



(10) **DE 10 2015 221 920 A1** 2017.05.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 221 920.8**  
(22) Anmeldetag: **09.11.2015**  
(43) Offenlegungstag: **11.05.2017**

(51) Int Cl.: **B60W 30/16** (2006.01)  
**B60W 40/02** (2006.01)  
**B60W 40/10** (2006.01)  
**B60W 30/12** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,  
80809 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**DE 10 2004 027 983 A1**  
**DE 10 2014 215 980 A1**

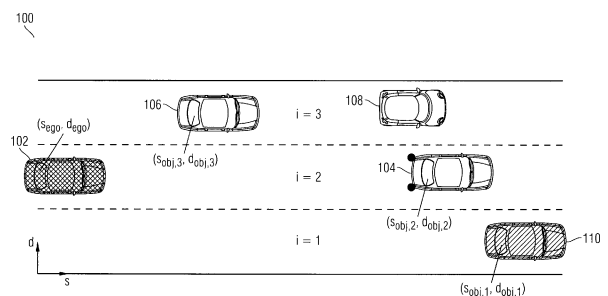
(72) Erfinder:  
**Hellfritsch, Christoph, 81541 München, DE;**  
**Menendez, Cristina, 81373 München, DE;**  
**Rathgeber, Christian, 80796 München, DE;**  
**Winkler, Franz, Dr., 80796 München, DE**

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

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren, Computerprogrammprodukt, Vorrichtung, und Fahrzeug umfassend die Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, das Verfahren umfassend: Bestimmen einer Längsbewegung des Egofahrzeugs, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Egofahrzeugs umfasst; Bestimmen einer Längsbewegung eines Objekts, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Objekts umfasst; Berechnen einer Zieltrajektorie des Objekts basierend auf einer prädizierten Trajektorie des Objekts; Berechnen eines Endzeitpunkts eines Manövers des Egofahrzeugs, wobei der Endzeitpunkt des Manövers ein Zeitpunkt ist, an dem eine Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Egofahrzeug und dem Objekt abgebaut ist; Berechnen eines Abstands zwischen einer Position des Egofahrzeugs und einer Position des Fremdfahrzeugs bezüglich der berechneten Zieltrajektorie zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers des Egofahrzeugs; und Falls der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert unterschreitet: Setzen der bestimmten Geschwindigkeit des Objekts als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs, und Übergeben der Zielgeschwindigkeit an die Trajektorienplanung zur Berechnung einer Folgefahrtrajektorie für das Egofahrzeug.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Fahrzeugs, insbesondere eines Egofahrzeugs. Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt, eine Vorrichtung und ein Fahrzeug umfassend die Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs.

**[0002]** Zukünftige Fahrerassistenzsysteme, kurz FAS, können durch eine exakte Planung der zu fahrenden Trajektorie einen Fahrer stärker unterstützen als es heutige regelbasierte Systeme. Aktuelle regelungstechnische Lösungen einer aktiven Geschwindigkeitsregelung von Fahrzeugen verwenden meist nur einen Regler, der abhängig von einer Situation unterschiedlich parametrisiert werden kann. Für hochautomatisierte Fahrfunktionen kann eine exakte Planung der zu fahrenden Trajektorie zwingend erforderlich sein. Eine Planung einer vom Fahrzeug umsetzbaren und komfortablen Trajektorie kann allerdings mit erheblichem Rechenaufwand verbunden sein. Der Rechenaufwand kann sich weiter deutlich erhöhen, wenn beispielsweise Trajektorien für unterschiedliche Fahrtmodi durch die Trajektorienplanung berechnet und ausgewertet werden müssen. Dieser Rechenaufwand kann so hoch sein, dass die Trajektorie auf Steuergeräten des Fahrzeugs nicht oder nur mit erheblicher Verzögerung berechnet werden können.

**[0003]** Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung eine Steuerung einer Trajektorienplanung eines Fahrzeugs, insbesondere eines Egofahrzeugs, effizient zu verbessern.

**[0004]** Gelöst wird diese Aufgabe durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

**[0005]** Gemäß einem Aspekt zeichnet sich die Erfindung aus durch Verfahren zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Fahrzeugs, insbesondere eines Egofahrzeugs. Das Verfahren umfasst ein Bestimmen einer Längsbewegung des Egofahrzeugs, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Egofahrzeugs umfasst. Das Verfahren umfasst weiter ein Bestimmen einer Längsbewegung eines Objekts, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Objekts umfasst. Vorzugsweise ist das Objekt ein Fahrzeug, z. B. ein Kraftfahrzeug oder ein Motorrad. Das Verfahren umfasst ein Berechnen einer Zieltrajektorie des Objekts basierend auf einer prädierten Trajektorie des Objekts. Eine prädierte Trajektorie ist eine Trajektorie, die beispielsweise mittels eines Bewegungsmodells des Objekts vorausbestimmt bzw. vorausberechnet wird. Dazu können Annahmen bezüglich einer Beschleunigung, einer Geschwindigkeit, und/oder einer Position des Objekts gemacht werden. Eine Zieltrajektorie kann beispielsweise einen Sicherheitsabstand umfassen, der zwischen dem Objekt und dem Egofahrzeug am Ende eines Manövers, insbesondere eines vorgegebenen Manövers, einzuhalten ist. Das Verfahren umfasst weiterhin ein Berechnen eines Endzeitpunkts eines Manövers des Egofahrzeugs, wobei der Endzeitpunkt des Manövers ein Zeitpunkt ist, an welchem eine Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Egofahrzeug und dem Objekt abgebaut ist. Das Verfahren umfasst ein Berechnen eines Abstands zwischen einer Position des Egofahrzeugs und einer Position des Fremdfahrzeugs bezüglich der berechneten Zieltrajektorie zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers des Egofahrzeugs, und, falls der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet, ein Setzen der bestimmten Geschwindigkeit des Objekts als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs, und ein Übergeben bzw. ein Übermitteln der Zielgeschwindigkeit an eine Trajektorienplanung zur Berechnung einer Folgefahrtrajektorie für das Egofahrzeug. Der vorgegebene Schwellwert kann ein vorgegebener Sicherheitsabstand sein. Der vorgegebene Sicherheitsabstand kann dynamisch und/oder statisch sein. Beispielsweise kann der vorgegebene Sicherheitsabstand in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Objekts und/oder des Egofahrzeugs bestimmt werden. Der Schwellwert kann durch eine Hysterese-Funktion, insbesondere durch eine Hysterese-Funktion des Sicherheitsabstands, bestimmt werden. Ein Berechnen des vorgegebenen Schwellwert mittels einer Hysterese-Funktion kann ein kontinuierliches Hin- und Herschalten, ein sogenanntes Toggeln, zwischen einer Freifahrt und einer Folgefahrt verhindern. Das Egofahrzeug kann dadurch mit einem höheren Komfort gesteuert werden.

**[0006]** Vorteilhafterweise kann durch das Bestimmen eines Endzeitpunkts und die Berechnung eines Abstands zum bestimmten Endzeitpunkt effizient bestimmt werden, ob das Egofahrzeug ein Manöver in Freifahrt oder in Folgefahrt ausführen kann. Falls der Abstand zum Endzeitpunkt gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet, kann die Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs nur bis maximal zur Geschwindigkeit des Objekts gewählt werden, um beispielsweise ein Unterschreiten eines Sicherheitsabstands und/oder eine Kollision mit einem sich im Vorderbereich des Egofahrzeugs bewegenden Objekt zu verhindern. Das Egofahrzeug kann bei einem berechneten Abstand, der gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet, von einem Freifahrtmodus in einen Folgefahrtmodus zum aktuellen Zeitpunkt umschalten. Somit kann das Egofahrzeug vorausschauend in

Längsrichtung eine mögliche, zukünftige Bewegung des Objekts schon zum aktuellen Zeitpunkt antizipieren und entsprechend reagieren, z. B. in dem als Zielgeschwindigkeit die Geschwindigkeit des Objekts gewählt wird. Ein Folgefahrmodus des Egofahrzeugs kann effizient und in vorausschauender Art und Weise erkannt werden. Die Trajektorienplanung kann somit effizient gesteuert werden, indem eine oder mehrere Folgefahrtrajektorien mit der bestimmten Zielgeschwindigkeit geplant werden können. Weitere Trajektorien, insbesondere Freifahrttrajektorien müssen durch die Trajektorienplanung nicht berechnet werden, da vor Beginn der Trajektorienplanung bestimmt wurde, dass das Egofahrzeug sich in einem Folgefahrmodus befindet.

**[0007]** Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung kann die prädizierte Trajektorie basierend auf einem vorgegebenen Bewegungsmodell des Objekts in Abhängigkeit der bestimmten Längsbewegung des Objekts bestimmt werden, und/oder kann die Zieltrajektorie einen Sicherheitsabstand zu dem Objekt berücksichtigen, und/oder kann der vorgegebene Schwellwert dem Sicherheitsabstand entsprechen. Durch das vorgegebene Bewegungsmodell kann ein zukünftiges Verhalten des Objekts in Längsrichtung effizient berechnet werden. Ferner können durch die Berücksichtigung eines Sicherheitsabstands die im Straßenverkehr üblichen Sicherheitsparameter direkt bei der Steuerung der Trajektorienplanung des Fahrzeugs einbezogen werden.

**[0008]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann der Endzeitpunkt des Manövers basierend auf einem Bewegungsmodell des Objekts und einem Bewegungsmodells für das Egofahrzeug berechnet werden. Durch die Verwendung von Bewegungsmodellen kann ein zukünftiges Verhalten des Egofahrzeugs und des Objekts effizient bestimmt bzw. berechnet werden.

**[0009]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Bewegungsmodell des Objekts eine Beschleunigung des Objekts bis zu einem vorgegebenen Zeitpunkt konstant halten und nach dem vorgegebenen Zeitpunkt die Beschleunigung auf 0 setzen. Ferner kann das Bewegungsmodell des Egofahrzeugs eine vorgegebene mittlere Beschleunigung des Egofahrzeugs bis zum Endzeitpunkt des Manövers halten. Hiermit kann mit geringem Rechenaufwand ein zukünftiges Beschleunigungsverhalten für das Objekt und das Egofahrzeug berechnet werden.

**[0010]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann die Position des Egofahrzeugs durch das Bewegungsmodell des Egofahrzeugs basierend auf der bestimmten Längsbewegung des Egofahrzeugs zu dem Endzeitpunkt des Manövers berechnet werden. Ferner kann die Position des Objekts durch das Bewegungsmodells des Objekts basierend auf der bestimmten Längsbewegung des Objekts zu dem Endzeitpunkt des Manövers berechnet werden. Hiermit kann, ausgehend von der aktuellen Längsbewegung des Egofahrzeugs und des Objekts, die Position und damit auch der Abstand zum Endzeitpunkt des Manövers zwischen dem Egofahrzeug und dem Objekt einfach berechnet werden.

**[0011]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Verfahren ein Empfangen einer Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs, und/oder, falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs kleiner als die Geschwindigkeit des Objekts ist und/oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers einen vorgegebenen Schwellwert, z. B. einen vorgegebenen Sicherheitsabstand, überschreitet, ein Setzen der Wunschgeschwindigkeit als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs umfassen, und/oder, falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs größer als die Geschwindigkeit oder gleich der Geschwindigkeit des Objekts ist und/oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet, ein Setzen der Geschwindigkeit des Objekts als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs umfassen. Hiermit können effizient eine Freifahrt bzw. ein Freifahrtmodus und/oder eine Folgefahrt bzw. eine Folgefahrmodus des Egofahrzeugs bestimmt werden.

**[0012]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann das Verfahren weiterhin ein Übergeben der Zielgeschwindigkeit an eine Trajektorienplanung zur Berechnung einer Folgefahrtrajektorie für das Egofahrzeug umfassen, falls der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet, und/oder ein Übergeben der Zielgeschwindigkeit an eine Trajektorienplanung zur Berechnung einer Freifahrttrajektorie für das Egofahrzeug umfassen, falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs kleiner als die Geschwindigkeit des Objekts ist oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet. Hiermit kann eine Trajektorienplanung effizient gesteuert werden. Insbesondere können eine Freifahrt und die Trajektorienplanung für die Freifahrt effizient bestimmt werden. Dadurch kann eine Planung von Trajektorien für beide Fahrmodi, Freifahrt und Folgefahrt, nicht mehr notwendig sein. Folglich kann die Trajektorienplanung ressourceneffizient die Trajektorien auf einem Steuergerät für nur die Freifahrt oder die Folgefahrt des Egofahrzeugs planen.

**[0013]** Gemäß einem weiteren Aspekt zeichnet sich die Erfindung aus durch ein Computerprogrammprodukt zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei das Computerprogrammprodukt Instruktionen umfasst, die, wenn ausgeführt auf einem Steuergerät oder einem Rechner des Egofahrzeugs, das oben beschriebene Verfahren ausführen.

**[0014]** Gemäß einem weiteren Aspekt zeichnet sich die Erfindung aus durch eine Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei die Vorrichtung dazu ausgebildet ist, das oben beschriebene Verfahren auszuführen.

**[0015]** Gemäß einem weiteren Aspekt zeichnet sich die Erfindung aus durch ein Fahrzeug umfassend eine Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei die Vorrichtung dazu ausgebildet ist, das oben beschriebene Verfahren auszuführen.

**[0016]** Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen, den Figuren und der Figurenbeschreibung. Alle vorstehend in der Beschreibung genannten Merkmale und Merkmalkombinationen sowie die nachfolgend in der Figurenbeschreibung genannten und/oder in den Figuren allein gezeigten Merkmale und Merkmalkombinationen sind nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder aber in Alleinstellung verwendbar.

**[0017]** Im Folgenden wird anhand der beigefügten Zeichnungen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben. Daraus ergeben sich weitere Details, bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung. Im Einzelnen zeigen schematisch

**[0018]** Fig. 1 eine beispielhafte Verkehrssituation,

**[0019]** Fig. 2 ein beispielhaftes Verfahren zum Steuern einer Trajektorienplanung,

**[0020]** Fig. 3 einen beispielhaften Geschwindigkeitsverlauf zwischen einem Egofahrzeug und einem Objekt, und

**[0021]** Fig. 4 einen beispielhaften Verlauf von Trajektorien eines Egofahrzeugs und eines Objekts.

**[0022]** Unabhängig vom verwendeten Optimierungsverfahren kann eine Berechnung einer fahrbaren Trajektorie mit erheblichem Rechenaufwand verbunden sein. Eine Realisierung der Berechnung einer fahrbaren Trajektorie kann sehr schnell an die Grenzen der im Fahrzeug rechenbaren Umfänge stoßen. Aus diesem Grund sind für die Berechnung bzw. Planung von Trajektorien Maßnahmen zu treffen, um einen Berechnungsaufwand für die Berechnung einer fahrbaren Trajektorie zu verringern.

**[0023]** Eine globale Optimierung einer zufahrenden Trajektorie im gesamten Lösungsraum unter Einhaltung aller Nebenbedingungen kann auf Steuergeräten eines Fahrzeugs nicht umgesetzt werden, da der Rechenaufwand für eine globale Optimierung zu hoch sein kann. Um den Rechenaufwand zu reduzieren, kann ein der Trajektorienplanung vorgelagertes Verfahren ausgeführt werden. Ziel des vorgelagerten Verfahrens ist es, Parameter festzulegen, innerhalb derer eine nachfolgende Trajektorienplanung eine von einem Fahrzeug zu fahrende Trajektorie planen kann. In anderen Worten, ein Lösungsraum für die Trajektorienplanung kann durch das vorgelagerte Verfahren eingeschränkt werden. Trajektorien, die nicht möglich sind, können dabei durch das vorgelagerte Verfahren ausgeschlossen werden, so dass der Rechenaufwand für die nachgelagerte Trajektorienplanung effizient reduziert werden kann.

**[0024]** Zur Beschreibung der Position und Bewegung des eigenen Fahrzeugs, auch Egofahrzeug genannt, und anderer Verkehrsteilnehmer, im Folgenden auch Objekt oder Fremdfahrzeug genannt, können vereinfachenden Annahmen getroffen werden. Innerhalb des vorgelagerten Verfahrens kann ein Lösungsraum in Querrichtung diskretisiert werden. Beispielsweise können nur die Fahrspurmiten als Ziel einer zu berechnenden Trajektorie betrachtet werden. Für die Zeit eines Spurwechsels können beide Fahrspuren, d. h. die aktuelle Fahrspur und die Zielfahrspur, als belegt angenommen werden.

**[0025]** Fig. 1 zeigt eine beispielhafte Verkehrssituation **100**. Das Fahrzeug **102** ist das Egofahrzeug. Die Fahrzeuge **104**, **106**, und **108** sind Fremdfahrzeuge. Zur besseren Darstellung sind die Fahrspuren von  $i = 1$  bis  $i = 3$  nummeriert. Auf der Fahrspur  $i = 1$  ist kein Objekt, z. B. ein weiteres Fremdfahrzeug, vorhanden. Aus diesem Grund wird ein Phantomfahrzeug **110** auf der Spur  $i = 1$  der Fahrbahn angenommen. Das Phantom-

fahrzeug **110** kann am Rand des Erfassungsbereichs einer Umfoldsensorik des Egofahrzeugs **102** platziert werden. Somit sind auf allen Spuren der Fahrbahn Fahrzeuge vorhanden.

**[0026]** Fig. 2 zeigt ein beispielhaftes vorgelagertes Verfahren **200**. In Abhängigkeit des vorgelagerten Verfahrens **200** kann die Trajektorienplanung eine zu fahrende Trajektorie für das Egofahrzeug planen. Das vorgelagerte Verfahren **200** kann somit die nachgelagerte Trajektorienplanung steuern. Das Verfahren **200** kann vorzugsweise durch das Egofahrzeug nur ausgeführt werden, wenn mindestens ein vorgegebener Sicherheitsabstand zu einem vorausfahrenden Objekt gegeben ist. Falls kein vorgegebener Sicherheitsabstand beim Ausführen des Verfahrens vorhanden ist, kann das Verfahren **200** nicht ausgeführt werden. In diesem Fall befindet sich das Egofahrzeug in einem Folgefahrmodus und die nachgelagerte Trajektorienplanung kann eine Folgefahrtrajektorie für das Egofahrzeug planen bzw. berechnen.

**[0027]** Das Verfahren **200** kann eine Längsbewegung des Egofahrzeugs **102** zu einem aktuellen Zeitpunkt bestimmen **202**, z. B. durch eine Sensorik des Egofahrzeugs **102** messen. Die Längsbewegung des Egofahrzeugs **102** kann eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, und/oder eine Position des Egofahrzeugs **102** umfassen. Das Verfahren **200** kann ferner eine Längsbewegung eines Objekts, z. B. eines Fremdfahrzeugs **104** bis **110**, bestimmen **204**, z. B. durch die Sensorik des Egofahrzeugs messen. Die Längsbewegung des Objekts kann eine Position, eine Geschwindigkeit, und/oder eine Beschleunigung des Objekts umfassen.

**[0028]** Die Längsbewegung des Egofahrzeugs **102** und einem Fremdfahrzeug kann mittels eines jeweiligen Bewegungsmodells berechnet werden. Im Detail kann die Längsbewegung der Fremdfahrzeuge bzw. Objekte kann unter Annahme einer konstant bleibenden, gemessenen Beschleunigungen  $\ddot{s}_{obj,0}$  ausgehend von der gemessenen Anfangsgeschwindigkeit  $\dot{s}_{obj,0}$  und Anfangsposition  $s_{obj,0}$  mit

$$\dot{s}_{obj}(t) = \dot{s}_{obj,0} + \ddot{s}_{obj,0} \cdot t \text{ für } t < t_{konst} \quad (1)$$

bzw.

$$\dot{s}_{obj}(t) = \dot{s}_{obj,0} + \ddot{s}_{obj,0} \cdot t_{konst} \text{ für } t \geq t_{konst} \quad (2)$$

beschrieben werden. Entsprechend ergibt sich für die Position

$$s_{obj}(t) = s_{obj,0} + \dot{s}_{obj,0} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{s}_{obj,0} \cdot t^2 \text{ für } t < t_{konst} \quad (3)$$

bzw.

$$s_{obj}(t) = s_{obj,0} + \dot{s}_{obj,0} \cdot t_{konst} + \frac{1}{2} \cdot \ddot{s}_{obj,0} \cdot t_{konst}^2 + (\dot{s}_{obj,0} + \ddot{s}_{obj,0} \cdot t_{konst}) \cdot (t - t_{konst}) \text{ für } t \geq t_{konst} \quad (4)$$

**[0029]** Die Ego-Fahrzeug-Bewegung ergibt sich analog dazu mit

$$\dot{s}_{ego}(t) = \dot{s}_{ego,0} + \ddot{s}_{ego,0} \cdot t \quad (5)$$

bzw.

$$s_{ego}(t) = s_{ego,0} + \dot{s}_{ego,0} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \ddot{s}_{ego,0} \cdot t^2 \quad (6)$$

**[0030]** Das Verfahren **200** kann für eine oder mehrere befahrbare Spuren einer Straße ausgeführt werden. Für welche Objekte das Verfahren **200** ausgeführt wird, kann von einem vorgegebenen Manöver abhängen. Mögliche Manöver können eine Spurhalten oder ein Spurwechsel des Egofahrzeugs sein. Ferner kann das Verfahren **200** Objekte betrachten, die in einen Manöverraum des Egofahrzeugs eindringen. Wenn beispielsweise ein Objekt in eine Fahrspur des Egofahrzeugs einschert, dann kann für dieses Objekt das Verfahren **200** ausgeführt werden. Durch eine manöverabhängige Auswahl der Objekte kann die Anzahl der Objekte, für die das Verfahren **200** ausgeführt wird, effizient reduziert werden.

**[0031]** Für eine Spur können ein Vorderfahrzeug und eine prädierte Trajektorie zu dem Vorderfahrzeug bestimmt werden. Aus der prädierten Trajektorie kann mithilfe eines Abstandsgesetzes eine notwendige Trajektorie abgeleitet werden. Beispielsweise kann die im Straßenverkehr übliche 2s-Regel für eine Berechnung einer Zieltrajektorie angewandt werden um einen Sicherheitsabstand zu berechnen. Die 2s-Regel besagt, dass als Sicherheitsabstand zwischen zwei Fahrzeugen außerhalb geschlossener Ortschaften eine in 2 Sekunden

gefahrere Strecke gewählt werden soll. Beispielsweise kann die im Straßenverkehr übliche 2s-Regel verwendet und die Zieltrajektorie mit

$$s_{\text{ziel},i}(t) = s_{\text{obj},i}(t) - s_{\text{statisch}} - 2 \cdot \dot{s}_{\text{obj},i}(t) \quad (7)$$

berechnet werden **206**. Der Parameter  $s_{\text{statisch}}$  beschreibt dabei einen einzuhaltenen Sicherheitsabstand im Stillstand. Ist kein Vorderfahrzeug vorhanden, kann ein virtuelles Phantomobjekt am Rand des Erfassungsbereichs der Umfeldsensorik angenommen werden. Dieses Fahrzeug wird mit einer Worst-Case-Geschwindigkeit angenommen und ermöglicht so, sogenannte Inevitable Collision States, kurz ICS, zu vermeiden. Diese Zustände beschreiben Situationen, in denen eine Kollision nicht mehr vermieden werden kann, egal welche Trajektorie geplant wird.

**[0032]** Das Verfahren **200** kann zunächst eine Längsbewegung prüfen und kann diese Längsbewegung anschließend optional mit einer Querbewegung überlagern. Für die Längsbewegung ist zu entscheiden, ob auf ein Vorderfahrzeug reagiert werden soll, d. h. ob eine Folgefahrt vorliegt, oder ob auf eine vorgegebene Zielgeschwindigkeit, z. B. eine vorgegebene Wunschgeschwindigkeit, geführt werden soll, d. h. ob eine Freifahrt vorliegt. Die Dauer, um auf das jeweilige Vorderfahrzeug aufzuschließen, kann sich aus einer Betrachtung der Relativgeschwindigkeit zwischen dem Egofahrzeug **102** und einem der Fremdfahrzeuge **104**, **106**, **108** ergeben. Dabei kann die Zieltrajektorie (7) verwendet werden. Am Ende eines Manövers, d. h. zum Zeitpunkt  $t_{e,s,i}$ , soll die Differenzgeschwindigkeit abgebaut sein. Es ergibt sich damit die Forderung

$$\dot{s}_{\text{rel}}(t = t_{e,s,i}) = \dot{s}_{\text{obj},i}(t = t_{e,s,i}) - \dot{s}_{\text{ego}}(t = t_{e,s,i}) = 0. \quad (8)$$

**[0033]** Die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs  $\dot{s}_{\text{ego},0}$  ergibt sich entsprechend (5). Für  $\ddot{s}_{\text{ego},0}$  wird eine mittlere Verzögerung oder eine mittlere Beschleunigung  $\ddot{s}_{\text{apx}}$ , je nachdem ob die momentane Differenzgeschwindigkeit negativ oder positiv ist, betrachtet:

$$\ddot{s}_{\text{apx}} = \begin{cases} \ddot{s}_{\text{max-}} & \text{für } \dot{s}_{\text{rel}} \leq 0 \\ \ddot{s}_{\text{max+}} & \text{für } \dot{s}_{\text{rel}} > 0 \end{cases} \quad (9)$$

wobei  $\ddot{s}_{\text{max+}}$  die mittlere Beschleunigung des Ego-Fahrzeugs **102** und  $\ddot{s}_{\text{max-}}$  die mittlere Verzögerung des Ego-Fahrzeugs **102** ist. Durch Auflösen von (8) ist es möglich, die Manöverdauer  $t_{e,s,i}$  und/oder einen Endzeitpunkt des Manövers zu berechnen **208**. Dieser Wert entspricht einer Time-to-Collision, kurz TTC. Ist der Wert negativ, kann das Manöver unmöglich sein und aus dem Lösungsraum ausgeschlossen werden. Bei mehreren positiven Lösungen kann der betragsmäßig kleinste Wert gewählt werden. **Fig. 3** zeigt einen beispielhaften Geschwindigkeitsverlauf **300** basierend auf einem Bewegungsmodell eines Objekts und einem Bewegungsmodell des Egofahrzeugs. Das Egofahrzeug **102** verzögert mit einer mittleren Verzögerung, so dass die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs kontinuierlich abnimmt (siehe **302**). Das Objekt verzögert kontinuierlich bis zu einer vorgegebenen Zeit  $t_{\text{konst}}$  und hält dann die Geschwindigkeit (siehe **304**). Zum Zeitpunkt  $t_{e,s,i}$  kreuzen sich die Geschwindigkeitsverläufe des Egofahrzeugs und des Objekts. Zu diesem Zeitpunkt, d. h. zum Zeitpunkt  $t_{e,s,i}$ , kann das Verfahren **200** prüfen, ob ein Abstand zwischen dem Egofahrzeug und dem Objekt dem vorgegebenen Sicherheitsabstand der Zieltrajektorie entspricht. Der Abstand kann beispielsweise mit der Formel (10), siehe unten, berechnet werden. Falls der Abstand den vorgegebenen Sicherheitsabstand verletzt, d. h. der Abstand gleich dem vorgegebenen Sicherheitsabstand ist oder den vorgegebenen Sicherheitsabstand unterschreitet, kann das Egofahrzeug auf eine Folgefahrt umschalten. Der nötige Abstand für das Manöver kann sich durch Einsetzen der Manöverdauer in die Gleichung des Differenzabstandes ergeben bzw. berechnet werden **210**:

$$s_{\text{rel}}(t = t_{e,s,i}) = s_{\text{ziel},i}(t) - s_{\text{ego}}(t). \quad (10)$$

**[0034]** Eine Reaktion auf das Objekt durch eine Verzögerung oder Beschleunigung kann somit erst nötig sein, wenn diese Gleichung zu 0 wird. Wenn die Gleichung (10) 0 wird, befindet sich das Egofahrzeug **102** im Folgefahrtmodus und als Zielgeschwindigkeit kann die Objektgeschwindigkeit gewählt werden **212**. Das Verfahren **200** kann die Zielgeschwindigkeit an die Trajektorienplanung zu Berechnung einer Folgefahrttrajektorie übermitteln **214**. Die Trajektorienplanung kann eine oder mehrere Folgefahrttrajektorien planen, entlang deren das Fahrzeug fahren kann.

**[0035]** Fig. 4 zeigt beispielhafte Trajektorienverläufe **400** bezüglich eines Manövers eines Egofahrzeugs unter Verwendung der Bewegungsmodelle des Egofahrzeugs **102** und eines Objekts, z. B. eines der Fremdfahrzeuge **104** bis **110**. Eine Trajektorie des Manövers des Egofahrzeugs zeigt **402**, eine prädierte Trajektorie des Objekts zeigt **404**, und eine Zieltrajektorie inklusive eines Sicherheitsabstands zeigt **406**. Wie in Fig. 4 dargestellt, ist der Abstand zwischen der Trajektorie des Egofahrzeugs **102** und der Zieltrajektorie zum Endzeitpunkt  $t_{e,s,i}$  des Manövers gleich 0, d. h. der Abstand ist gleich dem vorgegebenen Sicherheitsabstand. Das Egofahrzeug kann in einen Folgefahrtmodus wechseln bzw. schalten.

**[0036]** Solange das Vorderfahrzeug für eine Folgefahrt noch zu weit entfernt ist und der Differenzabstand  $s_{rel}$  größer als 0 ist oder falls kein Vorderfahrzeug vorhanden ist oder die Wunschgeschwindigkeit unter der Objektgeschwindigkeit liegt, kann auf die Zielgeschwindigkeit  $\dot{s}_{wunsch}$  beschleunigt bzw. abgebremst werden. Die Wunschgeschwindigkeit kann sich aus einer Fahrervorgabe oder durch ein überlagertes Fahrerassistenzsystem ergeben. Für die Ermittlung der Wunschgeschwindigkeit kann beispielsweise eine zukünftige Straßenkrümmung  $\kappa_s$  berücksichtigt werden, um  $\dot{s}_{wunsch}$  gegebenenfalls zu begrenzen:

$$\dot{s}_{wunsch} = \min(\dot{s}_{wunsch}, \sqrt{\mu g \cdot l / \kappa_s}) \quad (11)$$

**[0037]** In Abhängigkeit des Reibwerts  $\mu$  kann sich eine maximale Kurvengrenzgeschwindigkeit ergeben. Alternativ kann statt  $\mu g$  eine maximale Querschleunigung verwendet werden. Für die resultierende Wunschgeschwindigkeit kann ebenfalls eine notwendige Manöverdauer berechnet werden:

$$t_{e,s,i} = \frac{|\dot{s}_{wunsch} - \dot{s}_{ego,0}|}{\ddot{s}_{apx}} \quad (12)$$

**[0038]** Auch hier kann eine mittlere Beschleunigung  $\ddot{s}_{apx}$  angenommen werden. Je nachdem, ob verzögert oder beschleunigt werden soll, kann ein negativer oder positiver Wert für die mittlere Beschleunigung gewählt werden:

$$\ddot{s}_{apx} = \begin{cases} \ddot{s}_{max-} & \text{für } \dot{s}_{wunsch} \leq \dot{s}_{ego,0} \\ \ddot{s}_{max+} & \text{für } \dot{s}_{wunsch} > \dot{s}_{ego,0} \end{cases} \quad (13)$$

**[0039]** Entspricht die aktuelle betrachtete Spur  $i$  nicht der aktuellen Fahrspur, kann die berechnete Längsbewegung mit einer Querbewegung des Spurwechsels überlagert werden. Für einen Spurwechsel auf die Spur  $i$  ergibt sich die minimale Zeit durch

$$t_{e,d,i} = \sqrt{\frac{2 \cdot |d_i - d_{ego,0}|}{\ddot{d}_{apx}}} \quad (14)$$

**[0040]** Dabei entspricht  $d_i$  der Zielquerablage der ausgewählten Zielspur,  $d_{ego,0}$  der gemessenen Querablage und  $\ddot{d}_{apx}$  der gewünschten mittleren Querschleunigung. Hierbei kann ein von hinten kommendes Fahrzeug berücksichtigt werden. Mittels eines einfachen Abstandsgesetzes kann geprüft werden, ob der Spurwechsel möglich ist. Für ein von hinten ankommendes Fahrzeug kann ebenfalls ein Phantomobjekt angenommen werden.

**[0041]** Das Verfahren kann für die aktuelle Spur und/oder für weitere um die aktuelle Spur herumliegende Spuren durchgeführt werden. Eine Auswahl des optimalen Manövers kann anhand folgenden Kostenfunktional bzw. folgender Bewertungsfunktion vorgenommen werden:

$$J_i = k_{\text{spur}}(i_{\text{ziel}} - i)^2 + k_v(\dot{s}_{\text{wunsch}} - \dot{s}_i)^2 \quad (15)$$

**[0042]** Das Kostenfunktional bzw. die Bewertungsfunktion erlaubt eine Gewichtung zwischen Abweichungen von der Zielgeschwindigkeit  $\dot{s}_{\text{wunsch}}$  und Abweichungen von der Zielspur  $i_{\text{ziel}}$ . Der Parameter  $k_{\text{spur}}$  ist dabei der Gewichtungsfaktor für die Abweichung zwischen Zielspur und gewählter Spur und  $k_v$  der Gewichtungsfaktor für Abweichungen zwischen der Zielgeschwindigkeit und gewählter Geschwindigkeit  $\dot{s}_i$ . Nicht mögliche Manöver, z. B. Manöver mit negativen Zielzeiten, werden nicht betrachtet. Findet sich kein mögliches Manöver, kann der Algorithmus beispielsweise mit erhöhten Beschleunigungen oder Verzögerungen erneut ausgeführt werden, um Sicherheitsmanöver zu bewerten oder ein Notfallmanöver zu initiieren. Das im Sinne des Kostenfunktional günstigste Manöver kann an die unterlagerte Trajektorienplanung weitergegeben werden, damit die Trajektorienplanung eine oder mehrere Freifahrttrajektorien für das Egofahrzeug planen kann.

**[0043]** Durch das Verfahren **200** können mögliche Trajektorien, entlang der das Ego-Fahrzeug **102** fahren kann, auf Trajektorien eingegrenzt werden, die auf der aktuellen Fahrspur des Ego-Fahrzeugs enden oder die auf der rechten Fahrspur des Ego-Fahrzeugs enden. Eine Berechnung von Trajektorien, die auf der linken Fahrspur enden, kann somit im Beispiel von **Fig. 1** vermieden werden. Durch Berücksichtigung der maximal möglichen Verzögerungen kann darüber hinaus der zeitliche Horizont der Trajektorien abgeschätzt werden. Trajektorien, die innerhalb kürzester Zeit große Differenzgeschwindigkeiten auf- oder abbauen müssen, können ebenso wie Spurwechsel in zu kurzen Zeitintervallen ausgeschlossen werden. Damit kann sich im Beispiel von **Fig. 1** ein Spurwechsel auf die rechte Nachbarspur als Lösung ergeben.

**[0044]** Vorteilhafterweise kann das Verfahren **200** effizient eine Folgefahrt oder eine Freifahrt des Egofahrzeugs vorausschauend unter Verwendung eines Bewegungsmodells bestimmen. Dadurch kann die Trajektorienplanung genau für einen bestimmten Fahrtmodus Trajektorien berechnen. Eine Betrachtung des jeweils anderen Fahrtmodus muss nicht mehr durchgeführt werden. Die Trajektorienplanung kann somit effizienter, insbesondere ressourceneffizienter, auf Steuergeräten ausgeführt werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>100</b>	Verkehrssituation
<b>102</b>	Egofahrzeug
<b>104</b>	Fremdfahrzeug
<b>106</b>	Fremdfahrzeug
<b>108</b>	Fremdfahrzeug
<b>110</b>	Phantomfahrzeug
<b>200</b>	Verfahren
<b>202</b>	Bestimmen einer Längsbewegung eines Egofahrzeugs
<b>204</b>	Bestimmen einer Längsbewegung eines Objekts
<b>206</b>	Berechnen einer Zieltrajektorie
<b>208</b>	Berechnen eines Endzeitpunkts eines Manövers
<b>210</b>	Berechnen eines Abstand zum berechneten Endzeitpunkt
<b>212</b>	Setzen der Zielgeschwindigkeit
<b>214</b>	Übergeben/Übermitteln der Zielgeschwindigkeit an eine Trajektorienplanung
<b>300</b>	beispielhafter Geschwindigkeitsverlauf
<b>302</b>	Geschwindigkeitsverlauf eines Egofahrzeugs
<b>304</b>	Geschwindigkeitsverlauf eines Objekts
<b>400</b>	Trajektorienverlauf
<b>402</b>	Trajektorie eines Manövers
<b>404</b>	prädizierte Trajektorie
<b>406</b>	Zieltrajektorie

#### Patentansprüche

1. Verfahren (**200**) zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, das Verfahren umfassend: Bestimmen (**202**) einer Längsbewegung des Egofahrzeugs, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Egofahrzeugs umfasst;



Bestimmen **(204)** einer Längsbewegung eines Objekts, wobei die Längsbewegung eine Geschwindigkeit des Objekts umfasst;  
 Berechnen **(206)** einer Zieltrajektorie des Objekts basierend auf einer prädizierten Trajektorie des Objekts;  
 Berechnen **(208)** eines Endzeitpunkts eines Manövers des Egofahrzeugs, wobei der Endzeitpunkt des Manövers ein Zeitpunkt ist, an dem eine Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Egofahrzeug und dem Objekt abgebaut ist;  
 Berechnen **(210)** eines Abstands zwischen einer Position des Egofahrzeugs und einer Position des Fremdfahrzeugs bezüglich der berechneten Zieltrajektorie zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers des Egofahrzeugs; und  
 Falls der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet:  
 Setzen **(212)** der bestimmten Geschwindigkeit des Objekts als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs; und  
 Übermitteln **(214)** der Zielgeschwindigkeit an die Trajektorienplanung zur Berechnung einer Folgefahrtrajektorie für das Egofahrzeug.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die prädizierte Trajektorie basierend auf einem vorgegebenen Bewegungsmodell des Objekts in Abhängigkeit der bestimmten Längsbewegung des Objekts bestimmt wird; und/oder  
 wobei die Zieltrajektorie einen Sicherheitsabstand zu dem Objekt berücksichtigt; und/oder  
 wobei der vorgegebene Schwellwert dem Sicherheitsabstand entspricht.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Endzeitpunkt des Manövers basierend auf einem Bewegungsmodell des Objekts und einem Bewegungsmodell für das Egofahrzeug berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das Bewegungsmodell des Objekts eine Beschleunigung des Objekts bis zu einem vorgegebenen Zeitpunkt konstant hält und nach dem vorgegebenen Zeitpunkt die Beschleunigung auf 0 setzt; und wobei das Bewegungsmodell des Egofahrzeugs eine vorgegebene mittlere Beschleunigung des Egofahrzeugs bis zum Endzeitpunkt des Manövers hält.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Position des Egofahrzeugs durch das Bewegungsmodell des Egofahrzeugs basierend auf der bestimmten Längsbewegung des Egofahrzeugs zu dem Endzeitpunkt des Manövers berechnet wird; und wobei die Position des Objekts durch das Bewegungsmodell des Objekts basierend auf der bestimmten Längsbewegung des Objekts zu dem Endzeitpunkt des Manövers berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das Verfahren weiterhin umfassend:  
 Empfangen einer Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs; und/oder  
 Falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs kleiner als die Geschwindigkeit des Objekts ist und/oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet,  
 Setzen der Wunschgeschwindigkeit als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs; und/oder  
 Falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs größer als die Geschwindigkeit oder gleich der Geschwindigkeit des Objekts ist und/oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers gleich einem vorgegebenen Schwellwert ist oder einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet,  
 Setzen der Geschwindigkeit des Objekts als Zielgeschwindigkeit des Egofahrzeugs.

7. Verfahren nach Anspruch 6, das Verfahren weiterhin umfassend:  
 Übermitteln der Zielgeschwindigkeit an eine Trajektorienplanung zur Berechnung einer Freifahrtrajektorie für das Egofahrzeug, falls die Wunschgeschwindigkeit des Egofahrzeugs kleiner als die Geschwindigkeit des Objekts ist oder der berechnete Abstand des Egofahrzeugs zum berechneten Endzeitpunkt des Manövers den vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

8. Computerprogrammprodukt zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei das Computerprogrammprodukt Instruktionen umfasst, die, wenn ausgeführt auf einem Steuergerät oder einem Rechner des Egofahrzeugs, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausführen.

9. Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei die Vorrichtung dazu ausgebildet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

10. Fahrzeug umfassend eine Vorrichtung zum Steuern einer Trajektorienplanung eines Egofahrzeugs, wobei die Vorrichtung dazu ausgebildet ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

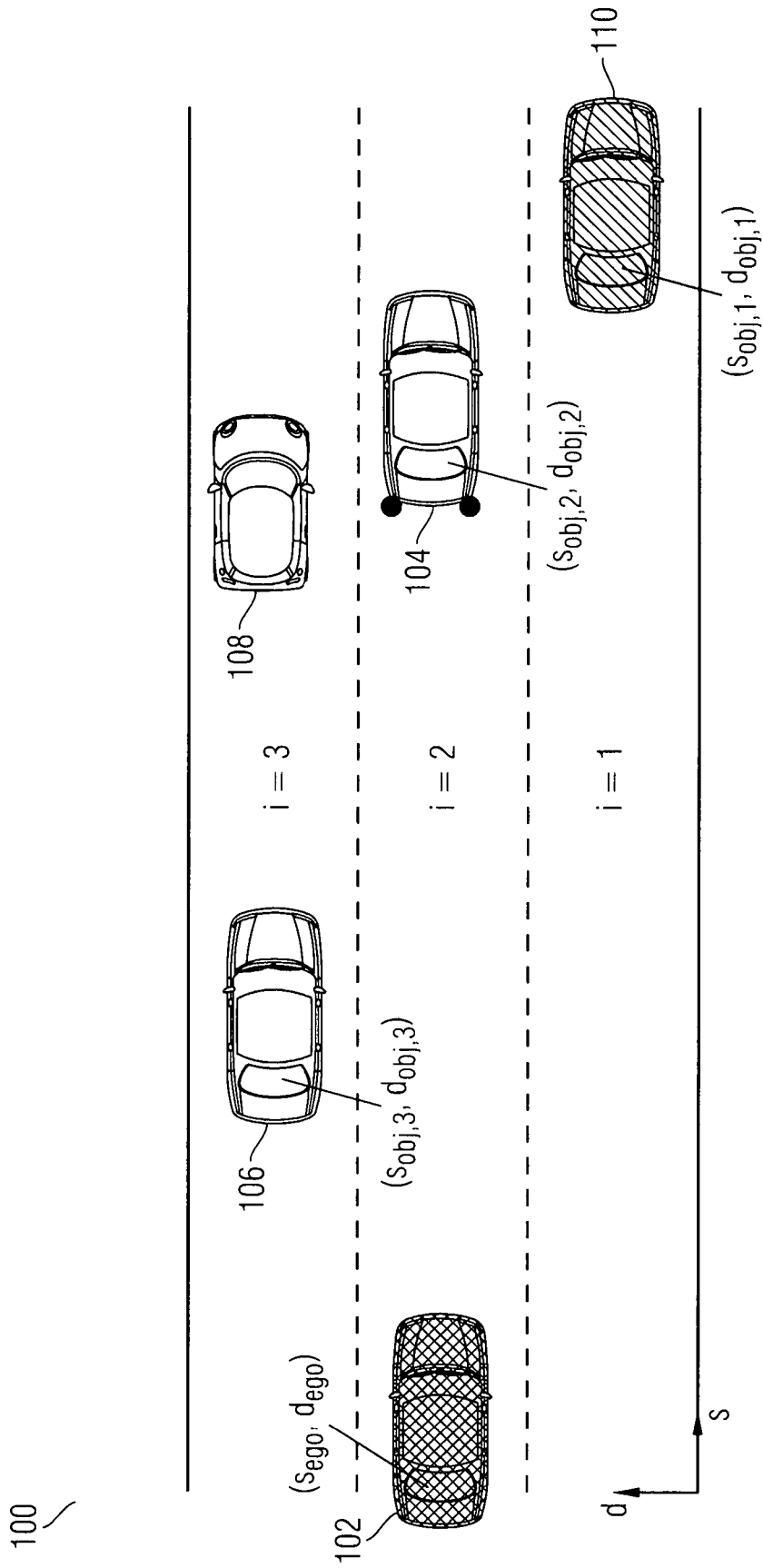


Fig. 1

200

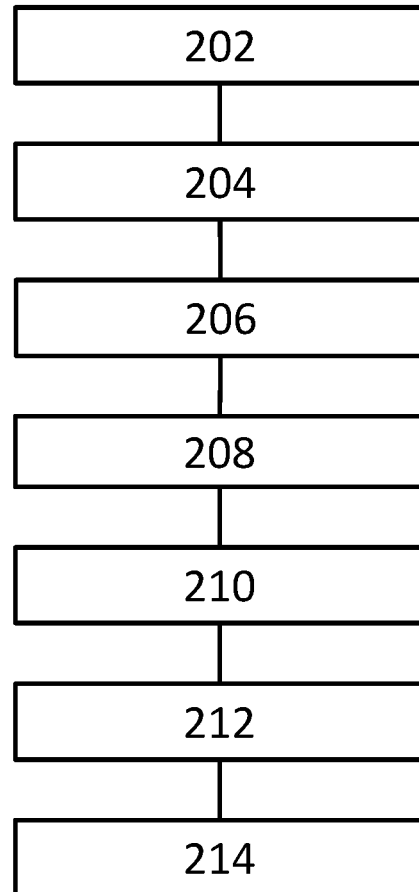


Fig. 2

300

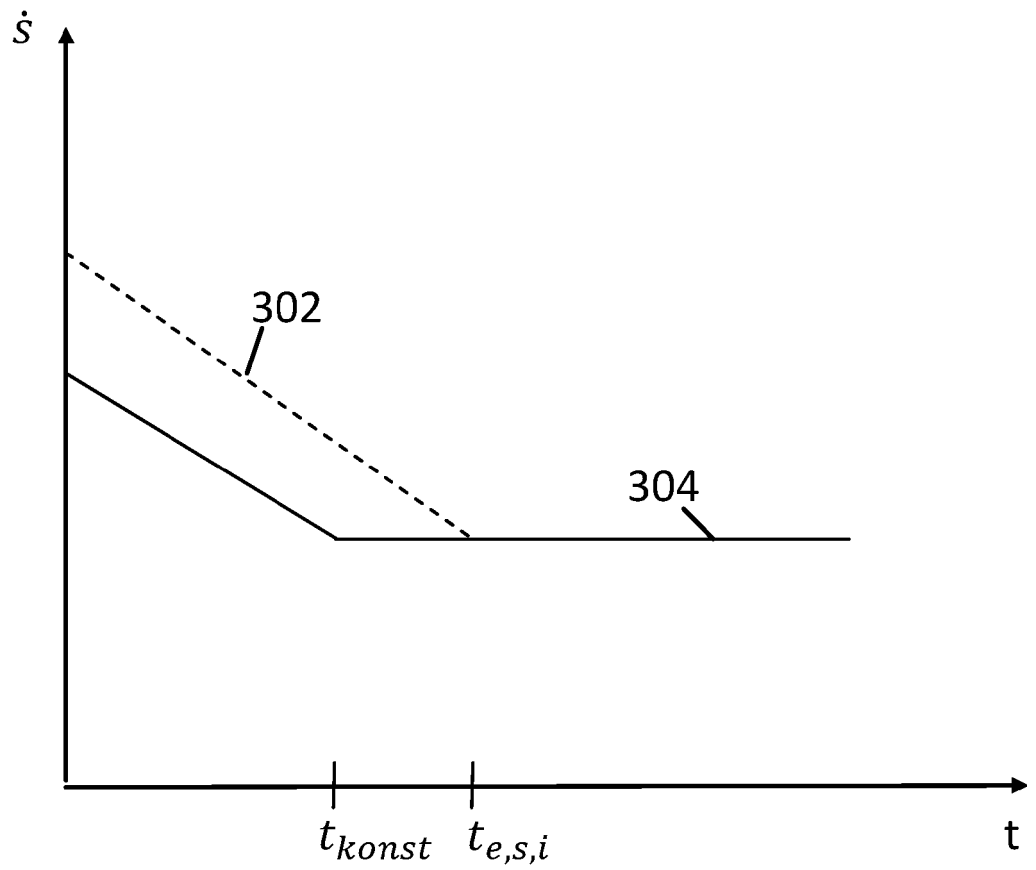


Fig. 3

400

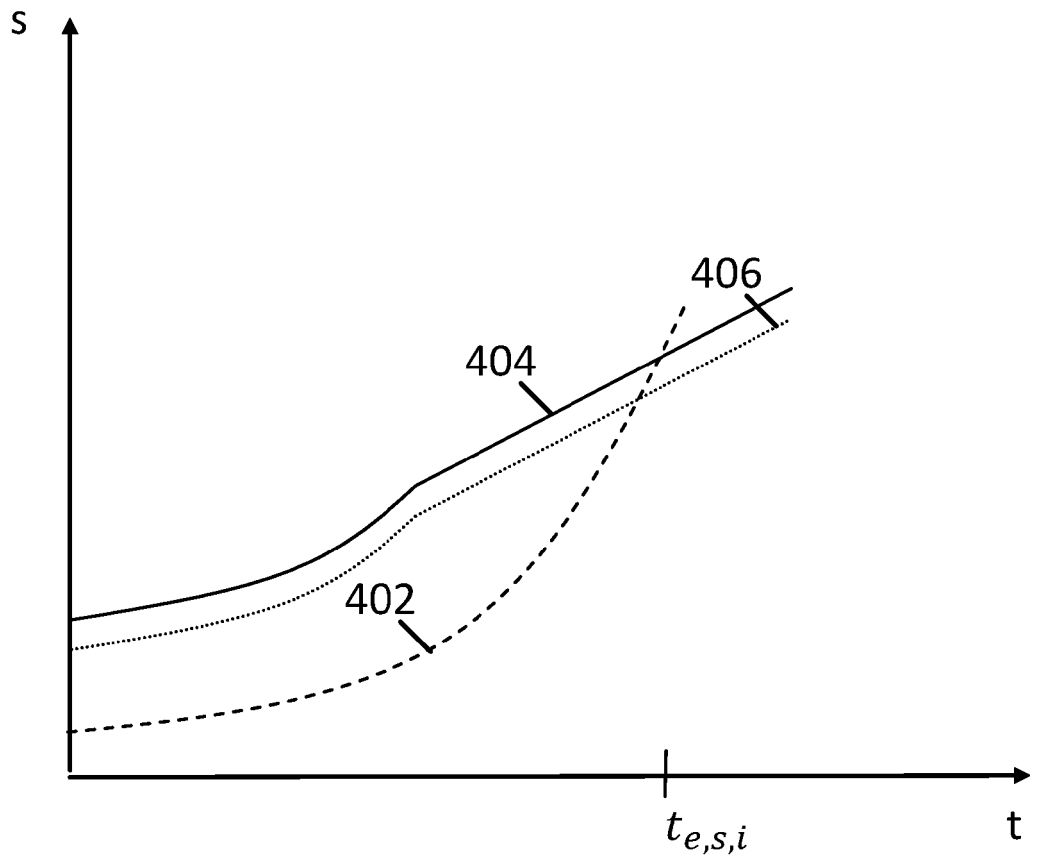


Fig. 4