung erhalten werden, nur die Position x_a des Host-Fahrzeugs oder jedes bewegten Hindernisses und die Geschwindigkeit v_a des Host-Fahrzeugs oder jedes bewegten Hindernisses für $a = 1, 2, \dots$. Die Zeitdifferenz δt wird durch einen Design-Parameter eingestellt, der eingestellt wird, um eine Kollision zu vermeiden. Andere Größen werden durch ein Schätzmodell oder eine Messung durch den Sensor eingestellt. Auch wenn der Geschwindigkeit

v_a des Host-Fahrzeugs willkürlich für jeden in Frage kommenden Weg ein anderer Wert zugewiesen werden kann, wird der Geschwindigkeit eines anderen Fahrzeugs das Messergebnis oder der Wert des Schätzmodells zugewiesen, und somit nicht willkürlich zugewiesen. Somit tritt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs vom Plan nur für ein Element des Konflikttensors C auf, welches das Host-Fahrzeug betrifft. Dies wird durch einen numerischen Ausdruck in der allgemeinen Formel (13) dargestellt. In der allgemeinen Formel (13) bezeichnet a das Host-Fahrzeug.

$$C_{a \alpha, b \beta} = C_{a \alpha, b \beta} (x_a, v_{a \alpha}, x_b, v_b, \delta t) \quad (13)$$

[0099] In **S52** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um eine Interferenzmatrix D zu erhalten. Die Interferenzmatrix D wird anhand der allgemeinen Formel (14) als Matrix erhalten, die unter dem Gesichtspunkt eines Absichtsentscheidungsproblems, das eine Kollisionsvermeidung durch Anpassung der Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs a beinhaltet, durch Substituieren der Überschneidungsmatrix O durch den Konflikttensor C erhalten wird.

$$D_{a b} = \sum_{\alpha \beta} R_{a \alpha} C_{a \alpha, b \beta} R_{b \beta} \quad (14)$$

Das Absichtsentscheidungsproblem, das eine Kollisionsvermeidung durch Anpassung der Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs a beinhaltet, kann als Problem betrachtet werden, dass das Host-Fahrzeug a und das bewegte Hindernis b den Konflikttensor C durch Auswählen des in Frage kommenden Weges $R_{a \alpha}$ und des Geschwindigkeitsplans so anpassen, dass die Interferenzmatrix D , die durch die allgemeine Formel (14) dargestellt wird, eine Nullmatrix wird.

[0100] In **S54** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um zu bestimmen, ob oder ob nicht die Interferenzmatrix D des Host-Fahrzeugs eine Nullmatrix ist. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Interferenzmatrix D für das Host-Fahrzeug eine Nullmatrix ist (S54: JA), geht die ECU **10** zu **S68** über. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Interferenzmatrix D für das Host-Fahrzeug keine Nullmatrix ist (S54: NEIN), geht die ECU **10** zu **S56** über.

[0101] In **S56** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um die Auswahl der in Frage kommenden Wege für das Host-Fahrzeug einzuschränken. Die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges schränkt die Auswahl der in Frage kommenden Wege für das Host-Fahrzeug unter der Annahme ein, dass jedes bewegte Hindernis einer Verkehrsregel folgt, die vorab eingestellt wurde. Die Verkehrsregel wird in Verbindung mit den Positionsinformationen auf der Landkarte in der Traffic Rule Map der Landkartendatenbank **4** gespeichert.

[0102] Beim Absichtsentscheidungsproblem kann es nicht angemessen sein, alle möglichen Verhaltensweisen eines anderen bewegten Hindernisses zu berücksichtigen. Betrachtet man beispielsweise die Möglichkeit, dass alle entgegenkommenden Fahrzeuge auf einer Straße, die aus zwei Fahrstreifen besteht, nämlich einem Fahrstreifen, auf dem das Host-Fahrzeug fährt, und einem entgegengesetzten Fahrstreifen, von ihrem Fahrstreifen abweichen und vor dem Host-Fahrzeug auftauchen, kann es sein, dass das Host-Fahrzeug angehalten werden muss, bis kein entgegenkommendes Fahrzeug mehr vorhanden ist. Da der Fahrer das Host-Fahrzeug üblicherweise nicht anhält, bis kein entgegenkommendes Fahrzeug mehr vorhanden ist, wird eine Annahme betrachtet, dass ein Fahren, das vom Fahrer in der tatsächlichen Umgebung durchgeführt wird, auf Basis bestimmter gesellschaftlicher Übereinkünfte (gesellschaftlicher Erwartungen) bestimmt wird. Im Folgenden wird ein solcher Punkt separat auf der Absichtsentscheidungsebene, die mit der Matrix R_a der in Frage kommenden Wege in Beziehung steht, und auf der Verhaltensentscheidungsebene, die mit dem Konflikttensor C in Beziehung steht, betrachtet.

[0103] Zunächst wird eine Annahme, die als „Annahme der Vermeidung einer Wegüberschneidung“ bezeichnet wird, als Absichtsentscheidungsprinzip veranschaulicht. Der Wert eines Elements der Interferenzmatrix kann gleich 1 sein (es besteht die Möglichkeit einer Kollision), wenn die Wege des Host-Fahrzeugs und des bewegten Hindernisses (oder zweier bewegter Hindernisse) einander überschneiden. Das heißt, die Möglichkeit einer Kollision kann minimiert werden, wenn alle bewegten Hindernisse einen Plan auswählen, der die Wege eines anderen bewegten Hindernisses und die des Host-Fahrzeugs nicht überschneidet. Für jedes bewegte Hindernis wird davon ausgegangen, dass eine vernünftige Auswahl eines Plans das Auswählen eines Plans, der die Wege eines anderen bewegten Hindernisses und die des Host-Fahrzeugs nicht überschneidet, und die Beibehaltung des ausgewählten Plans bedeutet, vorausgesetzt, dass der Plan die Bewegung des bewegten

Hindernisses an sein Ziel nicht behindert. Eine solche Auswahl eines Plans durch die einzelnen bewegten Hindernisse wird als „Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung“ bezeichnet.

[0104] Wenn mehrere Arten der Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung spezifisch beschrieben werden, ist eine erste Annahme, dass ein Plan wie etwa ein Sich-Fortbewegen auf dem entgegengesetzten Fahrstreifen, das der Verkehrsregel nicht gehorcht, nicht ausgewählt wird. Eine zweite Annahme ist, dass ein Plan, der Fahrstreifenwechsel begleitet, die nicht notwendig sind, nicht ausgewählt wird. Eine dritte Annahme ist, dass dann, wenn das Ziel des bewegten Hindernisses nicht bekannt ist, die gleiche Anzahl von Plänen wie Zweige an Verzweigungen einer Route, wie etwa an einer Kreuzung, vorhanden sind, betrachtet werden. Wenn das bewegte Hindernis beispielsweise ein anderes Fahrzeug ist, dann wird in Betracht gezogen, dass das Ziel des bewegten Hindernisses durch eine Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug und dergleichen erhalten wird. Die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges schränkt die Auswahl für die in Frage kommenden Wege anhand eines bekannten Verfahrens unter der Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung ein.

[0105] In **S58** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um die Interferenzmatrix **D** erneut zu erhalten. In **S60** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um erneut zu bestimmen, ob oder ob nicht die Interferenzmatrix **D** für das Host-Fahrzeug eine Nullmatrix ist. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Interferenzmatrix **D** für das Host-Fahrzeug eine Nullmatrix ist (S60: JA), geht die ECU **10** zu **S68** über. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Interferenzmatrix **D** für das Host-Fahrzeug keine Nullmatrix ist (S60: NEIN), geht die ECU **10** zu **S62** weiter.

[0106] In **S62** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um die Fahrzeuggeschwindigkeit (das Geschwindigkeitsprofil) des Host-Fahrzeugs für jedes Element der Interferenzmatrix, das ungleich null ist, unter Verwendung einer altruistischen Strategie zu berechnen, so dass das Element, das ungleich null ist, null wird. Die altruistische Strategie wird als Ordnungsentscheidungsprinzip veranschaulicht, um zu bewirken, dass der Konflikttensor eine Nullmatrix wird. Wenn das Element $C_{a,\beta}$ des Konflikttensors nicht null ist, besteht die Möglichkeit (Möglichkeit eines Kontakts), dass der absolute Wert der Differenz zwischen der Ankunftszeit des Host-Fahrzeugs a an einem Punkt, wo sich Wege überschneiden, und der Ankunftszeit des bewegten Hindernisses b an dem Punkt kleiner oder gleich δt ist. Eine Bedingung für die Vermeidung eines Kontakts des Host-Fahrzeugs a kann anhand der allgemeinen Formel (15) dargestellt werden.

$$|t_{a\alpha} - t_{b\beta}| > \delta t \quad (15)$$

In einem solchen Fall können die allgemeine Formel (16) und die allgemeine Formel (17) anhand der allgemeinen Formel (4) erhalten werden.

$$\frac{l(n_{a\alpha}, b\beta, x_a)}{v_a} - t_{b\beta} > \delta t \quad (16)$$

$$-\frac{l(n_{a\alpha}, b\beta, x_a)}{v_a} + t_{b\beta} > \delta t \quad (17)$$

Eine Bedingung für das Vorbeilassen des bewegten Hindernisses b kann als allgemeine Formel (18) aus der allgemeinen Formel (16) und der allgemeinen Formel (17) beschrieben werden. Eine Bedingung, um zu bewirken, dass das Host-Fahrzeug a vorausfährt, kann als allgemeine Formel (19) beschrieben werden.

$$v_a < \frac{l(n_{a\alpha}, b\beta, x_a)}{t_{b\beta} + \delta t} \quad (18)$$

$$\frac{l(n_{a\alpha}, b\beta, x_a)}{t_{b\beta} - \delta t} < v_a \quad (19)$$

[0107] Wenn eine Kollision dadurch vermieden wird, dass dem bewegten Hindernis gestattet wird, das Host-Fahrzeug zu überholen, wird in Betracht gezogen, dass die Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs angepasst wird, um die allgemeine Formel (18) zu erfüllen. Die Vermeidung einer Kollision dadurch, dass dem bewegten Hindernis gestattet wird, das Host-Fahrzeug zu überholen, wird als Konfliktlösung anhand einer altruistischen Strategie bezeichnet. Wenn das Host-Fahrzeug und nur ein einziges bewegtes Hindernis im Interaktionsbereich vorhanden sind, kann eine insgesamt stabile Verkehrssituation dadurch hergestellt werden, dass man das Host-Fahrzeug vor dem bewegten Hindernis fahren lässt, auch wenn das bewegte Hindernis mit einer Geschwindigkeit fährt, die über einer Geschwindigkeitsbegrenzung liegt. Das gleiche gilt für einen Fall, wo das bewegte Hindernis vor dem Host-Fahrzeug fährt. Somit wird eine solche altruistische Strategie als Vorschlag betrachtet.

[0108] In **S64** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um zu bestimmen, ob oder ob nicht das Host-Fahrzeug eine Fahrzeuggeschwindigkeit (ein Geschwindigkeitsprofil) aufweisen kann, bei der die Interferenzmatrix D eine Nullmatrix wird. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass das Host-Fahrzeug keine Fahrzeuggeschwindigkeit haben kann, bei der die Interferenzmatrix D eine Nullmatrix wird (S64: NEIN), geht die ECU **10** zu **S66** weiter. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass das Host-Fahrzeug eine Fahrzeuggeschwindigkeit haben kann, bei der die Interferenzmatrix D eine Nullmatrix wird (S64: JA), geht die ECU **10** zu **S68** über.

[0109] In **S66** verwendet die ECU **10** die HMI **5**, um den Fahrer aufzufordern, einzugreifen. Die ECU **10** teilt dem Fahrer eine Aufforderung zum Übernehmen (zum Wechseln vom autonomen Fahren auf manuelles Fahren) durch Senden eines Steuersignals an die HMI **5** mit.

[0110] Wenn der Fahrer aufgefordert wird, einzugreifen, wird davon ausgegangen, dass zwei oder mehr bewegte Hindernisse im Interaktionsbereich des Fahrzeugs vorhanden sind. In einem solchen Fall kann das Host-Fahrzeug a auch dann, wenn das Host-Fahrzeug a und das bewegte Hindernis b in einem konsistenten Zustand sind, ein drittes bewegtes Hindernis c vorfahren lassen wollen, aber das bewegte Hindernis c kann erster sein wollen. In einem solchen Fall ist es für das bewegte Hindernis c schwierig, seinen Zustand innerhalb des Bereichs der altruistischen Strategie einzustellen. Ein konkretes Beispiel für eine solche Szene ist, wenn das Host-Fahrzeug a aus einer nicht-vorfahrtsberechtigten Straße in eine vorfahrtsberechtigten Straße einfährt, während sich das andere Fahrzeug b , welches dem Host-Fahrzeug a in die Quere kommt, auf der vorfahrtsberechtigten Straße befindet, und sich das andere Fahrzeug c , das eine niedrige Geschwindigkeit aufweist, hinter dem Host-Fahrzeug a befindet. In einem solchen Fall kann ein Gegensatz zwischen Absichten durch die altruistische Strategie nicht aufgehoben werden, wie etwa, dass das Host-Fahrzeug a Vorfahrt gewährt, und als Vorschlag sollte in Betracht gezogen werden, dass das andere Fahrzeug c hinter dem Host-Fahrzeug a auch langsamer wird (den Plan oder die Absicht, erster zu sein, korrigiert bzw. aufgibt und den Gegensatz zwischen den Absichten aufhebt), um die Verkehrsregel zu beachten und den Gegensatz zwischen den Absichten aufzuheben.

[0111] Ein komplexerer Fall ist ein instabiler Zustand, der in der statistischen Physik als Frustration bezeichnet wird. Ein solcher Zustand herrscht, wenn im obigen Fall die Aufhebung der Absicht des bewegten Hindernisses b die Aufhebung der Absicht des Host-Fahrzeugs a erfordert. In einem solchen Fall wird eine Strategie irgendeiner Art von Einigung, wie etwa eine Verringerung der Interaktion zwischen dem Host-Fahrzeug a und den bewegten Hindernissen b , c in Betracht gezogen. Im Falle des autonomen Fahrens ist eine Methode zur Verringerung der Interaktion die Vergrößerung des effektiven Abstands zwischen Fahrzeugen durch Verringern der Geschwindigkeit des Host-Fahrzeugs a .

[0112] Wenn zusätzlich zum Host-Fahrzeug zwei bewegte Hindernisse innerhalb des Interaktionsbereichs vorhanden sind, kann ein Dilemma existieren, so dass ein Konflikt insgesamt vom Host-Fahrzeug allein nicht sicher gelöst werden kann. In einem solchen Fall wird in Betracht gezogen, dass der Fahrer aufgefordert wird, einzugreifen. Wenn das Host-Fahrzeug a in einem Dilemma mit anderen bewegten Hindernissen b , c steckt, wird die allgemeine Formel (20) für alle $(\alpha, v_a \alpha)$ aufgestellt. Somit kann das Dilemma aus dem Konflikttensor C erfasst werden.

$$\left\{ \sum_{\beta} C_{a \alpha, b \beta} = 0, \sum_{\gamma} C_{a \alpha, c \gamma} \neq 0 \right\} \text{ ODER } \left\{ \sum_{\beta} C_{a \alpha, b \beta} \neq 0, \sum_{\gamma} C_{a \alpha, c \gamma} = 0 \right\} \quad (20)$$

[0113] In **S68** verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zum Generieren eines dritten Weges, um den verbliebenen in Frage kommenden Weg als den dritten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren. Dann beendet die ECU **10** den aktuellen Prozess.

[0114] Auch wenn bisher der Prozess der Generierung des dritten Weges beschrieben wurde, können die gleichen Teile wie im Prozess der Generierung des zweiten Weges im Prozess der Generierung des zweiten Weges verwendet werden.

Einfahrt in einen Kreisverkehr

[0115] Eine Einfahrt des Host-Fahrzeugs in einen Kreisverkehr wird unter Bezugnahme auf den Prozess der Generierung des dritten Weges veranschaulicht. Der in Frage kommende Weg des Host-Fahrzeugs $a = 1$ beinhaltet einen in Frage kommenden Weg $\alpha = 1$, der in einen Kreisverkehr mündet, und einen in Frage kommenden Weg $\alpha = 2$, der vor dem Kreisverkehr stockt. Wenn das andere Fahrzeug b (das bewegte Hindernis b) im Kreisverkehr fährt, beinhaltet der in Frage kommende Weg β des anderen Fahrzeugs b einen in Frage kommenden Weg $\beta = 1$, der aus dem Kreisverkehr ausmündet, und einen in Frage kommenden Weg $\beta = 2$, der im Kreisverkehr bleibt.

[0116] Es gibt eine Überschneidung zwischen dem in Frage kommenden Weg $\alpha = 1$ des Host-Fahrzeugs a und nur dem in Frage kommenden Weg $\beta = 2$ des anderen Fahrzeugs b , das im Kreisverkehr bleibt. Die Überschneidungsmatrix O kann als allgemeine Formel (21) und allgemeine Formel (22) beschrieben werden.

$$O_{1 \alpha, 2 \beta} = \begin{pmatrix} O_{11, 21} & O_{11, 22} \\ O_{12, 21} & O_{12, 22} \end{pmatrix}_{\alpha\beta} \quad (21)$$

$$O_{1 \alpha, 2 \beta} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{\alpha\beta} \quad (22)$$

[0117] Die Zeitmatrix T kann als allgemeine Formel (23) beschrieben werden. Der Ausdruck τ_{12} in der allgemeinen Formel (23) wird als allgemeine Formel (24) dargestellt, und der Ausdruck τ_{21} in der allgemeinen Formel (23) wird von der allgemeinen Formel (25) dargestellt. Die tiefgestellte Zahl außerhalb der Klammern ist eine Darstellungsweise, die der Einfachheit halber eingeführt worden ist, um den Parameter in den Klammern deutlich zu zeigen.

$$T_{a \alpha, b \beta} = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{\alpha\beta} & \begin{pmatrix} 0 & \tau_{12} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{\alpha\beta} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \tau_{12} & 0 \end{pmatrix}_{\alpha\beta} & \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{\alpha\beta} \end{pmatrix}_{a b} \quad (23)$$

$$\tau_{12} = \text{sgn}(t_{22} - t_{11} - \delta t) \quad (24)$$

$$\tau_{21} = \text{sgn}(t_{11} - t_{22} - \delta t) \quad (25)$$

[0118] Nachstehend wird ein Fall veranschaulicht, wo die Auswahl der vom anderen Fahrzeug verwendeten in Frage kommenden Wege nicht eingeschränkt wird und angenommen wird, dass das Host-Fahrzeug a in einen Kreisverkehr einfährt. Zunächst wird die Tatsache, dass die Auswahl der in Frage kommenden Wege des anderen Fahrzeugs b nicht eingeschränkt wird, von der allgemeinen Formel (26) dargestellt. Die Einfahrt des Host-Fahrzeugs a in den Kreisverkehr wird von der allgemeinen Formel (27) dargestellt.

$$R_{2 \beta} = (1 \ 1)_{\beta} \quad (26)$$

$$R_{1 \alpha} = (1 \ 0)_{\alpha} \quad (27)$$

In einem solchen Fall wird die Interferenzmatrix D von der allgemeinen Formel (28) bis zur allgemeinen Formel (30) dargestellt.

$$D_{a b} = \sum_{\alpha \beta} R_{a \alpha} C_{a \alpha, b \beta} R_{b \beta} \quad (28)$$

$$= \sum_{\alpha \beta} (1,0)_{\alpha} C_{a \alpha, b \beta} (1,1)_{\beta} \quad (29)$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}(\tau_{12} + \tau_{21}) \\ \frac{1}{2}(\tau_{12} + \tau_{21}) & 0 \end{pmatrix}_{a b} \quad (30)$$

[0119] Um einen Kontakt zwischen dem Host-Fahrzeug a und dem anderen Fahrzeug b zu vermeiden, sollte das Geschwindigkeitsprofil des Host-Fahrzeugs a so angepasst werden, dass das Host-Fahrzeug $a = 1$ $\tau_{12} = 0$ aufweist, damit die Interferenzmatrix D eine Nullmatrix wird.

[0120] Wenn alle Fälle, wo die Interferenzmatrix D beim Fahren durch den Kreisverkehr eine Nullmatrix wird, anhand der bisherigen Darstellungen erläutert werden, so gibt es drei Fälle, nämlich: (A) das Host-Fahrzeug a nimmt den in Frage kommenden Weg $R_{1\alpha} = (0,1)_{\alpha}$, der nicht in den Kreisverkehr mündet, (B) das Host-Fahrzeug a fährt in den Kreisverkehr ein und es wird geschätzt, dass das andere Fahrzeug $b = 2$ den in Frage kommenden Weg $R_{2\beta} = (1,0)_{\beta}$ nimmt, und (C) das Host-Fahrzeug a fährt in den Kreisverkehr ein und das Geschwindigkeitsprofil des Host-Fahrzeugs a wird so angepasst, dass $c = 0$ eingerichtet wird.

[0121] Im Fall (B) wird die Interferenzmatrix D von der allgemeinen Formel (31) bis zur allgemeinen Formel (33) dargestellt, und die Möglichkeit eines Kontakts ist gleich null. Somit kann das Host-Fahrzeug a sofort in den Kreisverkehr einfahren.

$$D_{a b} = \sum_{\alpha \beta} R_{1 \alpha} C_{a \alpha, b \beta} R_{2 \beta} \quad (31)$$

$$= \sum_{\alpha \beta} (1,0)_{\alpha} C_{a \alpha, b \beta} (1,1)_{\beta} \quad (32)$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{a b} \quad (33)$$

[0122] Der in Frage kommende Weg β , der vom anderen Fahrzeug $b = 2$ in (B) verwendet wird und der einem Zweig des Weges in (C) entspricht, wird geschätzt, bevor das Geschwindigkeitsprofil im Fall (C) berechnet wird. Infolgedessen kann eine Funktion realisiert werden, die eine sofortige Einfahrt in den Kreisverkehr bewirkt, wenn das andere Fahrzeug b aus dem Kreisverkehr ausfährt. Eine Richtung h_b des anderen Fahrzeugs (des bewegten Hindernisses b) kann zusätzlich eingeführt werden.

Zeitverschiebungsprozess

[0123] Es wird ein Zeitverschiebungsprozess beschrieben. Der Sensor des autonomen Fahrsystems **100** misst die Außenumgebung des Fahrzeugs. Infolgedessen kommt es zu einer Zeitverzögerung Δt , bis der Stellantrieb **6** zu arbeiten beginnt. Angesichts dessen, dass das Host-Fahrzeug sich um Δt nach der Zeit der Messung durch den Sensor zu bewegen beginnt, wird die Planung des Host-Fahrzeugs in einem Raum durchgeführt, wo eine prädiktive Korrektur, die der Zeitspanne Δt entspricht, durch Verschieben der Position des bewegten Körpers außerhalb des Fahrzeugs hinaus und der Position x_a des Host-Fahrzeugs auf $x_a + v_a \Delta t$ vorgenommen wird.

Aufschiebung einer Bestimmung

[0124] Nachstehend wird die Aufschiebung einer Bestimmung beschrieben. Wenn für den Bereich der Suche nach dem in Frage kommenden Weg $D = \{p(\tau)\}$ gilt, kann der in Frage kommende Weg unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit und der Fortbewegungseffizienz definiert werden wie in der allgemeinen Formel (34) und der allgemeinen Formel (35). In einem solchen Fall wird der Zustand erreicht, der in der allgemeinen Formel (36) dargestellt ist.

$$\text{Sicherheitspriorisierter in Frage kommender Weg } \{p^s(\tau)\} = \arg_{S>\theta_s} \{S(p(\tau), E(s))|D\} \quad (34)$$

$$\text{Effizienzpriorisierter in Frage kommender Weg } \{p^e(\tau)\} = \arg_{S>\theta_e} \{E(p(\tau), E(s))|D\} \quad (35)$$

$$\{p^s(\tau)\} \cap \{p^e(\tau)\} \quad (36)$$

Eine Sicherheitsevaluierungsfunktion wird mit $S(p(\tau), E(s))$ bezeichnet, und eine Fortbewegungseffizienzfunktion wird mit $E(p(\tau), E(s))$ bezeichnet.

[0125] Ein reibungsloser in Frage kommender Weg kann erhalten werden durch „Wechseln auf einen in Frage kommenden Weg, der die Sicherheit priorisiert, zur Zeit $t + \delta t$, auch wenn ein in Frage kommender Weg, der die Fortbewegungseffizienz priorisiert, zur Zeit t als in Frage kommender Weg ausgewählt wird“.

[0126] Eine Situation, wo sich ein Fußgänger an einem Straßenrand befindet, wird als konkretes Beispiel beschrieben. In einem solchen Fall kann die Bestimmung wie folgt aufgeschoben werden. (A) Wenn ein starkes Bremsen ausgeübt wird, kann das Host-Fahrzeug ausreichend Zeit haben, um anzuhalten, auch wenn der Fußgänger die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt, betritt. (B) Wenn das Host-Fahrzeug ausreichend Zeit zum Anhalten hat, bewegt sich das Host-Fahrzeug vorübergehend unter Priorisierung einer Effizienz fort, angesichts dessen, dass „der Fußgänger die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt, möglicherweise nicht betritt“. (C) Wenn der Fußgänger weggeht, hält das Host-Fahrzeug seine Fortbewegung aufrecht. (D) Wenn immer noch eine Möglichkeit besteht, dass „der Fußgänger die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt, betritt“, wird zur Bestimmung (A) zurückgekehrt.

[0127] Genauer wird zuerst eine endgültige Stopposition in Bezug auf den Fußgänger eingestellt. Dann wird eine Startposition für ein starkes Bremsen, von der aus das Host-Fahrzeug mittels „starken Bremsens“ an der endgültigen Stopposition anhalten kann, erhalten. Ein Plan, der die Effizienz priorisiert, wird von der aktuellen Position aus auf die Startposition für das starke Bremsen angewendet (zum Beispiel wird die aktuelle Geschwindigkeit beibehalten).

Verlässlichkeitsberechnung

[0128] Es wird die Berechnung der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges durch die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** beschrieben. Verlässlichkeit beinhaltet im weiteren Sinne die Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und die Verlässlichkeit des Ergebnisses der Signalverarbeitung, die auf Basis des Abtastungsergebnisses durchgeführt wird.

Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs

[0129] Die Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs ist eine Verlässlichkeit, die als der Grad berechnet wird, bis zu dem der externe Sensor **2** des Host-Fahrzeugs die Außenumgebung des Fahrzeugs anhand „des bekannten Aussehens der Außenumgebung des Fahrzeugs, die unter Verwendung des externen Sensors **2** des Host-Fahrzeugs erhalten wird“, detektiert. In der vorliegenden Ausführungsform bedeutet die Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs die Abtastungsverlässlichkeit des autonomen Fahrens.

[0130] Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** berechnet die Abtastungsverlässlichkeit des autonomen Fahrens durch Vergleichen der Landkarteninformationen der Landkartendatenbank **4** mit dem Detektionsergebnis des externen Sensors **2**. Wenn Vorwissen/Landkarte $M(s,x)$, das heißt ein Satz aus Koordinaten, für die Erkennung verwendet wird, wird in Betracht gezogen, dass die allgemeine Formel (37), die ein Signal $s(t)$ des externen Sensor **2** mit Vorwissen/Landkarte $M(s,x)$ kombiniert, eingeführt wird.

$$\hat{x}(t) = \arg_{\min} \{d(s(t), s(x))\} \quad (37)$$

Ein Sensorsignal, von dem erwartet wird, dass es an der Position x erhalten wird, die aus Vorwissen/Landkarte $M(s,x)$ erhalten wird, wird mit $s(x)$ bezeichnet. Auch wenn keine spezielle Beschränkung besteht, beinhaltet

die Position x bei Bedarf vorzugsweise ein Azimut h des Host-Fahrzeugs. Der Abstand zwischen den Sensordaten wird mit $d(\cdot, \cdot)$ bezeichnet.

[0131] Nachdem die Außenumgebung des Fahrzeugs abgetastet worden ist, wird die Position des Host-Fahrzeugs im autonomen Fahrsystem **100** geschätzt (lokalisiert). Die Position des Host-Fahrzeugs wird durch die Fahrzeugpositionserkennungseinheit **11** geschätzt, die das Detektionsergebnis des externen Sensors **2** mit internem Lokalisierungswissen vergleicht. Um die Position des Host-Fahrzeugs zu schätzen, muss der Merkmalspunkt, der im Lokalisierungswissen gespeichert ist, vom externen Sensor **2** detektiert werden. Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** berechnet die Abtastungsverlässlichkeit des autonomen Fahrens unter Verwendung der detektierten Merkmalspunkte, einer Differenz $\Delta s(t, x)$ im Abtastungssignal, das in der allgemeinen Formel (38) dargestellt wird, und dergleichen.

$$\Delta s(t, x) = s(t) - s(\hat{x}(t)) \quad (38)$$

Das autonome Fahrsystem **100** kann die Abtastungsverlässlichkeit des autonomen Fahrens (ermittelt vom externen Sensor **2** oder aus Lokalisierungswissen) durch Betrachten der Differenz zwischen dem Detektionsergebnis in einer Strukturerkennungsschicht (dem Ergebnis der Erkennung der Struktur der Außenwelt, das heißt der Außenumgebung des Fahrzeugs) und dem Vorwissen (einen Strukturerkennungsfehler) als Anomalie evaluieren. Auch wenn der Strukturerkennungsfehler auf verschiedene Weise definiert werden kann, wird in Betracht gezogen, dass der Strukturerkennungsfehler einfach durch die allgemeine Formel (39) und die allgemeine Formel (40) dargestellt wird, wenn ein konstruierter Schwellenwert als $\Delta \varepsilon_i(t) = |\varepsilon_i(t) - \varepsilon_i(\hat{x})|$, $\Delta \varepsilon$ eingestellt wird.

$$\Delta S^2(t) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2N} \Delta \varepsilon_i(t)^2 \theta(\theta_\varepsilon - \Delta \varepsilon_i(t)) \quad (39)$$

$$N_s(t) = \sum_{i=1}^N (1 - \theta(\theta_\varepsilon - \Delta \varepsilon_i(t))) \quad (40)$$

[0132] Der kumulative Wert von Distanzfehlern in Reflexionspunkten mit einem Fehler, der höchstens so groß ist wie θ_ε wird bezeichnet durch $\Delta S^2(t)$. Die Anzahl der Reflexionspunkte, wo der Fehler θ_ε überschreitet, wird bezeichnet durch $N_s(t)$. Sowohl $\Delta S^2(t)$ als auch $N_s(t)$ werden null, wenn alle Merkmalspunkte, die im Lokalisierungswissen gespeichert sind, mit den Merkmalspunkten im Sensorsignal übereinstimmen. Wenn der Distanzfehler größer wird, das heißt, wenn die übereinstimmenden Merkmalspunkte weniger werden, werden die Werte für $\Delta S^2(t)$ und $N_s(t)$ größer. Die beiden Größen können kombiniert werden, um eine Größe des geschätzten Strukturerkennungsfehlers einzuführen. Das gleiche kann auf den Verkehrsamplatzstandort angewendet werden. Sowohl $\Delta S^2(t)$ als auch $N_s(t)$ werden in einer Selbstüberwachungsfunktion positioniert, welche die Strukturerkennungsschicht verwendet.

[0133] Die bisher beschriebene Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs (die Abtastungsverlässlichkeit des autonomen Fahrens) wird sowohl für die Berechnung der Verlässlichkeit des zweiten Weges als auch die Berechnung der Verlässlichkeit des dritten Weges verwendet. Zum Beispiel berechnet die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges als umso kleineren Wert, je mehr die Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs verringert wird.

[0134] Verlässlichkeit des Ergebnisses der Signalverarbeitung, die auf Basis eines Abtastergebnisses durchgeführt wird

Das autonome Fahrsystem **100** ist so ausgelegt, dass es nicht nur eine Nachverfolgung durchführt, sondern auch mehrere Schätzungen oder Prognosen für das bewegte Hindernis durchführt. Genauer werden drei Schätzungen oder Voraussagen einschließlich einer Einschätzung der Absicht des bewegten Hindernisses b , gesehen vom Host-Fahrzeug a aus, und eine dynamische Prognose und eine symbolische Prognose des bewegten Hindernisses b in Betracht gezogen.

[0135] Die beiden Prognosen, das heißt die symbolische Prognose und die dynamische Prognose, welche die Prognose von Größen wie etwa der Position des bewegten Hindernisses betreffen, welche die Bewegung des bewegten Hindernisses beschreiben, werden für die Verlässlichkeit der Prognose des in Frage kommenden möglichen Weges des bewegten Hindernisses unter der Annahme einer unabhängigen Bewegung klassifiziert. Im Folgenden wird eine Prognose des in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses unter

der Annahme einer unabhängigen Bewegung als Prognose eines sich unabhängig bewegenden Hindernisses bezeichnet.

[0136] Die Absichtsschätzungsprognose, welche die Route voraussagt, die vom bewegten Hindernis genommen wird, wird für die Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses unter der Interaktionsannahme klassifiziert. Im Folgenden wird eine Prognose des in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses unter der Interaktionsannahme als Prognose eines sich interaktiv bewegenden Hindernisses bezeichnet.

Verlässlichkeit der Prognose eines sich unabhängig bewegenden Hindernisses

[0137] Die Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses wirkt sich auf die Verlässlichkeit des zweiten Weges aus. Bei der Einschätzung der Absicht des bewegten Hindernisses b , gesehen vom Host-Fahrzeug a aus, können eine Berechnung der Verlässlichkeit und eine Selbstüberwachung unter Verwendung der Verlässlichkeit des Schätzungsergebnisses durchgeführt werden. Bei der Prognostizierung von X_a des bewegten Hindernisses b , gesehen vom Host-Fahrzeug a aus, können eine Berechnung der Verlässlichkeit und eine Selbstüberwachung unter Verwendung eines Prognosefehlers $\delta X_{ab}(t)$ durchgeführt werden, der in der allgemeinen Formel (41) dargestellt wird. Ein Operator für die Prognose eines Zustands in der Zukunft nach δt wird bezeichnet durch $T(\delta t)$.

$$\delta X_{ab}(t) = X_{ab}(t) - \hat{T}(\delta t) X_{ab}(t - \delta t) \quad (41)$$

Genauer wird bei der Berechnung der Verlässlichkeit und bei der Selbstüberwachung unter Verwendung der Verlässlichkeit in Betracht gezogen, dass die folgenden Größen für die jeweilige Schätzung oder Prognose verwendet werden. Die symbolische Prognose ist eine Prognose auf Basis des Ergebnisses der Erkennung, ob das jeweilige bewegte Hindernis ein Fahrzeug oder ein Fußgänger ist. Somit bedeutet eine hohe Prognosegenauigkeit in einer solchen Schicht einen Zustand wo „Bewegungen um das Host-Fahrzeug gut zu sehen sind“. Grundsätzlich können geschätzte Makrogrößen (die Position x , das Azimut h und die Geschwindigkeit v) des bewegten Hindernisses unter einer Modellzwangsbedingung M geschätzt werden, die „Fahrzeug“ oder dergleichen zum Ziel hat, das heißt geschätzt werden durch $T(\delta t, M, x, h, v)$, und der Prognosefehler $\delta X_{ab}(t)$ kann berechnet werden.

[0138] Die dynamische Prognose ist die fundamentalste Prognose und wird als nicht mit der Erkennungsebene einer Person assoziiert, wie etwa „leicht vorauszusagen“. Die geschätzten Makrogrößen (die Position x , das Azimut h und die Geschwindigkeit v) des bewegten Hindernisses können unter Verwendung eines Kalman-Filters berechnet werden, das heißt durch $T(\delta t, x, h, v)$ geschätzt werden, und der Prognosefehler $\delta X_{ab}(t)$ und die Wahrscheinlichkeit können berechnet werden. Der Grad der Verlässlichkeit sowohl der symbolischen Prognose als auch der dynamischen Prognose werden vorzugsweise zum Beispiel unter Verwendung der absoluten Größen des Fehlers und der Wahrscheinlichkeit evaluiert.

[0139] Zum Beispiel kann die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses auf Basis der Wahrscheinlichkeit des Teilchenfilters berechnen, die eine Änderung in der Verteilung von Reflexionspunkten voraussagt, die als Reflexionspunkte vom bewegten Hindernis durch LIDAR bestimmt werden. Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** kann die Wahrscheinlichkeit des Teilchenfilters als Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses verwenden. Alternativ dazu kann die Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses anhand eines Verfahrens berechnet werden, das die Fehlerkovarianzmatrix des Kalman-Filters verwendet.

[0140] Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges (des Weges, auf dem das sich unabhängig bewegende Hindernis vermieden wird) auf Basis der Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses und der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs. Zum Beispiel berechnet die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** für die Verlässlichkeit des zweiten Weges einen umso höheren Wert, je mehr Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses erhöht wird.

[0141] Wenn die Prognose anhand eines Modells durchgeführt wird, kann die Verlässlichkeit des Modells unter Verwendung der Wahrscheinlichkeit einer statistischen Größe evaluiert werden, die der Wahrscheinlichkeit ähnlich ist, die erhalten wird, wenn das bewegte Hindernis identifiziert wird. Durch die Verwendung der Varianz der Prognose der künftigen Position, die bei der Prognose der dynamischen Zeitentwicklung anhand des

Modells erhalten wird, kann die Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses umso geringer werden, je höher die Varianz wird.

Verlässlichkeit der Prognose eines sich interaktiv bewegenden Hindernisses

[0142] Die Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses wirkt sich auf die Verlässlichkeit des dritten Weges aus. Zum Beispiel kann die Interaktion im autonomen Fahrsystem **100** als Änderung des Verhaltens zur Vermeidung einer Kollision zwischen Fahrzeugen betrachtet werden. Enger gefasst ist eine Interaktion eine Änderung des Verhaltens, um die Möglichkeit einer Kollision zwischen Fahrzeugen so weit wie möglich zu verhindern. Im Allgemeinen kann die Möglichkeit einer Kollision zwischen Fahrzeugen leicht verringert werden, wenn das künftige Verhalten des Fahrzeugs exakt geschätzt werden kann (wenn die Verlässlichkeit der Prognose hoch ist).

[0143] Wenn das künftige Verhalten des Fahrzeugs nicht ausreichend bekannt ist, wird davon ausgegangen, dass die Verringerung der Möglichkeit einer Kollision zwischen Fahrzeugen begrenzt ist. Eine Änderung des Verhaltens, um eine Kollision zwischen Fahrzeugen in einer Verkehrsumgebung zu vermeiden, kann nicht lediglich anhand eines physikalischen Gesetzes beschrieben werden, sondern unter Berücksichtigung eines Modells, welches das Verhalten des bewegten Körpers in einer Umgebung beschreibt und das die Struktur der Straße und die Verkehrsregel einschließt. Somit muss ein Verfahren für die Berechnung der Verlässlichkeit auf dem Modell basieren. Die oben beschriebene „Einfahrt in einen Kreisverkehr“ wird als Modell verwendet, mit dem eine Änderung des Verhaltens zur Vermeidung einer Kollision zwischen Fahrzeugen in einer Verkehrsumgebung beschrieben wird.

[0144] Die Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses wird als Schätzung berechnet, wo die Interferenzmatrix D_{ab} erhalten wird. Genauer beinhaltet eine solche Schätzung eine Schätzung der Positionen des Host-Fahrzeugs a und des bewegten Hindernisses b zur Berechnung des Konflikttensors C , eine Schätzung der Geschwindigkeit und eine Schätzung der Matrix R der in Frage kommenden Wege durch Eingrenzung der Auswahl der Wege.

[0145] Der Konflikttensor C ist in der allgemeinen Formel (42) dargestellt. Das Host-Fahrzeug wird mit a bezeichnet.

$$C_{a\alpha, b\beta} = C_{a\alpha, b\beta}(x_a, v_{a\alpha}, x_b, v_b, \delta t) \quad (42)$$

Die Geschwindigkeit v_b des anderen Fahrzeugs b ist eine gemessene Größe. Wenn eine Mehrzahl von Messungen durchgeführt wird, kann eine Varianz δv_b der Geschwindigkeit v_b berechnet werden. Für jeden möglichen in Frage kommenden Weg β des anderen Fahrzeugs b wird eine Zeitspanne $t_{b\beta}$ bis zum Erreichen eines Punktes, wo der in Frage kommende Weg β den in Frage kommenden Weg des Host-Fahrzeugs a schneidet, in der allgemeinen Formel (43) und der allgemeinen Formel (44) dargestellt.

$$t_{b\beta} + \delta t_{b\beta} = \frac{1(n_{a\alpha, b\beta}, x_{ab})}{v_b + \delta v_b} \quad (43)$$

$$\sim t_{b\beta} - \frac{1(n_{a\alpha, b\beta}, x_{ab})}{v_b} \delta v_b \quad (44)$$

[0146] Somit wird eine Varianz $1(n_{a\alpha, b\beta}, x_{ab})\sigma_{v_b}/v_b$ der Zeitspanne $t_{b\beta}$ erhalten. Eine Verteilung $p(t)$ der Differenz der Zeit zwischen dem Host-Fahrzeug a , das die Position $n_{a\alpha, b\beta}$ als erstes durchfährt, und dem anderen Fahrzeug b , das die Position $n_{a\alpha, b\beta}$ durchfährt, ist eine Verteilung der Varianz mit dem Zentrum bei $(t_{b\beta} - t_{a\alpha})$.

[0147] Eine Probabilität $P_{a\alpha, b\beta}$, dass die Differenz der Zeit für das Durchfahren der Position $n_{a\alpha, b\beta}$ zwischen dem Host-Fahrzeug a und dem anderen Fahrzeug b höchstens so groß ist wie δt , ist in der allgemeinen Formel (45) dargestellt.

$$P_{a\alpha, b\beta} = \int_{-\infty}^{\delta t} \rho(t) dt \quad (45)$$

[0148] Die Möglichkeit eines Kontakts kann wie in der allgemeinen Formel (46) durch Vergleichen der Probabilität mit einem Schwellenwert θ_c geschätzt werden.

$$C_{a\alpha, b\beta} = \begin{cases} 0 & P_{a\alpha, b\beta} \leq \theta_c \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (46)$$

Einer der bevorzugten Indizes, der die Verlässlichkeit der Schätzung der Möglichkeit eines Kontakts angibt, ist der Index (47), das heißt das Verhältnis des Schwellenwerts θ_c zur Probabilität $P_{a\alpha, b\beta}$.

$$\frac{\theta_c}{P_{a\alpha, b\beta}} \quad (47)$$

Wenn die Geschwindigkeit des anderen Fahrzeugs b nicht gemessen wird, wird in Betracht gezogen, dass v_b durch eine gesetzlich zulässige Geschwindigkeit (eine gesetzlich zulässige Geschwindigkeit, die der Position des Host-Fahrzeugs a auf der Landkarte entspricht) ersetzt wird. In einem solchen Fall wird die Verlässlichkeit von $C_{a\alpha, b\beta}$ vorzugsweise beispielsweise durch eine vorab eingestellte geringe Verlässlichkeit ersetzt. Die Verlässlichkeit von $C_{a\alpha, b\beta}$ ist ein Beispiel für die Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses. Alternativ dazu wird eine Größe eines Versatzes von einer Trennfläche in einer Support Vector Machine als ein Beispiel in Betracht gezogen.

[0149] Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** berechnet die Verlässlichkeit des dritten Weges (des Weges, auf dem das sich interaktiv bewegende Hindernis vermieden wird) auf Basis der Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses und der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs. Zum Beispiel berechnet die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** für die Verlässlichkeit des dritten Weges einen umso höheren Wert, je mehr Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses erhöht wird.

Verlässlichkeit der Matrix in Frage kommender Wege

[0150] Informationen, die erforderlich sind, um die Matrix in Frage kommender Wege unter Verwendung der Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung zu erhalten, sind lediglich die Position des bewegten Hindernisses. Wenn der in Frage kommende Weg einen Verzweigungspunkt des Weges beinhaltet, wie etwa an einer Kreuzung, wird einer Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen in der Matrix in Frage kommender Wege, die unter Verwendung der Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung erhalten wird, 1 zugeordnet. Ein Beispiel ist die Erörterung im Zusammenhang mit dem Kreisverkehr. Die Matrix R der in Frage kommenden Wege kann eingegrenzt werden wie in der allgemeinen Formel (48).

$$R_{2\beta} = (1 \ 1)_{\beta} \rightarrow R_{2\beta} = (1 \ 0)_{\beta} \quad (48)$$

Das heißt, die Matrix in Frage kommender Wege, die auf Basis der Annahme einer Vermeidung einer Wegüberschneidung zwei Möglichkeiten der Schätzung aufweist, wird durch detailliertes Beobachten des bewegten Hindernisses auf eine Matrix in Frage kommender Wege eingegrenzt, die eine Möglichkeit hat. Durch Eingrenzen der Auswahl des in Frage kommenden Weges kann sich das autonom fahrende Fahrzeug effizient fortbewegen.

[0151] Die Matrix in Frage kommender Wege weist aufgrund ihrer Definition eine Beziehung in der allgemeinen Formel (49) auf.

$$\sum_{\beta} R_{b\beta} \geq 1 \quad (49)$$

Wenn der Wert der Beziehung kleiner wird, wird die Absicht (der ausgewählte Weg) des bewegten Hindernisses b gut abzuschätzen.

[0152] In der tatsächlichen Umgebung muss eine Interaktion zwischen dem bewegten Hindernis b und dem Host-Fahrzeug a in der Nähe des Verzweigungspunkts berücksichtigt werden, um die Absicht des bewegten

Hindernisses b hinsichtlich der Auswahl eines in Frage kommenden Weges, der vom Verzweigungspunkt abzweigt, einschätzen zu können. Eine Probabilität $\rho(a,b,\beta)$ dafür, dass das bewegte Hindernis b den in Frage kommenden Weg β auswählt, braucht nicht nur Makromesswerte des bewegten Hindernisses b , sondern auch Makromesswerte des Host-Fahrzeugs a . Die Makromesswerte sind typischerweise ein Abstand d zum Verzweigungspunkt ab der Position des bewegten Hindernisses b , die Geschwindigkeit v des bewegten Hindernisses b und die Richtung h der Fahrzeugkarosserie des bewegten Hindernisses b . Das heißt, die Probabilität $\rho(a,b,\beta)$ dafür, dass das bewegte Hindernis b den Weg β auswählt, aus der Sicht des Host-Fahrzeugs a wird in der allgemeinen Formel (50) dargestellt.

$$\rho(a, b, \beta) = \rho(a, b, \beta : d_a, v_a, h_a, d_b, v_b, h_b) \quad (50)$$

Die Wahrscheinlichkeits- bzw. Probabilitätsfunktion kann exakter reproduziert werden, wenn eine ausreichende Menge an Daten in der Nähe des Verzweigungspunkts bereitgestellt werden. Ein Prozess, der in der allgemeinen Formel (51) dargestellt wird, wird dadurch durchgeführt, dass die Probabilitätsfunktion erhalten wird und die Probabilitätsfunktion mit dem Schwellenwert θ verglichen wird.

$$R_{b\beta} = \begin{cases} 0 & \rho(a, b, \beta : d_a, v_a, h_a, d_b, v_b, h_b) \leq \theta \\ 1 & \text{andernfalls} \end{cases} \quad (51)$$

Durch Durchführen eines solchen Prozesses kann die Absicht (der ausgewählte Weg) des bewegten Hindernisses b aus der Sicht des Host-Fahrzeugs a eingegrenzt werden. Die allgemeine Formel (52), das heißt das Verhältnis des Schwellenwerts θ zur Probabilität $\rho(a,b,\beta: d_a, v_a, h_a, d_b, v_b, h_b)$, ist ein bevorzugtes Beispiel für die eingegrenzte Verlässlichkeit.

$$\frac{\theta}{\rho(a, b, \beta : d_a, v_a, h_a, d_b, v_b, h_b)} \quad (52)$$

Eine solche Funktion kann unter Verwendung einer Support Vector Machine oder dergleichen verwirklicht werden, wenn Daten, die den Abstand d zum Verzweigungspunkt ab der Position des bewegten Hindernisses b , die Geschwindigkeit v des bewegten Hindernisses b und die Richtung h der Fahrzeugkarosserie des bewegten Hindernisses b einschließen, bereitgestellt werden. Wenn eine Support Vector Machine verwendet wird, wird vorzugsweise das Verhältnis des Abstands zu einer Identifikationsebene der Support Vector Machine ab einem Datenpunkt zur Machine-Größe der Support Vector Machine als die Verlässlichkeit der Eingrenzung der Absicht (des ausgewählten Weges) des bewegten Hindernisses b aus der Sicht des Host-Fahrzeugs a verwendet. Das veranschaulichte bewegte Hindernis b ist jedes bewegte Hindernis, und der beschriebene Inhalt kann auf verschiedene bewegte Hindernisse angewendet werden.

[0153] Auch wenn das veranschaulichte Verfahren, mit dem die Verlässlichkeit erhalten wird, den Probabilitätsschwellenprozess für den Konflikttensor verwendet und den Probabilitätsschwellenprozess und die Support Vector Machine zum Eingrenzen der Matrix in Frage kommender Wege verwendet, ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, und die Verlässlichkeit kann anhand von anderen geeigneten Verfahren erhalten werden.

[0154] Der Schwellenwert θ kann als Index der Verlässlichkeit verwendet werden. Genauer ist Möglichkeit, dass bestimmt wird, dass eine Möglichkeit einer Kollision besteht, verringert, wenn dem Schwellenwert θ bei der Berechnung des Konflikttensors ein relativ großer Wert als temporärer Wert gegeben werden kann, und die in Frage kommenden Wege werden problemlos eingegrenzt. Somit werden die Absichtsentscheidung und die Verhaltensentscheidung unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung einer Kollision relativ frei durchgeführt. Das heißt, es wird eine effiziente Wegeauswahl im Host-Fahrzeug durchgeführt. Auch im Falle der Wegeauswahl wird das Verhalten eines anderen Fahrzeugs unmittelbar vor dem Schwellenprozess auf die gleiche Weise probabilistisch geschätzt. Somit kann die geringste Verlässlichkeit, die während der Berechnung erscheint, ohne Weiteres als Verlässlichkeit der Wegeauswahl zugeordnet werden. Wenn die Verlässlichkeit ausreichend höher als die ursprüngliche Verlässlichkeit ist und die relativ freie Absichtsentscheidung und Verhaltensentscheidung ausgewählt werden, kann daher davon ausgegangen werden, dass das autonome Fahrsystem **100** eine angemessene und effiziente autonome Fortbewegung durchführen kann. Wenn die Verlässlichkeit nicht ausreichend höher ist als die ursprüngliche Verlässlichkeit, grenzt das autonome Fahrsystem **100** die Auswahl der in Frage kommenden Wege für ein anderes bewegtes Hindernis nicht ein und wählt eine relativ strenge

Absichtsentscheidung und Verhaltensentscheidung unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung einer Kollision auf Basis der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses, das eine Mehrzahl von in Frage kommenden Wegen einschlägt. Demgemäß kann das autonome Fahrsystem **100** eine autonome Fortbewegung mit einer höheren Verlässlichkeit durchführen.

Prozess der Eingrenzung der Matrix in Frage kommender Wege

[0155] Fig. 4 ist ein Ablaufschema, das einen Prozess der Eingrenzung der Matrix in Frage kommender Wege veranschaulicht. Das bewegte Hindernis b wird als Ziel für die Wegeschätzung beschrieben.

[0156] Wie in Fig. 4 veranschaulicht ist, verwendet die ECU **10** in S80 die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, die Probabilität p dafür, dass das bewegte Hindernis b den einen in Frage kommenden Weg β einschlägt, zu erhalten. Das Verfahren, mit dem die Probabilität p erhalten wird, wird oben beschrieben.

[0157] In S82 verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um zu bestimmen, ob oder ob nicht die Probabilität p dafür, dass das bewegte Hindernis b den in Frage kommenden Weg β auswählt, geringer ist als ein Schwellenwert. Der Schwellenwert ist ein Wert, der vorab eingestellt wird. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Probabilität p dafür, dass das bewegte Hindernis b den in Frage kommenden Weg β auswählt, höchstens so hoch ist wie der Schwellenwert (S82: JA), geht die ECU **10** zu S84 über. Wenn die ECU **10** bestimmt, dass die Probabilität p dafür, dass das bewegte Hindernis b den in Frage kommenden Weg β auswählt, nicht höchstens so hoch ist wie der Schwellenwert (S82: NEIN), geht die ECU **10** zu S86 weiter.

[0158] In S84 verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um $R_b\beta$ in der Matrix in Frage kommender Wege R durch null zu ersetzen. Dann beendet die ECU **10** den aktuellen Prozess. In S86 verwendet die ECU **10** die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges, um $R_b\beta$ in der Matrix in Frage kommender Wege durch eins zu ersetzen. Dann beendet die ECU **10** den aktuellen Prozess.

Detektion eines bewegten Hindernisses mit erheblichem Einfluss

[0159] Im Folgenden wird eine Detektion eines bewegten Hindernisses betrachtet, das einen relativ großen Einfluss auf die Generierung eines Weges hat. Vom autonomen Fahrsystem **100** wird eine große Zahl von Hindernissen beobachtet. Wenn ein autonomes Fahren durchgeführt wird, wird der Prognosefehler tendenziell größer, je weiter das bewegte Hindernis vom Host-Fahrzeug weg ist. Auch wenn hierfür keine besondere Beschränkung besteht, ist es daher bevorzugt, das Vorhandensein des weit entfernten bewegten Hindernisses nicht in der Steuerung des autonomen Fahrsystems **100** widerzuspiegeln. Um ein praxistaugliches autonomes Fahrsystem **100** zu verwirklichen, ist es anzustreben, ein Verfahren zum Auswählen eines bewegten Hindernisses mit einem relativ erheblichen Einfluss aus der großen Zahl bewegter Hindernisse einzurichten.

[0160] Eine neu konfigurierte Außenumgebung $E(s)$ des Fahrzeugs wird mathematisch in der allgemeinen Formel (53) dargestellt.

$$p^*(\tau, \hat{h}) = \arg_{\min} \left\{ \text{Cost} \left(p(\tau, \hat{h}), E(s) \right) \right\} \quad (53)$$

In der allgemeinen Formel (53) bezeichnet $p(\tau)$ einen in Frage kommenden Weg und $E(s)$ bezeichnet die Außenumgebung des Fahrzeugs, die in einem vierdimensionalen Zeitraum aus dem Sensorsignal s neu konfiguriert wird. Der Schätzwert der Haltung (Richtung) des Host-Fahrzeugs wird bezeichnet durch \hat{h} .

[0161] Wenn das Host-Fahrzeug mit a bezeichnet wird und eine Umgebung ($E(s) \ominus Ob(s)$), die durch Entfernen eines bewegten Hindernisses $Ob(s)$ aus der Außenumgebung $E(s)$ des Fahrzeugs erhalten wird, betrachtet wird, wird ein in Frage kommender Weg für die Umgebung erhalten wie in der allgemeinen Formel (54).

$$p_a^{\ominus Ob}(\tau) = \arg_{\min} \left\{ \text{Cost} \left(p_a(\tau), E(s) \ominus Ob(s) \right) \right\} \quad (54)$$

Wenn die allgemeine Formel (55) erfüllt ist, wird die Ausgabe des autonomen Fahrsystems **100** auch dann nicht geändert, wenn angenommen wird, dass das bewegte Hindernis $Ob(s)$ nicht existiert. Somit kann der Einfluss des bewegten Hindernisses $Ob(s)$ auf das autonome Fahrsystem **100** als relativ gering betrachtet werden.

$$p_a^{\text{Ob}}(\tau) \sim p_a^*(\tau) \quad (55)$$

Der Unterschied zwischen zwei in Frage kommenden Wegen wird anhand der allgemeinen Formel (56) evaluiert. Ferner wird die allgemeine Formel (57) betrachtet.

$$d(p_a^{\text{Ob}}(\tau), p_a^*(\tau)) = d \tau |p_a^{\text{Ob}}(\tau) - p_a^*(\tau)|^2 \quad (56)$$

$$F_a = \sum_b d(p_a^{\text{Ob}}(\tau), p_a^*(\tau)) \quad (57)$$

Die allgemeine Formel (56) und die allgemeine Formel (57) werden als Grad der Umweltabhängigkeit des autonomen Fahrsystems bezeichnet.

[0162] Wenn die Anzahl der bewegten Hindernisse durch n bezeichnet wird, wird die Varianz des Unterschieds des in Frage kommenden Weges definiert wie in der allgemeinen Formel (58), und die allgemeine Formel (59) wird als Grad des relativen Einflusses definiert, der den relativen Wert eines Einflusses des bewegten Hindernisses b auf das Host-Fahrzeug a angibt.

$$\sigma_{da}^2 = \frac{1}{n} \sum_b d\left(p_a^{\text{Ob}}(\tau), p_a^*(\tau) - \frac{1}{n} F_a\right)^2 \quad (58)$$

$$F_{ab}^N = \frac{d(p_a^{\text{Ob}}(\tau), p_a^*(\tau))}{F_a} \quad (59)$$

Eine solche Größe ist eine Größe, die anhand der Anwesenheit des bewegten Hindernisses erhalten wird. Eine solche Größe hat eine geringe Möglichkeit dafür, dass $p_a^*(\tau)$ erheblich geändert wird, wenn ein Objekt, für das eine Segmentierungs-/Nachverfolgungsleitung gering ist, durch zwei geteilt wird. Daher kann erwartet werden, dass das autonome Fahrsystem **100** ein stabiles Ergebnis erhält.

[0163] Zum Beispiel wird in Betracht gezogen, dass der Grad der Schwierigkeit, den das autonome Fahrsystem **100** beim Lesen der Außenumgebung des Fahrzeugs hat, geschätzt wird wie in der allgemeinen Formel (60), unter Verwendung eines Grades F_{ab}^N eines relativen Einflusses, der nachstehend beschrieben wird.

$$U_a(t) = \sum_b |\delta X_b(t)| \cdot F_{ab}^N \quad (60)$$

Es wird in Betracht gezogen, dass ein bewegtes Hindernis α_a , vor dem das Host-Fahrzeug a als Erstes gewarnt werden sollte, anhand der allgemeinen Formel (61) erhalten wird.

$$\alpha_a(t) = \arg_{max} \left\{ |\delta X_b(t)| \cdot F_{ab}^N \right\} \quad (61)$$

Wirkung des autonomen Fahrsystems (der Routeneinstellungsvorrichtung)

[0164] Das autonome Fahrsystem **100** (die Routeneinstellungsvorrichtung **101**) gemäß der bisher beschriebenen vorliegenden Ausführungsform generiert den ersten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind, den zweiten Weg für das Host-Fahrzeug wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, und den dritten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Das autonome Fahrsystem **100** berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges und stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Somit kann das autonome Fahrsystem **100** als Route für die

Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einen von den Wegen einstellen, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

[0165] Wenn im autonomen Fahrsystem **100** die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** den dritten Weg als Route ein, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt. Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den zweiten Weg ein. Wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert, stellt die Routeneinstellungseinheit **19** als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den ersten Weg ein. Wenn die Verlässlichkeit im autonomen Fahrsystem **100** ausreichend hoch ist, kann daher die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, in der Reihenfolge dritter Weg und zweiter Weg verwendet werden. Wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges im autonomen Fahrsystem **100** nicht ausreichend hoch sind, wird als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der erste Weg eingestellt. Somit wird einer Situation entgegengewirkt, wo wegen der ungenügenden Verlässlichkeit des zweiten Weges und der ungenügenden Verlässlichkeit des dritten Weges keine Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs eingestellt werden kann.

[0166] Im autonomen Fahrsystem **100** berechnet die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf der Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses in einem Fall, wo angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt. Somit kann die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf angemessenere Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges nur anhand der Verlässlichkeit von Abtastwerten des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des sich unabhängig bewegenden Hindernisses berechnet wird.

[0167] Ebenso berechnet im autonomen Fahrsystem **100** die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit des dritten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses in einem Fall, wo angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Somit kann die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** die Verlässlichkeit des dritten Weges auf besser geeignete Weise erhalten als wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges nur anhand der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs oder der Verlässlichkeit der Voraussage des in Frage kommenden Weges des interaktiven bewegten Hindernisses berechnet wird.

[0168] Auch wenn bis hierher eine exemplarische Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben wurde, ist die vorliegende Erfindung nicht auf die Ausführungsform beschränkt. Die vorliegende Erfindung kann in verschiedenen Formen verwirklicht werden, die durch Ausführen verschiedener Änderungen und Verbesserungen auf Basis des Wissens eines Fachmanns vorgenommen werden können.

[0169] Auch wenn die vorliegende Ausführungsform beschreibt, dass die Routeneinstellungsvorrichtung 101 ein fester Bestandteil des autonomen Fahrsystems **100** ist, muss die Routeneinstellungsvorrichtung 101 kein fester Bestandteil des autonomen Fahrsystems sein. Die Routeneinstellungsvorrichtung 101 kann einen Teil eines Fahrerunterstützungssystems bilden, das eine Fahrerbetätigung des Fahrers unterstützt. Die Routeneinstellungsvorrichtung 101 kann für die Generierung einer Route in einem Navigationssystem verwendet werden, um den Fahrer zu leiten. Das heißt, das Verfahren der Verwendung der Route, die von der Routengenerierungsverarbeitung 101 generiert wird, ist nicht besonders beschränkt.

[0170] Wenn die Hinderniserkennungseinheit **12** eine Mehrzahl von Hindernissen erkennt, kann die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges einen in Frage kommenden Vergleichsweg für jeden in Frage kommenden Weg, der als der dritte Weg generiert wird, generieren. Der in Frage kommende Vergleichsweg ist ein in Frage kommender Weg, wenn angenommen wird, dass eines von den Hindernissen nicht existiert. In einem solchen Fall lässt die Routeneinstellungseinheit **19** die Einstellung der Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, als in Frage kommenden Weg, bei dem der Grad der lateralen Trennung vom in Frage kommenden Vergleichsweg höchstens so groß ist wie ein Trennungsgradschwellenwert, von den in Frage kommenden Wegen, die als dritter Weg generiert werden, nicht zu. Wenn ein in Frage kommender Weg in einem Fall, wo angenommen wird, dass kein Hindernis existiert, lateral deutlich geändert wird, wird angenommen, dass die Generierung des in Frage kommenden Weges instabil ist. Somit lässt die Routeneinstellungseinheit

19 nicht zu, dass die Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, als in Frage kommender Weg eingestellt wird.

[0171] Der Grad der lateralen Trennung zwischen dem in Frage kommenden Weg und dem in Frage kommenden Vergleichsweg kann durch Vergleichen des lateralen Abstands zwischen dem in Frage kommenden Weg und dem in Frage kommenden Vergleichsweg (dem Abstand in der Breitenrichtung des Fahrstreifens) für jede Längsrichtungsposition auf dem Fahrstreifen als der längste laterale Abstand eingestellt werden. Der Grad der lateralen Trennung kann der integrale Wert des lateralen Abstands in einer bestimmten Anzahl von Längsrichtungspositionen vor dem Host-Fahrzeug sein. Der Trennungsgradschwellenwert ist ein Wert, der vorab eingestellt wird.

[0172] Die Berechnung der Verlässlichkeit durch die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** ist nicht auf den oben beschriebenen Inhalt beschränkt. Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** kann die Verlässlichkeit des zweiten Weges oder die Verlässlichkeit des dritten Weges lediglich aus der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs berechnen. Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** muss die Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs nicht berechnen. Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** kann die Verlässlichkeit der Prognose des sich unabhängig bewegenden Hindernisses berechnen und kann die Verlässlichkeit des dritten Weges lediglich aus der Verlässlichkeit der Prognose des sich interaktiv bewegenden Hindernisses berechnen.

[0173] Die Verlässlichkeitsberechnungseinheit **18** kann die Verlässlichkeit des ersten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs berechnen. Wenn beispielsweise die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des dritten Weges auch niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert, kann die Routeneinstellungseinheit **19** den Fahrer auffordern, einzugreifen, wenn die Verlässlichkeit des ersten Weges niedriger ist als ein erster Verlässlichkeitsschwellenwert. Der erste Verlässlichkeitsschwellenwert ist ein Wert, der vorab eingestellt wird.

[0174] Die Routeneinstellungsvorrichtung 101 muss den ersten Weg nicht generieren. Das heißt, die Routeneinstellungsvorrichtung 101 muss die Einheit **15** zur Generierung des ersten Weges nicht enthalten und kann die Einheit **16** zur Generierung des zweiten Weges und die Einheit **17** zur Generierung des dritten Weges enthalten. In einem solchen Fall generiert die Routeneinstellungsvorrichtung 101 den zweiten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt, und generiert den dritten Weg für das Host-Fahrzeug, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert. Die Routeneinstellungsvorrichtung 101 berechnet die Verlässlichkeit des zweiten Weges und die Verlässlichkeit des dritten Weges und stellt auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs ein. Somit kann die Routeneinstellungsvorrichtung 101 als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs einen von den Wegen einstellen, die unter Verwendung einer Mehrzahl von unterschiedlichen Verfahren generiert worden sind.

[0175] In einem solchen Fall kann die Routeneinstellungseinheit 101 den Fahrer auffordern, einzugreifen, wenn die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert.

Patentansprüche

1. Routeneinstellungsvorrichtung (101), die eine Route einstellt, auf der sich ein Host-Fahrzeug fortbewegen soll, wobei die Routeneinstellungsvorrichtung aufweist:

- eine Hinderniserkennungseinheit (12), die dafür ausgelegt ist, Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs zu erkennen;
- eine Einheit (15) zum Generieren eines ersten Weges, um einen ersten Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme zu generieren, dass sämtliche Hindernisse stationäre Hindernisse sind;
- eine Einheit (13) zum Detektieren bewegter Hindernisse, um ein bewegtes Hindernis aus den Hindernissen zu detektieren;
- eine Einheit (16) zum Generieren eines zweiten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen zweiten Weges des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt;
- eine Einheit (17) zum Generieren eines dritten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen dritten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert;

eine Verlässlichkeitsberechnungseinheit (18), die dafür ausgelegt ist, eine Verlässlichkeit des zweiten Weges und eine Verlässlichkeit des dritten Weges zu berechnen; und
 eine Routeneinstellungseinheit (19), die dafür ausgelegt ist, auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den ersten Weg, den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route einzustellen, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

2. Routeneinstellungsvorrichtung (101) nach Anspruch 1, wobei:
 die Routeneinstellungseinheit (19) den dritten Weg als Route einstellt, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie ein dritter Verlässlichkeitsschwellenwert;
 die Routeneinstellungseinheit (19) den zweiten Weg als Route einstellt, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges höher ist als ein zweiter Verlässlichkeitsschwellenwert; und
 die Routeneinstellungseinheit (19) als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs den ersten Weg einstellt, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert.

3. Routeneinstellungsvorrichtung (101) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Verlässlichkeitsberechnungseinheit (18) die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf Basis einer Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit einer Prognose eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt.

4. Routeneinstellungsvorrichtung (101) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Verlässlichkeitsberechnungseinheit (18) die Verlässlichkeit des dritten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert.

5. Routeneinstellungsvorrichtung (101), die eine Route einstellt, auf der sich ein Host-Fahrzeug fortbewegen soll, wobei die Routeneinstellungsvorrichtung aufweist:
 eine Hinderniserkennungseinheit (12), die dafür ausgelegt ist, Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs zu erkennen;
 eine Einheit (13) zum Detektieren bewegter Hindernisse, um ein bewegtes Hindernis aus den Hindernissen zu detektieren;
 eine Einheit (16) zum Generieren eines zweiten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen zweiten Weges des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt;
 eine Einheit (17) zum Generieren eines dritten Weges, die dafür ausgelegt ist, einen dritten Weg des Host-Fahrzeugs zu generieren, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert;
 eine Verlässlichkeitsberechnungseinheit (18), die dafür ausgelegt ist, eine Verlässlichkeit des zweiten Weges und eine Verlässlichkeit des dritten Weges zu berechnen; und
 eine Routeneinstellungseinheit (19), die dafür ausgelegt ist, auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges den zweiten Weg oder den dritten Weg als Route einzustellen, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegt.

6. Routeneinstellungsverfahren zum Einstellen einer Route, auf der sich ein Host-Fahrzeug fortbewegen soll, wobei das Routeneinstellungsverfahren umfasst:
 Generieren eines ersten Weges generiert einen ersten Weg des Host-Fahrzeugs unter der Annahme, dass sämtliche Hindernisse in der Umgebung des Host-Fahrzeugs stationäre Hindernisse sind;
 Generieren eines zweiten Weges des Host-Fahrzeugs, wenn angenommen wird, dass sich ein bewegtes Hindernis, das aus den bewegten Hindernissen detektiert wird, unabhängig bewegt;
 Generieren eines dritten Weges des Host-Fahrzeugs, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert;
 Berechnen einer Verlässlichkeit des zweiten Weges und eine Verlässlichkeit des dritten Weges; und
 Einstellen des ersten Weges, des zweiten Weges oder des dritten Weges als Route, auf der sich das Host-Fahrzeug fortbewegen soll, auf Basis der Verlässlichkeit des zweiten Weges und der Verlässlichkeit des dritten Weges.

7. Routeneinstellungsverfahren nach Anspruch 6, wobei:

beim Einstellen der Route als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der dritte Weg eingestellt wird, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges mindestens so hoch ist wie ein dritter Verlässlichkeitsschwellenwert; beim Einstellen der Route als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der zweite Weg eingestellt wird, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges mindestens so hoch ist wie ein zweiter Verlässlichkeitsschwellenwert; und beim Einstellen der Route als Route für die Fortbewegung des Host-Fahrzeugs der erste Weg eingestellt wird, wenn die Verlässlichkeit des dritten Weges niedriger ist als der dritte Verlässlichkeitsschwellenwert und die Verlässlichkeit des zweiten Weges niedriger ist als der zweite Verlässlichkeitsschwellenwert.

8. Routeneinstellungsverfahren gemäß Anspruch 6 oder 7, wobei bei der Berechnung der Verlässlichkeit die Verlässlichkeit des zweiten Weges auf Basis einer Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit einer Prognose eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet wird, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis unabhängig bewegt.

9. Routeneinstellungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei bei der Berechnung der Verlässlichkeit die Verlässlichkeit des dritten Weges auf Basis der Abtastungsverlässlichkeit des Host-Fahrzeugs und der Verlässlichkeit der Voraussage eines in Frage kommenden Weges des bewegten Hindernisses berechnet wird, wenn angenommen wird, dass sich das bewegte Hindernis bewegt, während es mit mindestens einem von den anderen Hindernissen oder dem Host-Fahrzeug interagiert.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

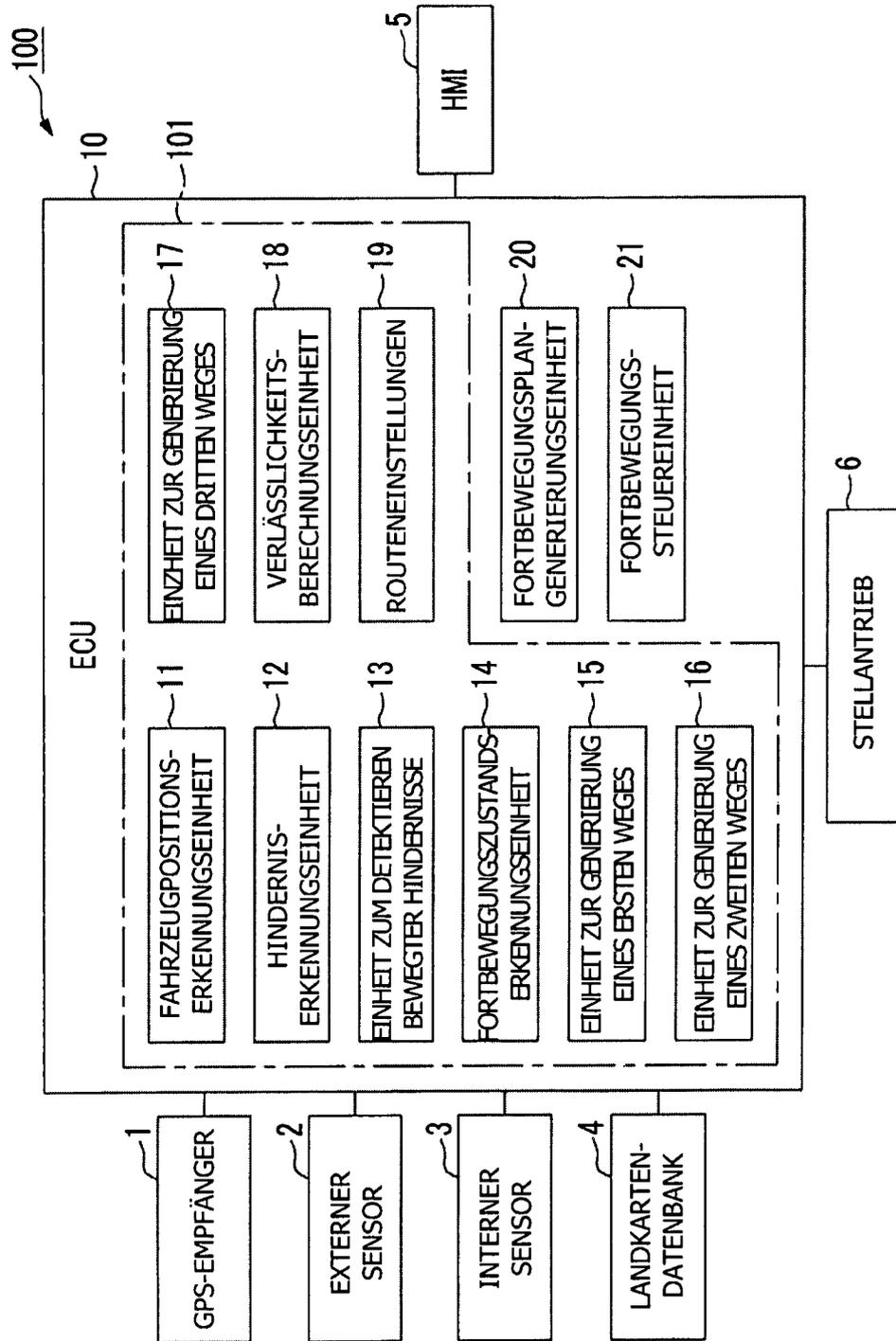


FIG. 2

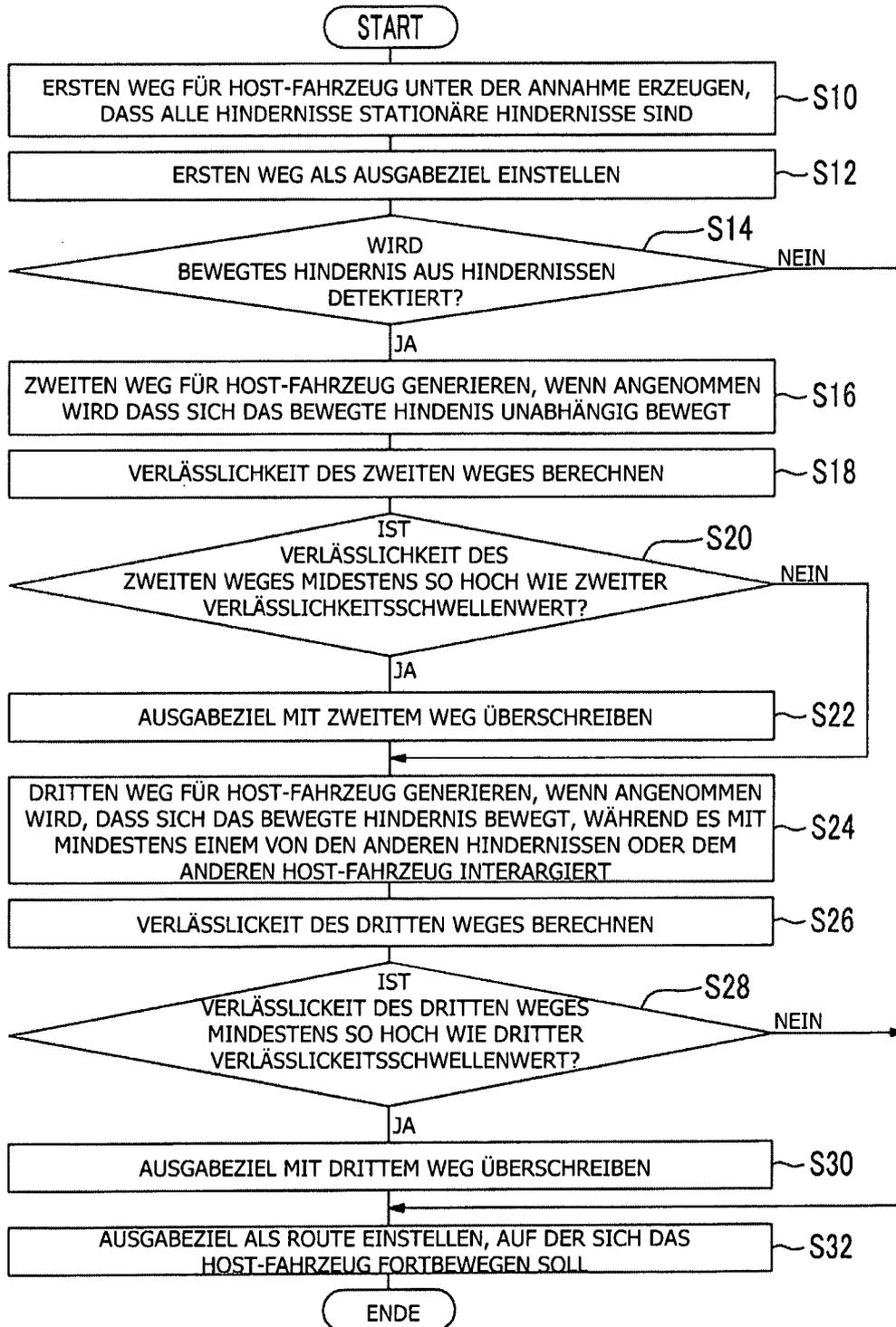


FIG. 3

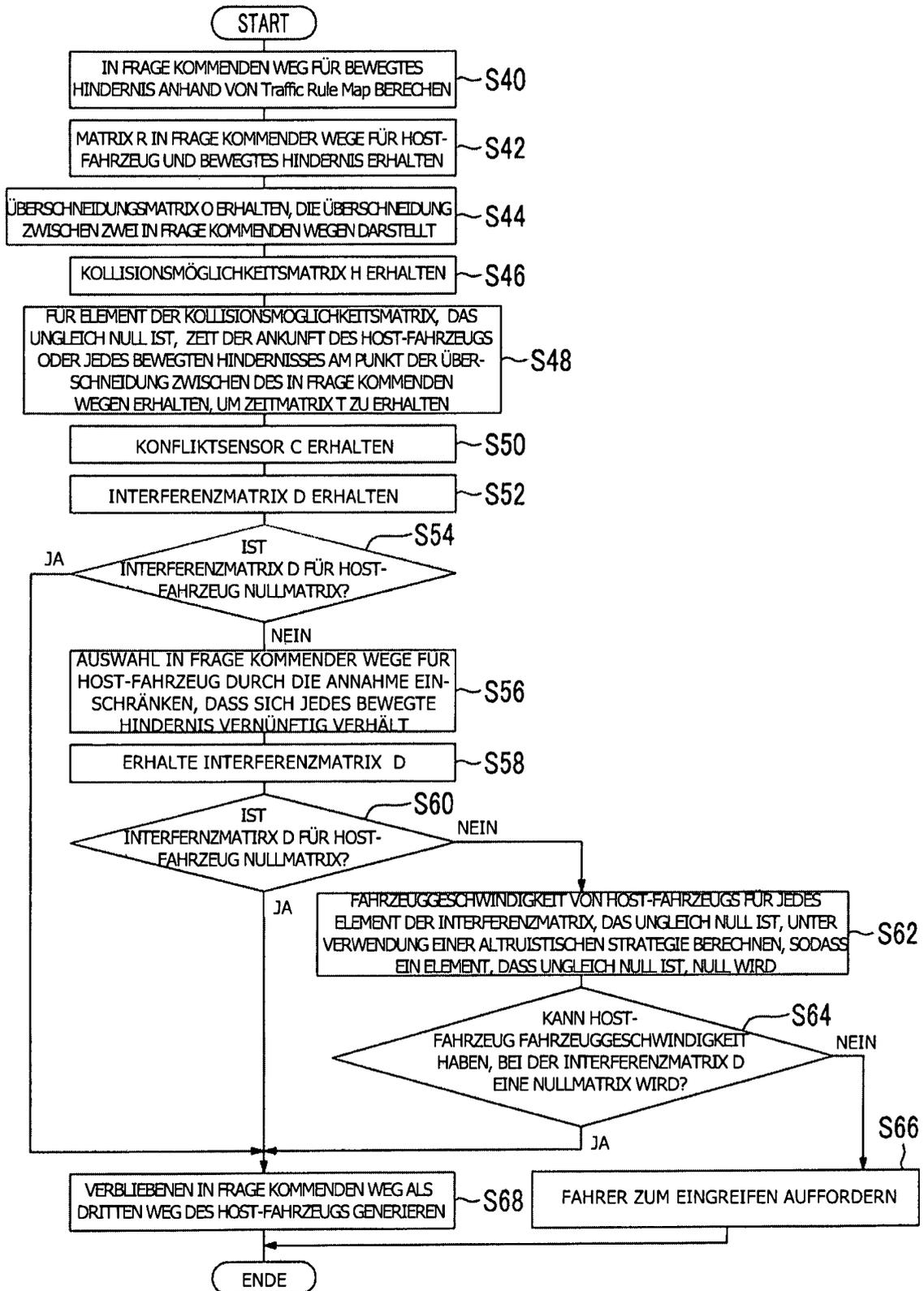


FIG. 4

