



(10) **DE 10 2019 210 559 A1** 2020.10.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 210 559.9**

(22) Anmeldetag: **17.07.2019**

(43) Offenlegungstag: **15.10.2020**

(51) Int Cl.: **B60W 30/165** (2020.01)

B60W 40/10 (2012.01)

B60W 40/12 (2012.01)

(66) Innere Priorität:

10 2019 205 435.8 15.04.2019

(71) Anmelder:

**Technische Universität Dresden, 01069 Dresden,
DE; Vodafone GmbH, 40549 Düsseldorf, DE**

(74) Vertreter:

**Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte,
01067 Dresden, DE**

(72) Erfinder:

**Franchi, Norman, Dr.-Ing., 01277 Dresden, DE;
Rodriguez, Arturo Antonio Gonzales, 01097
Dresden, DE; Caldenhoven, Jürgen, 40547
Düsseldorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2010 038 640 A1

DE 10 2016 209 514 A1

DE 10 2017 002 381 A1

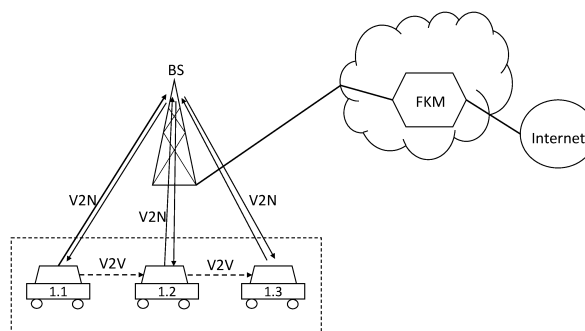
**NAUS, Gerrit J.L. [u.a.]: String-stable CACC
design and experimental validation: a frequency-
domain approach. In: IEEE Transactions on
Vehicular Technology, Vol. 59, 2010, No. 9, S.
4268-4279. - ISSN 0018-9545 (P); 0018-9545 (E).
DOI: 10.1109/TVT.2010.2076320. URL: [https://
ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=5571043](https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5571043) [abgerufen am 2019-09-09]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Kontrolle einer Fahrzeugkolonne mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle einer Fahrzeugkolonne mit mindestens zwei Fahrzeugen (1.1, 1.2), wobei die mindestens zwei Fahrzeuge (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne jeweils mit einem Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen, und einer Messvorrichtung, die eingerichtet ist, um Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter zu erfassen, gebildet sind. Bei dem Verfahren werden für mindestens ein Fahrzeugpaar (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne, das mit einem ersten Fahrzeug (1.1) der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem ersten Fahrzeug (1.1) unmittelbar nachfolgend angeordneten zweiten Fahrzeug (1.2) der Fahrzeugkolonne gebildet ist, mittels zugewiesenen Zeit- und Frequenzressourcen kinematische Zustandsparameter ermittelt und geregelt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle einer Fahrzeugkolonne mit mindestens zwei Fahrzeugen mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation. Unter einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation wird dabei neben einer direkten Kommunikation zwischen zwei Fahrzeugen eine Kommunikation über ein Kommunikationsnetzwerk verstanden, bei der die Fahrzeuge über das Netzwerk miteinander kommunizieren. Bei dem Netzwerk kann es sich insbesondere um ein Mobilfunknetzwerk handeln.

[0002] Das Fahren mehrerer unmittelbar aufeinanderfolgender Fahrzeuge innerhalb einer Fahrzeugkolonne (im Englischen auch als „platooning“ bezeichnet) kann zu einer erheblichen Einsparung des Kraftstoffverbrauchs der dem Führungsfahrzeug der Fahrzeugkolonne dicht nachfolgenden Fahrzeuge führen und auch die Verkehrseffizienz erhöhen. Die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ist dabei umso größer, je kleiner der Abstand zwischen den Fahrzeugen gewählt bzw. über einen längeren Zeitraum eingehalten werden kann. Die Verkehrseffizienz ist erhöht, da kürzere Abstände zwischen Fahrzeugen einen höheren Fahrzeugdurchsatz auf Straßen ermöglicht.

[0003] Eine zumindest teilweise automatisierte Kontrolle der gewünschten Wegabstände und Geschwindigkeiten als kinematische Zielvorgaben kann mittels eines Regelkreises für die Steuerung eines jeden Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne erreicht werden. Im Stand der Technik sind adaptive-cruise-control Systeme (ACC) bekannt, bei denen ein Regelkreis eines Fahrzeugs Sensordaten eines Radar- und/oder Lidarsystems, das sich in oder auf dem Fahrzeug befindet und den Wegabstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs erfassen kann, als Eingabegrößen berücksichtigt. Bei zu kleinen Wegabständen zwischen den Fahrzeugen einer Fahrzeugkolonne, die durch ein ACC-System geregelt wird, können jedoch kleine Störungen oder Abweichungen von den kinematischen Zielvorgaben, die beispielsweise durch einen unvorhergesehenen Bremsvorgang hervorgerufen werden, entlang der Fahrzeugkolonne fortpflanzen und verstärken. Eine solche Instabilität gefährdet dann die Sicherheit, Effizienz und Kontrollierbarkeit der Fahrzeugkolonne.

[0004] Eine Verbesserung der Kolonnenstabilität bei kleinen Wegabständen und hohen Geschwindigkeiten kann durch ein cooperative-adaptive-cruise-control System (CACC) erreicht werden, bei dem ein Regelkreis zusätzlich zu den Sensordaten eines Fahrzeugs auch kinematische Kontrollparameter des unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs, z. B. Werte für die momentane oder beabsichtigte Beschleunigung des unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs, als Ein-

gabegrößen berücksichtigt. Mit diesen zusätzlichen Informationen lassen sich kleinere Wegabstände zwischen den Fahrzeugen bei höheren Geschwindigkeiten und damit auch größere Kraftstoffeinsparungen erreichen bzw. sich ein höherer Verkehrsdurchsatz ergibt.

[0005] Allerdings hängen die mittels eines CACC-Systems tatsächlich realisierbaren Wegabstände und Geschwindigkeiten unter Gewährleistung der Kolonnenstabilität stark von der Qualität und Granularität der für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zur Verfügung stehenden Übertragungsressourcen ab, mit denen die kinematischen Kontrollparameter zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht und aktualisiert werden können. In Mobilfunknetzen ist die Periodendauer einer Datenübertragungssitzung jedoch stets größer als eine bestimmte Minimaldauer. Beispielsweise beträgt die kleinste mögliche Periodendauer einer semi-persistenten Datenübertragungssitzung im LTE-Standard (Long Term Evolution) 20 ms. Die minimale Periodendauer entspricht dann einer Mindestverzugszeit, mit der kinematischen Kontrollparameter mittels einer semi-persistenten Datenübertragungssitzung von Fahrzeug zu Fahrzeug aktualisiert werden können. Dies begrenzt auch den kleinsten möglichen vorgebbaren Wegabstand zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne. Oftmals wird die Periodendauer in Ermangelung eines geeigneten Modells ad hoc auch größer gewählt als es die Reisezielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter zulassen würden. Eine zu große Periodendauer bzw. Verzugszeit kann allerdings dazu führen, dass ein CACC-System effektiv zu einem ACC-System degradiert wird und damit Bedingungen für die Kolonnenstabilität nicht mehr eingehalten werden können.

[0006] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein effizientes Verfahren vorzuschlagen, mit dem sich unter Gewährleistung der Kolonnenstabilität besonders kleine Wegabstände zwischen den Fahrzeugen einer Fahrzeugkolonne bei gleichzeitig hohen Geschwindigkeiten erreichen lassen.

[0007] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Varianten ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

[0008] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kontrolle einer Fahrzeugkolonne mit mindestens zwei Fahrzeugen, wobei die mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne jeweils mit einem Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen, und einer Messvorrichtung, die eingerichtet ist, um kinematische Zustandsparameter zu erfassen, gebildet sind, und ein zweites Fahrzeug mindestens eines Fahrzeug-

paars der Fahrzeugkolonne, wobei das mindeste eine Fahrzeugpaar mit dem zweiten Fahrzeug der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem zweiten Fahrzeug unmittelbar vorausgehend angeordneten ersten Fahrzeug der Fahrzeugkolonne gebildet ist, zur Durchführung einer Regelung der Steuerung des zweiten Fahrzeugs unter Berücksichtigung von dem ersten Fahrzeug empfangener Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter mit dem Ziel, die mittels der mindestens einen Messvorrichtung des zweiten Fahrzeugs des mindestens einen Fahrzeugpaars gemessenen Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter an kinematischen Zielvorgaben anzugleichen, ausgestaltet ist. Bei dem Verfahren werden folgende Schritte ausgeführt:

(a) Es wird mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so bestimmt, dass mindestens eine Bedingung für die Einhaltung der Kolonnenstabilität unter Berücksichtigung von kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter erfüllt ist.

(b) Es werden Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars bestimmt, wobei die Übertragungsressourcen mit mindestens einer Datenübertragungssitzung unter Berücksichtigung der mindestens einen maximalen Verzugszeit gebildet sind.

[0009] Die Übertragungsressourcen werden dabei derart bestimmt, dass mittels der bestimmten Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als die bestimmte mindestens eine maximale Verzugszeit ist, von dem ersten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars gesendet und von dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars empfangen werden können.

[0010] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können insbesondere Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation besonders effizient genutzt werden. Unter dem Begriff „Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation“ soll hierbei auch eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen mittels eines Netzwerks verstanden werden, also eine „Fahrzeug-zu-Netzwerk-zu-Fahrzeug-Kommunikation“. Dabei ermöglicht das Verfahren eine systematische Bestimmung der Verzugszeiten bzw. zeitlichen Abstände, mit denen Informationen von Fahrzeug zu Fahrzeug gesendet bzw. in einem Regelkreis eines Fahrzeugs aktualisiert werden können. Mit der Gewährleistung der Kolonnenstabilität bei der Bestimmung der maximalen Verzugszeiten bzw. zeit-

lichen Abstände der über die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation gesendeten bzw. empfangenen Informationen können besonders kleine Wegabstände zwischen den Fahrzeugen bei hohen Geschwindigkeiten erreicht werden. Die Einhaltung der Kolonnenstabilität erhöht außerdem den Fahrkomfort und gewährleistet eine stabile Kontrolle der Fahrzeugkolonne über einen längeren Zeitraum. Es wird somit ein adaptives Kommunikationsverfahren zur dynamischen Kontrolle einer Fahrzeugkolonne realisiert.

[0011] Bei den Übertragungsressourcen kann es sich insbesondere um Zeit- und/oder Frequenzressourcen, aber auch um Energieressourcen, Kodierungsressourcen und/oder eine Modulation handeln.

[0012] Zumindest das erste Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars kann eine Information über die für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation bestimmten Übertragungsressourcen empfangen. Nach Maßgabe dieser Informationen können die Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter von dem ersten Fahrzeug gesendet und von dem zweiten Fahrzeug empfangen werden.

[0013] In einer Ausgestaltung der Erfindung können die kinematischen Zielvorgaben unter Berücksichtigung von Reisezielparametern und/oder fahrzeugspezifischen Steuerparametern bestimmt werden, die typischerweise zumindest teilweise von Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne bereitgestellt werden. Hierdurch wird eine besonders genaue Anpassung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation an den Reiseverlauf und an die technische Ausstattung bzw. Kondition der Fahrzeuge ermöglicht.

[0014] Vorzugsweise werden die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens für alle Fahrzeugpaare der Fahrzeugkolonne, die mit einem ersten Fahrzeug der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem ersten Fahrzeug unmittelbar nachfolgend angeordneten zweiten Fahrzeug der Fahrzeugkolonne gebildet werden können, durchgeführt. Bei einer mit N Fahrzeugen gebildeten Fahrzeugkolonne, können genau N-1 solche Fahrzeugpaare bestimmt werden. Die mindestens zwei Fahrzeuge bilden somit typischerweise mindestens ein Fahrzeugpaar.

[0015] Eine Fahrzeugkolonne kann mit einem vordersten Führungsfahrzeug, das in Fahrtrichtung am Anfang der Fahrzeugkolonne angeordnet ist, einem Organisationsfahrzeug, das eingerichtet ist, um über die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zwischen dem Organisationsfahrzeug und allen anderen Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne auszutauschen, und/oder einem Netzwerkfahrzeug, das eingerichtet ist, um über die Fahrzeug-zu-Netzwerk-Kommunikation Informationen zwischen dem Netzwerkfahrzeug und einer Basisstation eines mobilen Netzwerks auszutauschen, gebildet sein. Dabei kön-

nen ein Führungsfahrzeug, ein Organisationsfahrzeug, und/oder ein Netzwerkfahrzeug auch mit demselben Fahrzeug bzw. durch dasselbe Fahrzeug der Fahrzeugkolonne gebildet sein.

[0016] Ein Fahrzeugkolonnenmanager kann zumindest zeitweise durch eine als Computer ausgeführte Recheneinheit, die ein entsprechendes Computerprogramm ausführt, und/oder durch einen menschlichen Operator, der die Recheneinheit bedient, gebildet sein. Der Fahrzeugkolonnenmanager kann dabei auf einem Führungsfahrzeug, einem Organisationsfahrzeug, und/oder einem Netzwerkfahrzeug angeordnet sein. Der Fahrzeugkolonnenmanager kann aber auch Informationen mit einem oder mehreren Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne über eine Basisstation eines mobilen Netzwerks austauschen und dabei auf keinem der Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne angeordnet sein.

[0017] Die Formation der Fahrzeugkolonne kann Schritte umfassen, die bereits vor Schritt (a) des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder erneut nach Eintritt eines externen Ereignisses beginnen. Beispielsweise kann die Formation einer Fahrzeugkolonne damit beginnen, dass Fahrzeuge mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug- oder mittels Fahrzeug-zu-Netzwerk-Kommunikation eine Absichtserklärung mit anderen Fahrzeugen eine Fahrzeugkolonne bilden zu wollen, an einen Fahrzeugkolonnenmanager senden. Die Absichtserklärung kann dabei mit zumindest einer Positionsangabe, zumindest einer Geschwindigkeitsangabe, zumindest einer fahrzeugspezifischen Reisezielangabe und/oder zumindest einem fahrzeugspezifischen Steuerparameter gebildet sein.

[0018] Der Fahrzeugkolonnenmanager kann unter Berücksichtigung der Absichtserklärungen Fahrzeuge in einer Fahrzeugkolonne gruppieren und kinematische Zielvorgaben, Reisezielparameter bzw. Reisezielvorgaben, mindestens eine Fahrzeugkolonnenidentifikationsnummer und für jedes Fahrzeug der Fahrzeugkolonne eine Fahrzeugidentifikationsnummer bestimmen. Reisezielparameter können mit einem oder mehreren Reisezielen, einer oder mehreren Reiserouten, den entlang der einen oder mehreren Reiserouten erlaubten Maximalgeschwindigkeiten und/oder Verkehrsinformationen gebildet werden.

[0019] Basierend auf den Positionsangaben und den Reisezielvorgaben bzw. der Fahrtrichtung kann der Fahrzeugkolonnenmanager die Fahrzeugidentifikationsnummern so bestimmen bzw. zuordnen, dass dem Fahrzeug, das den kleinsten Wegabstand zu einem Reiseziel aufweist, die Fahrzeugidentifikationsnummer 1 zugeordnet wird, wobei das Fahrzeug mit dem kleinsten Wegabstand zu einem Reiseziel das Führungsfahrzeug bilden kann. Fahrzeuge mit dem zweitkleinsten, drittkleinsten,... etc. Wegabstand zu einem Reiseziel können die Fahrzeugidentifikations-

nummern 2, 3,... etc. zugeordnet werden, sodass die Fahrzeugkolonne eine Reihenanzordnung von Fahrzeugen bildet, wobei der Reihenindex mit der Fahrzeugidentifikationsnummer gebildet ist.

[0020] Die fahrzeugspezifischen Steuerparameter können zumindest mit der Fahrzeugidentifikationsnummer, Modellparametern eines Reglers, und/oder Modellparametern eines Regelkreises gebildet sein. Die fahrzeugspezifischen Steuerparameter können auch mit Angaben zur Fahrzeugklasse, Angaben zum Bremsvermögen, Angaben zum Kraftstoffverbrauch, Angaben zum Kraftstoffvorrat, und/oder Angaben zu Motor- und weiteren Fahrzeugspezifikationen gebildet sein.

[0021] Die kinematischen Zielvorgaben können zumindest mit entlang einer Reiseroute vorgegebenen Zielwerten für die Geschwindigkeit des ersten und des zweiten Fahrzeugs des mindestens einen Fahrzeugpaars, den Wegabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars und/oder den Zeitabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars gebildet sein.

[0022] Die kinematischen Zustandsparameter können zumindest mit zeitabhängigen Messwerten für die Geschwindigkeit des ersten und/oder des zweiten Fahrzeugs des mindestens einen Fahrzeugpaars, den Wegabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars und/oder den Zeitabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars gebildet sein.

[0023] Vorzugsweise werden die Zielwerte entlang einer oder mehrerer Reiserouten unter Berücksichtigung von Verkehrsinformationen und Verkehrsregulierungsvorgaben bestimmt. Beispielsweise können Zielwerte für die Wegabstände unter Berücksichtigung der Fahrzeugklassen, Angaben zum Bremsvermögen oder zum gewünschten Kraftstoffverbrauch entlang der Reiseroute(n) bestimmt werden. Zielwerte für die Geschwindigkeiten können insbesondere unter Berücksichtigung der durch eine gesetzliche Verkehrsregulierung vorgegebenen oder auf aktuellen Verkehrsinformationen beruhenden erzielbaren Maximalgeschwindigkeiten bestimmt werden. Aus den Zielwerten für die Wegabstände und Geschwindigkeiten können dann die Zeitabstände bestimmt werden.

[0024] Der Fahrzeugkolonnenmanager kann dann mittels einer Formationserklärung kinematische Zielvorgaben, Reisezielvorgaben, die Fahrzeugkolonnenidentifikationsnummer, Fahrzeugidentifikationsnummern sowie Informationen, die in den Absichtserklärungen enthalten sind, wie beispielsweise fahrzeugspezifische Steuerparameter, an die mindesten

zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation oder Fahrzeug-zu-Netzwerk-Kommunikation übermitteln.

[0025] Die Formation der Fahrzeugkolonne kann abgeschlossen werden, indem die mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne eine Zustimmungserklärung an den Fahrzeugkolonnenmanager senden. Vorzugsweise ist die Formation der Fahrzeugkolonne abgeschlossen, wenn der Fahrzeugkolonnenmanager von den mindestens zwei Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne eine Zustimmungserklärung empfangen hat.

[0026] Während oder nach der Formation der Fahrzeugkolonne kann der Fahrzeugkolonnenmanager mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so bestimmen, dass mindestens eine Bedingung für die Einhaltung der Kolonnenstabilität unter Berücksichtigung der kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter erfüllt ist. Die mindestens eine Bedingung für die Kolonnenstabilität kann auf einem cooperative-adaptive-cruise-control-Modell (CACC) basieren. Insbesondere kann die mindestens eine Bedingung für die Kolonnenstabilität auf einem cooperative-adaptive-cruise-control-Modell (CACC) basieren.

[0027] Ein CACC-Modell kann zumindest näherungsweise die Funktionsweise eines CACC-Systems, mit dem die mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne ausgestattet sein können, mathematische beschreiben. Ein CACC-System kann zumindest mit einem Radar-System und/oder einem Lidar-System, einem Kommunikationssystem und einem Regler für die Steuerung der Brems- und Motorvorrichtung mittels Aktuatoren gebildet sein.

[0028] Ein CACC-Modell ist beispielsweise in Referenz [1] V. Naus et al., „String-Stable CACC Design and Experimental Validation: A Frequency Domain-Approach“, IEEE Transactions on vehicular Technology, Nov 2010, pp. 4268-4279, beschrieben. Das CACC-Modell kann einen Regelkreis aufweisen, wobei ein Regelkreis mit einem Modellmodul für einen Regler, vorzugsweise einem PD-Regler (proportional-derivative controller) oder einem PID-Regler (proportional-integral-derivative Regler), einem Modellmodul für die Regeldynamik, vorzugsweise ein lineares Modellmodul für die Regeldynamik, einem Feedback-Filter, vorzugsweise einem Feedback-Filter zur Einhaltung eines vorgegebenen Zeitabstands zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars, einem Modellmodul für einen Feedforward-Filter, einem Modellmodul für die Verzögerung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und einem Modellmodul für die Signalrekonstruktion gebildet sein. Die Eingabegrößen eines Regelkreises zur Steuerung eines Fahrzeugs

der Fahrzeugkolonne können mit Werten für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter und mindestens einem kinematischen Zustandsparameter, gebildet sein. Der Regelkreis kann dann unter Berücksichtigung der Eingabegrößen und der kinematischen Zielvorgaben die Steuerung eines Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne, vorzugsweise Aktuatoren der Bremsvorrichtungen und des Motors, beeinflussen bzw. regeln. Des Weiteren können auch absolute oder relative Positionsangaben und/oder Längenangaben eines oder mehrerer Fahrzeuge als Eingabegrößen berücksichtigt werden. Eine Regelung kann dabei mit dem Ziel erfolgen, Werte für den mindestens einen kinematischen Zustandsparameter an die kinematischen Zielvorgaben unter Gewährleistung der Fahrzeugkolonnenstabilität anzugleichen.

[0029] Ein Regelkreis eines ersten Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne, insbesondere des Führungsfahrzeugs der Fahrzeugkolonne, kann auch ohne Eingabegrößen gebildet sein. Ein Regelkreis eines Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne, das am Ende der Fahrzeugkolonne angeordnet ist, kann auch ohne Ausgabegrößen gebildet sein.

[0030] Kolonnenstabilität liegt insbesondere dann vor, wenn Störungen des kinematischen Zustands der Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne, die beispielsweise durch ein Abbremsen oder Beschleunigen eines vorderen Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne ausgelöst werden, nicht oder kaum entlang der Fahrzeugkolonne verstärkt werden. Die Kolonnenstabilitätsbedingung gewährleistet, dass dies der Fall ist. Dabei stellt die Erfüllung der Kolonnenstabilitätsbedingung insbesondere sicher, dass sich Werte eines kinematischen Kontrollparameters, der insbesondere eine kinematische Zustandsänderung beschreiben kann, entlang der Fahrzeugkolonne nicht vergrößern. Bei dem kinematischen Kontrollparameter kann es sich beispielsweise um die Fahrzeugbeschleunigung und bzw. oder ein Regelkreisleitersignal handeln, so dass die Erfüllung der Kolonnenstabilitätsbedingungen sicherstellt, dass die Fahrzeuge in der Fahrzeugkolonne im Wesentlichen in demselben Maße (positiv) beschleunigt oder abgebremst werden. Bei der Fahrzeugbeschleunigung oder Beschleunigung (beide Begriffe werden im Folgenden synonym verwendet) kann es sich um die momentane Beschleunigung (Fahrzeugistbeschleunigung) oder die beabsichtigte Beschleunigung (Fahrzeugsollbeschleunigung) handeln.

[0031] Aus einem CACC-Modell kann mindestens eine Bedingung für die Kolonnenstabilität hergeleitet werden, indem die Propagation der Werte des mindestens einen kinematischen Kontrollparameters als Informationen bzw. Eingabegrößen von Regelkreisen entlang der Fahrzeugkolonne berechnet werden. Beispielsweise kann eine Kolonnenstabilitätsbedingung

für das mindestens eine Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne durch

$$\Lambda_i(s) = \left| \frac{D_i(s) F_i(s) + K_i(s) G_{i-1}(s)}{1 + K_i(s) G_i(s) H_i(s)} \right| \leq 1$$

gegeben sein, wobei $D_i(s) = T_i(s) Z_i(s)$. In der obigen Gleichung bezeichnet der Subindex i die Fahrzeugidentifikationsnummer des zweiten Fahrzeugs des mindestens einen Fahrzeugpaars. Der Subindex i bezeichnet dann das erste Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars. Die Transferfunktion $\Lambda_i(s)$ ist mit einer bezüglich der Zeit Laplace-transformierten Modellfunktion für die Verzögerung der Fahrzeug-

zu-Fahrzeug-Kommunikation $T_i(s) = e^{-\delta_i s}$, einer Modellfunktion für die Signalrekonstruktion $Z_i(s)$, wobei die Modellfunktion für die Signalrekonstruktion durch ein Abtasthalteglied mit der Übertragungsfunktion

$$Z_i(s) = (1 - e^{-\theta_i s}) / (\theta_i s)$$

gegeben ist, einer Modellfunktion für einen PD-Regler $K_i(s) = k_{p,i} + k_{d,i} s$, einer Modellfunktion für

die Regeldynamik $G_i(s) = k_{G,i} e^{-\phi_i s} / (s^2 (\tau_i s + 1))$, einer Modellfunktion für einen Feedforward-Filter $F_i(s) = G_{i-1}(s) / (G_i(s) H_i(s))$, und einer Modellfunktion für einen Feedback-Filter $H_i(s) = 1 + h_i s$ gebildet. Wenn die Fahrzeuge in der Kolonne identisch sind, d. h. $G_{i-1}(s) = G_i(s)$ vereinfacht sich die Funktion $F_i(s)$ zu

$$F_i(s) = 1 / H_i(s)$$

und die Kolonnenstabilitätsbedingung zu

$$\Lambda_i(s) = \left| \frac{D_i(s) F_i(s) + K_i(s) G_i(s)}{1 + K_i(s) G_i(s) H_i(s)} \right| \leq 1$$

[0032] Der Parameter s bezeichnet die komplexe Frequenz der Laplace-transformierten Modellfunktionen. Der Parameter δ_i gibt die Übertragungszeit eines Datenpakets an und kann von der verwendeten Modulation, Codierung, der Größe eines Datenpakets und den verfügbaren Übertragungsressourcen abhängen. Desweiteren bezeichnen $k_{p,i}$, $k_{d,i}$ Modellparameter eines PD-Reglers und ϕ_i , τ_i , $k_{G,i}$ bezeichnen Modellparameter eines Regelkreises als fahrzeugspezifische Steuerparameter. Typische Werte für die oben eingeführten Modellparameter können in Ref. [1] und den darin zitierten Referenzen entnommen werden. Der Parameter h_i gibt den vorgegebenen Zeitabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars (im Englischen als „headway time“ bezeichnet) als kinematische Zielvorgabe an. Der Zeitab-

stand h_i kann auch aus einem vorgegebenen Weg-

abstand Δp_i^{soil} zwischen den Fahrzeugen des Fahrzeugpaars als kinematische Zielvorgabe und einer vorgegebenen Geschwindigkeit v_i des zweiten Fahrzeugs als kinematische Zielvorgabe über die Definition $h_i = \Delta p_i^{\text{soil}} / v_i$ bestimmt werden.

[0033] Die Kolonnenstabilitätsbedingung hängt von der Verzugszeit Θ_i ab. Die Verzugszeit Θ_i bezeichnet dabei den konstanten zeitlichen Abstand mit dem Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen von dem ersten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars gesendet und von dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars empfangen werden können.

Die maximale Verzugszeit Θ_i^{max} kann aus der Bedingung $\Lambda_i = 1$ durch Auflösen der Gleichung $\Lambda_i = 1$ nach der Verzugszeit Θ_i bestimmt werden. Die ma-

ximale Verzugszeit Θ_i^{max} gibt dann an, mit welchem maximalen zeitlichen Abstand Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter von dem ersten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars an das zweite Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars gesendet werden können, ohne dass die oben angegebene Kolonnenstabilitätsbedingung verletzt ist.

[0034] Die maximale Verzugszeit Θ_i^{max} kann aus der Bedingung $\Lambda_i = 1$ numerisch oder semi-analytisch mit dem die folgenden Schritte umfassenden Algorithmus bestimmt werden:

- Die Laplace-transformierte Modellfunktion für die Verzögerung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation $D_i(s)$ wird mit einem Pade-Ansatz approximiert.

- Die Exponentialfunktion $e^{-\theta_i s}$ in der Laplace-transformierten Modellfunktion für die Signalrekonstruktion $Z_i(s)$ wird auch mit einem Pade-Ansatz approximiert, sodass die Auflösung der Gleichung $\Lambda_i = 1$ nach der Verzugszeit Θ_i sich aus der Bestimmung der Nullstellen eines Polynoms, das Vielfache von Potenzen der Verzugszeit Θ_i summiert, ergibt. Die Vielfachen der Potenzen der Verzugszeit Θ_i bilden dabei die Koeffizienten des Polynoms, die von fahrzeugspezifischen Steuerparametern, kinematischen Zustandsparametern und kinematischen Zielvorgaben sowie der komplexen Frequenz s abhängen können.

- Die Polstellen der Transferfunktion $\Lambda_i(s)$ werden berechnet. Die Koeffizienten des Polynoms werden dann für jede Polstelle, die für bzw. anstelle der komplexen Frequenz s eingesetzt wird, bestimmt. Für jede Polstelle und den damit

bestimmten Koeffizienten des Polynoms werden die Nullstellen des Polynoms beispielsweise analytisch oder mittels eines Newton Verfahrens numerisch berechnet.

- Aus dem so bestimmten Satz reeller und positiver Nullstellen des Polynoms wird die kleinste

Nullstelle als maximale Verzugszeit Θ_i^{max} bestimmt.

[0035] Die mindestens eine maximale Verzugszeit

Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation kann dann für jedes Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne bzw. für jedes zweite Fahrzeug eines jeden Fahrzeugpaars mit der Fahrzeugidentifikationsnummer i bestimmt werden.

[0036] Die mindestens eine Datenübertragungssitzung kann durch Angabe eines Frequenzbands oder eines Subchannels, einer Anfangszeit oder eines initialen Subframes, und einer Periodendauer eindeutig spezifiziert werden. Insbesondere ist eine Datenübertragungssitzung mit mehreren zeitlich periodisch angeordneten Ressource-Blöcken gebildet, wobei der zeitliche Abstand zwischen zwei zeitlich unmittelbar nacheinander angeordneten, benachbarten Ressource-Blöcken jeweils durch die Periodendauer gegeben ist. Ein Ressource-Block bildet dabei die kleinste Zeit- und Frequenzeinheit, mit der Informationen mittels der Datenübertragungssitzung gesendet und empfangen werden können. Die Frequenzbreite eines Ressource-Blocks ist durch die Breite des Frequenzbands oder Subchannels gegeben. Beispielsweise beträgt die Frequenzbreite eines Ressource-Blocks im LTE-Standard 12 Subcarrier zu je 15 kHz. Die zeitliche Breite oder Zeitdauer eines Ressource-Blocks ist durch die zeitliche Länge eines Subframes gegeben. Beispielsweise beträgt die Zeitdauer eines Subframes im LTE-Standard 1 ms. Vorzugsweise ist die mindestens eine Datenübertragungssitzung eine semi-persistente Datenübertragungssitzung.

[0037] Die Periodendauer einer Datenübertragungssitzung kann dann für das mindestens eine Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne wie folgt bestimmt werden:

- Zunächst kann die mindestens eine maximale Verzugszeit Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation mit den von einem mobilen Netzwerkstandard erlaubten Werten für die Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung verglichen werden. Beispielsweise sind im LTE-V2X-Standard unter anderem 20 ms, 50 ms, 100 ms, 200 ms,... etc. als erlaubte Werte für die Periodendauer festgelegt. Die kleinste Periodendauer beträgt im LTE-V2X Standard also 20 ms.

- Aus dem Satz erlaubter Werte für die Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung werden zunächst diejenigen Werte bestimmt, die kleiner oder gleich sind als die mindestens eine maximale Verzugszeit

Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und von denjenigen Werten, die kleiner oder gleich als die mindestens eine maximale

Verzugszeit Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation sind, wird derjenige Wert ausgewählt, der den kleinsten zeitlichen Abstand von der mindestens einen maximalen Ver-

zugszeit Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation aufweist.

- Der so eindeutig bestimmte Wert aus dem Satz erlaubter Werte kann dann einen Wert für die Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung bilden.

- Falls die mindestens eine maximale Verzugszeit Θ_i^{max} für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation kleiner ist als die kleinste erlaubte Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung, kann der Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung auch genau dieser kleinste erlaubte Wert zugewiesen werden.

[0038] Vorteilhaft wirkt es sich aus, wenn die mindestens eine Datenübertragungssitzung mit mehreren zeitlich periodisch angeordneten Ressource-Blöcken gebildet ist, wobei der zeitliche Abstand zwischen zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgenden Ressource-Blöcken durch eine Periode der mindestens einen Datenübertragungssitzung gegeben ist, die kleiner als die mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation ist.

[0039] Dem mindestens einen Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne können auch mindestens zwei Datenübertragungssitzungen als Übertragungsressourcen für das Senden und/oder Empfangen von Informationen mittels der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zugewiesen werden, wobei die mindestens zwei Datenübertragungssitzungen dieselbe Periodendauer aber unterschiedliche Anfangszeiten oder initiale Subframes aufweisen können und der zeitliche Abstand zwischen den Anfangszeiten oder initialen Subframes kleiner als die Periodendauer der mindestens zwei Datenübertragungssitzungen ist. Besonders vorzugsweise überlappen die Ressource-Blöcke, die die mindestens zwei Datenübertragungssitzungen bilden, zeitlich nicht. Die mindestens zwei Datenübertragungssitzungen sind vorzugsweise mindestens zwei semi-persistente Datenübertragungssitzungen.

[0040] Besonders vorzugsweise können dem mindestens einen Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne mehrere Datenübertragungssitzungen mit jeweils identischer Periodendauer als Übertragungsressourcen für das Senden und/oder Empfangen von Informationen mittels der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zugewiesen werden. Dabei kann der zeitliche Abstand der Anfangszeiten von zwei zeitlich benachbarten semi-persistenten Datenübertragungssitzungen durch

$$\frac{T_{SPS}}{N_{SPS}} \in \mathbb{N},$$

gegeben sein, wobei T_{SPS} dimensionslos ist und die mittels der maximalen Verzugszeit Θ_i^{max} aus dem Satz erlaubter Werte bestimmte Periodendauer in Millisekunden und N_{SPS} die Anzahl von Datenübertragungssitzungen bezeichnet.

[0041] Dadurch ist es beispielsweise möglich, dass das erste Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen über die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als der von einem mobilen Netzwerkstandard kleinste erlaubte Wert für eine Periodendauer einer Datenübertragungssitzung ist, an das zweite Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars sendet. Vorzugsweise sendet das erste Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als 20 ms ist, an das zweite Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars.

[0042] Der Fahrzeugkolonnenmanager kann auch einen Scheduler eines mobilen Netzwerks, beispielsweise einen LTE-Scheduler, auffordern, Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation des mindestens einen Fahrzeugpaars zu bestimmen und dem ersten und zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars zu zuweisen. Dafür können dem Scheduler die Fahrzeugidentifikationsnummer des ersten Fahrzeugs für das Senden von Informationen, die Fahrzeugidentifikationsnummer des zweiten Fahrzeugs für das Empfangen von Informationen und die Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung übermittelt werden. Der Scheduler kann dann das Frequenzband bzw. den Subchannel und die Anfangszeit bzw. das initiale Subframe der mindestens einen Datenübertragungssitzung bestimmen.

[0043] Falls der Fahrzeugkolonnenmanager bestimmt hat, dass dem mindestens einen Fahrzeugpaar mindestens zwei Datenübertragungssitzung zugewiesen werden sollen, kann der Fahrzeugkolonnenmanager dem Scheduler zusätzlich auch den

zeitlichen Abstand der Anfangszeiten bzw. initialen Subframes der mindestens zwei Datenübertragungssitzungen übermitteln. Für diesen Fall kann der Scheduler die mindestens zwei Datenübertragungssitzungen auch wie eine einheitliche Datenübertragungssitzung behandeln und für die eine einheitliche Datenübertragungssitzung ein Frequenzband bzw. einen Subchannel und eine Anfangszeit bzw. ein initiales Subframe bestimmen.

[0044] Der Scheduler, ein mobiler Netzwerkstack oder der Fahrzeugkolonnenmanager kann dann die Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation dem mindestens einen Fahrzeugpaar der Fahrzeugkolonne zuweisen und/oder initiieren, indem er/es die Kommunikationseinheiten der Fahrzeuge des mindestens einen Fahrzeugpaars über die jeweiligen Frequenzbänder bzw. Subchannel, Anfangszeiten bzw. Subframes und Periodendauern der mindestens einen oder der mindestens zwei Datenübertragungssitzung(en) für das Senden und/oder Empfangen von Informationen informiert und/oder diese anweist mit dem Senden und/oder Empfangen von Informationen mittels der mindestens einen oder der mindestens zwei Datenübertragungssitzung(en) zu beginnen.

[0045] Die Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation können dabei eine half-duplex Bedingung erfüllen. Insbesondere dann, wenn die Übertragungsressource Zeitressourcen umfassen, ist vorzugsweise vorgesehen, dass Ressource-Blöcke, die zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne für das Senden und/oder Empfangen von Informationen zugewiesen werden, zeitlich nicht überlappen. Hierdurch kann gewährleistet werden, dass das erste Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars nicht zur gleichen Zeit oder in dem gleichen Zeitraum wie das zweite Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars Informationen senden kann.

[0046] Die Synchronisierung der Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation kann mittels Synchronisationssignalen, die über eine Basisstation eines mobilen Netzwerks an ein Netzwerkfahrzeug der Fahrzeugkolonne oder an die mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne gesendet werden, erreicht werden. Das Senden und Empfangen von Informationen über die zugewiesenen Übertragungsressourcen kann so lange durchgeführt werden bis eine erneute Zuweisung bzw. Initiierung von Übertragungsressourcen erfolgt.

[0047] Die kinematischen Zielvorgaben können aufgrund mindestens eines externen Ereignisses während der Reise neu bestimmt werden. Dabei können die Schritte (a) und (b) mit den neuen kinematischen Zielvorgaben, die die vor dem Zeitpunkt des Eintritts des mindestens einen externen Ereignisses be-

stimmten kinematischen Zielvorgaben ersetzen, erneut durchgeführt werden, sodass die mindestens eine maximale Verzugszeit und die dem ersten und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars jeweils zugewiesenen Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation dem tatsächlichen Reiseverlauf angepasst werden können.

[0048] Beispielsweise kann ein externes Ereignis in den folgenden Situationen eintreten bzw. an den Fahrzeugkolonnenmanager gemeldet werden:

- Ein Fahrzeug der Fahrzeugkolonne beabsichtigt die Fahrzeugkolonne zu verlassen und/oder ein neues Fahrzeug möchte sich der Fahrzeugkolonne anschließen.
- Die Zielwerte für den Wegabstand zwischen dem ersten Fahrzeug und dem zweiten Fahrzeug des mindestens einen Fahrzeugpaars werden, beispielsweise aufgrund von neuen Verkehrsinformationen oder Wetterinformationen, vom Fahrzeugkolonnenmanager geändert bzw. aktualisiert.
- Die Reiseroute wird, beispielsweise aufgrund aktualisierter Verkehrsinformationen, vom Fahrzeugkolonnenmanager geändert.
- Die Zielwerte für die Geschwindigkeiten der mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne werden geändert, beispielsweise wenn das Führungsfahrzeug eine Stadt, Schulzone, Fußgängerzone, Baustelle oder Straßenabschnitte mit reduzierter Maximalgeschwindigkeit erreicht. Beispielsweise können auch neue Maximalgeschwindigkeiten durch ein Navigationssystem oder on-board Sensoren erfasst werden und die Reisezielvorgaben entsprechend angepasst werden.
- Ein Fahrzeug der Fahrzeugkolonne meldet dem Fahrzeugkolonnenmanager, dass sich die fahrzeugspezifischen Steuerparameter, beispielsweise aufgrund einer Beeinträchtigung des jeweiligen Fahrzeugs nach einem Unfall oder einem Motorschaden, verändert haben.
- Ein externes Ereignis kann auch durch einen abrupten Bremsvorgang, der durch einen Fahrer des Fahrzeugs oder einen externen Operator initiiert wird, hervorgerufen werden.

[0049] Ein Fahrzeug der Fahrzeugkolonne oder ein externer Operator, der über ein mobiles Netzwerk mit dem Fahrzeugkolonnenmanager Informationen austauschen kann, kann den Fahrzeugkolonnenmanager über den Eintritt eines externen Ereignisses informieren und gegebenenfalls neue Reisezielparameter bestimmen und/oder die fahrzeugspezifischen Steuerparameter aktualisieren. Der Fahrzeugkolonnenmanager kann dann die kinematischen Zielvor-

gaben neu bestimmen und die Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne über die Änderung der kinematischen Zielparameter informieren und/oder einzelne oder alle Schritte der Formation der Fahrzeugkolonne erneut durchführen.

[0050] Vorzugsweise ist jedes der mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne mit einem cooperative-adaptive-cruise-control-System (CACC), das eingerichtet ist, um eine Regelung der Steuerung des jeweiligen Fahrzeugs der Fahrzeugkolonne über einen Regelkreis durchzuführen, und/oder einem Satellitenortungssystem gebildet.

[0051] Das mindestens eine Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen kann auch eingerichtet sein, um mittels Fahrzeug-zu-Netzwerk-Kommunikation Informationen an eine Basisstation eines Mobilfunk-Netzwerkes zu senden oder von einer Basisstation eines MobilfunkNetzwerkes zu empfangen. Bei dem Mobilfunk-Netzwerk kann es sich beispielsweise um ein Mobilfunknetz handeln, das nach dem 4G- bzw. LTE-Standard oder nach dem 5G-Standard ausgestaltet ist. Gleichfalls kann das Mobilfunknetz jedoch auch in anderer Weise ausgestaltet sein.

[0052] Vorzugsweise sind die Kommunikationssysteme der mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so eingerichtet, dass Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen nur unidirektional entlang der Fahrzeugkolonne zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne übertragen werden.

[0053] Besonders bevorzugt ist der mindestens eine kinematische Kontrollparameter zumindest mit der Beschleunigung des ersten Fahrzeugs des mindestens einen Fahrzeugpaars gebildet.

[0054] Die mindestens zwei Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne können jeweils mit einer Mobilfunksendeinheit und/oder einer Mobilfunkempfangseinheit gebildet sein. Die Mobilfunksendeinheit und die Mobilfunkempfangseinheit kann bzw. können beispielsweise nach dem 4G (LTE)-Standard oder dem 5G-Standard ausgestaltet sein. Sofern ein Mobilfunk-Netzwerk gemäß dem LTE-Standard eingesetzt wird, kann die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation insbesondere über mindestens eine PC5-Schnittstelle einer LTE-Sendeinheit und/oder einer LTE-Empfangseinheit erfolgen.

[0055] Die Erfindung stellt zudem ein System bereit, das einen Fahrzeugkolonnenmanager umfasst, der zur Durchführung des Verfahrens ausgebildet ist. Zudem kann das System eine Anordnung aus mindestens zwei Fahrzeugen, die eine Fahrzeugkolonne

bilden, umfassen, die dazu ausgebildet ist, das beschriebene Verfahren durchzuführen.

[0056] Weiterhin stellt die Erfindung ein Computerprogrammprodukt bereit, das ein Computerprogramm (bzw. eine Befehlsfolge) aufweist, das Softwaremittel zum Durchführen des beschriebenen Verfahrens und bzw. oder zum Ansteuern der beschriebenen Anordnung aufweist, wenn das Computerprogramm in einer Recheneinheit abläuft. Vorzugsweise kann das Computerprogrammprodukt direkt in einen internen Speicher bzw. eine Speichereinheit der Recheneinheit geladen werden oder ist in diesem bereits gespeichert und umfasst typischerweise Teile eines Programmcodes zum Durchführen des beschriebenen Verfahrens oder zum Ansteuern der beschriebenen Anordnung, wenn das Computerprogrammprodukt auf der Recheneinheit abläuft bzw. ausgeführt wird. Das Computerprogrammprodukt kann auf einem maschinenlesbaren Träger, vorzugsweise einem digitalen Speichermedium gespeichert sein.

[0057] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend anhand der **Fig. 1** bis **Fig. 10** erläutert: Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Fahrzeugkolonne des Fahrzeugkolonnenmanagers und einer Basisstation des mobilen Netzwerks,

Fig. 2 eine schematische Darstellung von Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, die mit vier semi-persistenten Datenübertragungssätzen gebildet ist,

Fig. 3 eine schematische Darstellung von Regelkreisen eines CACC-Modells,

Fig. 4 eine schematische Darstellung von Schritten der Formation der Fahrzeugkolonne umfassend das Senden von Absichtserklärungen und bestimmen der Reisezielvorgaben,

Fig. 5 eine schematische Darstellung von Schritten der Formation der Fahrzeugkolonne umfassend das Senden von Formationserklärungen,

Fig. 6 eine schematische Darstellung von Schritten der Formation der Fahrzeugkolonne umfassend das Senden von Zustimmungserklärungen,

Fig. 7 eine schematische Darstellung von Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassend die Bestimmung von mindestens einer maximalen Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation,

Fig. 8 eine schematische Darstellung von Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassend die Bestimmung und Zuweisung von Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation,

Fig. 9 eine schematische Darstellung von Schritten des erfindungsgemäßen Verfahrens umfassend das Senden und Empfangen von Werten für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter,

Fig. 10 eine schematische Darstellung eines Zeitablaufdiagramms umfassend die Schritte (1)-(4) des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0058] **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Ansicht eine Fahrzeugkolonne mit drei Fahrzeugen **1.1**, **1.2**, **1.3**. Die drei Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.3** (in dem in **Fig. 1** wiedergegebenen Ausführungsbeispiel Personenkraftwagen) sind jeweils mit einer Kommunikationseinheit ausgestattet, die eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation V2V über Mobilfunk-Netzwerk und mittels Fahrzeug-zu-Netzwerk-Kommunikation V2N über eine Basisstation BS des Mobilfunknetzwerks Informationen zu senden und zu empfangen. Insbesondere sind die Kommunikationseinheiten in dem dargestellten Ausführungsbeispiel jeweils mit einer Mobilfunk-Sendeinheit und einer MobilfunkEmpfangseinheit gebildet. Die Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.3** sind in dem in **Fig. 1** gezeigten Beispiel alle vom gleichen Fahrzeugtyp, in weiteren Ausführungsbeispielen können diese Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.3** aber auch Lastkraftwagen oder verfahrbare Roboter sein bzw. aus unterschiedlichen Typen von Fahrzeugen ausgewählt sein.

[0059] Bei dem Mobilfunk-Netzwerk kann es sich beispielsweise um ein Mobilfunknetz handeln, das nach dem 4G- bzw. LTE-Standard oder nach dem 5G-Standard ausgestaltet ist. Gleichfalls kann das Mobilfunknetz jedoch auch in anderer Weise ausgestaltet sein. Sofern ein Mobilfunk-Netzwerk gemäß dem LTE-Standard eingesetzt wird, kann die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation insbesondere über mindestens eine PC5-Schnittstelle einer LTE-Sendeeinheit und/oder einer LTE-Empfangseinheit erfolgen.

[0060] Ein Fahrzeugkolonnenmanager FKM, der in Form einer Recheneinheit mit darauf ablaufendem Computerprogramm vorgesehen sein kann, ist über ein mobiles Netzwerk mit der Basisstation BS und dem Internet verbunden und bestimmt die kinematischen Zielvorgaben. Mit der aus den drei Fahrzeugen **1.1**, **1.2**, **1.3** gebildeten Fahrzeugkolonne können zwei Fahrzeugpaare gebildet werden. Ein erstes Fahrzeugpaar **1.1** und **1.2** ist mit einem ersten Fahrzeug **1.1** der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem ersten Fahrzeug **1.1** unmittelbar nachfolgend angeordneten zweiten Fahrzeug **1.2** der Fahrzeugkolonne gebildet. Ein zweites Fahrzeugpaar **1.2** und **1.3** ist mit einem ersten Fahrzeug **1.2** der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem ersten Fahrzeug **1.2** unmittelbar nachfolgend angeordneten zweiten Fahrzeug **1.3** der Fahrzeugkolonne gebildet.

[0061] In **Fig. 2** sind beispielhaft Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation V2V, die dem ersten Fahrzeug **1.1** für das Senden von Werten für den mindestens einen kinematischen Zustandsparameter an das zweite Fahrzeug **1.2** und dem zweiten Fahrzeug **1.2** für das Empfangen dieser Werte zugewiesen sind, gezeigt. Wiederkehrende Merkmale sind in dieser Figur wie auch in den folgenden Figuren mit identischen Bezugszeichen versehen. Die für das erste Fahrzeugpaar **1.1** und **1.2** bestimmte maximale Verzugszeit, die die Einhaltung einer Kolonnenstabilitätsbedingung gewährleistet, beträgt 7 ms. Bei den in der **Fig. 2** gezeigten Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation handelt es sich um Zeit- und Frequenzressourcen in einem LTE-Mobilfunk-Netzwerk. Die Zeit- und Frequenzressourcen sind mit vier semi-persistenten Datenübertragungssitzungen a, b, c, d, die zeitlich versetzt beginnen, gebildet, wobei der zeitliche Abstand der Anfangszeiten von zwei zeitlich benachbarten semi-persistenten Datenübertragungssitzungen (z.B. a und b, b und c, c und d) jeweils $D = 5$ ms beträgt. Die Periodendauer jeder der vier semi-persistenten Datenübertragungssitzungen beträgt $T = 20$ ms und entspricht dem minimalen Wert für die Periodendauer einer semi-persistenten Datenübertragungssitzung im LTE-Standard. In **Fig. 2** sind insgesamt 30 Ressource-Blöcke gezeigt, wobei die zeitliche Breite eines Ressource-Blocks der Zeitdauer eines Subframes SF im LTE-Standard entspricht und die Frequenzbreite eines Ressource-Blocks der Frequenzbreite eines Subchannels SC im LTE-Standard entspricht. Die Begrenzung auf 30 Ressource-Blöcke soll keine limitierte Zeitdauer der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen zeigen, sondern dient lediglich einer kompakten schematischen Darstellungsweise. Dabei bilden die Ressource-Blöcke **0** und **20** zumindest einen Teil der semi-persistenten Datenübertragungssitzung a, wobei der Ressource-Block **0** in dem initialen Subframe SF der semi-persistenten Datenübertragungssitzung a angeordnet ist. Die Ressource-Blöcke **5** und **25** bilden zumindest einen Teil der semi-persistenten Datenübertragungssitzung b, wobei der Ressource-Block **5** in dem initialen Subframe der semi-persistenten Datenübertragungssitzung b angeordnet ist etc..

[0062] **Fig. 3** zeigt ein CACC-Modell für die drei Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.3** der Fahrzeugkolonne. Jedes Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.3** der Fahrzeugkolonne ist dabei mit einem Regelkreis für die Steuerung des jeweiligen Fahrzeugs gebildet. Der Regelkreis des ersten Fahrzeugs **1.1** der Fahrzeugkolonne, das gleichzeitig das Führungsfahrzeug **1.1** der Fahrzeugkolonne bildet, ist lediglich mit einer Modellfunktion für die Regeldynamik $G_1(s)$ beschrieben. Der Regelkreis des zweiten Fahrzeugs **1.2** der Fahrzeugkolonne ist durch $D_2(s) = T_2(s)Z_2(s)$, wobei $T_2(s)$ eine Modellfunktion für die Verzögerung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und $Z_2(s)$ eine Modellfunktion für die Signalre-

konstruktion in Form eines Abtasthalteglieds ist, einer Modellfunktion für einen PD-Regler $K_2(s)$, einer Modellfunktion für die Regeldynamik $G_2(s)$, einer Modellfunktion für einen Feedforward Filter $F_2(s)$, und einer Modellfunktion für einen Feedback-Filter $H_2(s)$ beschrieben. Eingabegrößen des Regelkreises des zweiten Fahrzeugs **1.2** sind mit Werten $U_1(s)$ für die momentane Beschleunigung des ersten Fahrzeugs **1.1** der Fahrzeugkolonne als mindestens ein kinematischer Kontrollparameter (in der Laplace-Domäne), der über die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation V2V, Wireless Link mit einem zeitlichen Abstand von $D = 5$ ms an das zweite Fahrzeug **1.2** gesendet wird, und mit Werten $P_1(s)$ für den momentanen Wegabstand zwischen dem ersten **1.1** und dem zweiten **1.2** Fahrzeug, die Position des ersten **1.1** und/oder des zweiten **1.2** Fahrzeugs, und/oder den momentanen Geschwindigkeiten des ersten **1.1** und/oder des zweiten **1.2** Fahrzeugs als kinematische Zustandsparameter (in der Laplace-Domäne), die zumindest mittels eines Radar-Systems, das sich auf bzw. in dem zweiten Fahrzeug **1.2** als mindestens eine Messvorrichtung in Form von Radar oder Lidar befindet, und/oder eines Satellitenortungssystems erfasst werden können, gebildet. Weitere Eingabegrößen für den in **Fig. 3** gezeigten Regelkreis bilden die Längenangaben der jeweiligen Fahrzeuge (nicht gezeigt).

[0063] Mit den Werten $P_1(s)$ für den momentanen Wegabstand zwischen dem ersten **1.1** und dem zweiten **1.2** Fahrzeug, die Position des ersten **1.1** und/oder des zweiten **1.2** Fahrzeugs, und/oder den momentanen Geschwindigkeiten des ersten **1.1** und/oder des zweiten **1.2** Fahrzeugs als kinematische Zustandsparameter wird dann der momentane Zeitabstand zwischen dem ersten **1.1** und dem zweiten **1.2** Fahrzeug als kinematischer Zustandsparameter, beispielsweise von der mindestens einen Messvorrichtung selbst oder einem damit verbundenen Prozessor oder weiteren Rechenmittel, bestimmt. Der Regelkreis des zweiten **1.2** Fahrzeugs regelt dann die Dynamik bzw. Steuerung des zweiten **1.2** Fahrzeugs mit dem Ziel, die mittels des Radar-Systems erfassten bzw. bestimmten Zeitabstände als kinematischer Zustandsparameter den kinematischen Zielvorgaben, die vom Fahrzeugkolonnenmanager FKM mittels einer Formationserklärung zuvor an das zweite Fahrzeug **1.2** übermittelt wurden, anzugleichen. Dieses Prozedere wiederholt sich analog im dritten Fahrzeug **1.3** der Fahrzeugkolonne, wobei das dritte Fahrzeug **1.3** am Ende der Fahrzeugkolonne angeordnet ist und deshalb keine Werte für die momentane Beschleunigung des dritten Fahrzeugs **1.3** an ein weiteres Fahrzeug der Fahrzeugkolonne sendet. Der jeweilige Regelkreis ist in dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel als Computerprogramm in einer Steuerungs-/Regelungseinheit des jeweiligen Fahrzeugs **1.1**, **1.2**, **1.3** implementiert. Das in **Fig. 3** gezeigte Modell eines Regelkreises beschreibt näherungsweise die Implementierung eines CACC-Systems.

tems in den jeweiligen Fahrzeugen bzw. der Fahrzeugkolonne.

[0064] In **Fig. 4** ist in einer schematischen Darstellung ein Teilschritt der Formation der Fahrzeugkolonne gezeigt, bei dem die Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne, wobei $N=3$ die Anzahl der Fahrzeuge der Fahrzeugkolonne angibt, jeweils eine Absichtserklärung (PlatoonFormationRequest()) an den Fahrzeugkolonnenmanager FKM mittels LTE PUSCH senden. Die Absichtserklärung ist zumindest mit Positionsangaben, Zielkoordinaten als fahrzeugspezifische Reisezielangaben und fahrzeugspezifischen Steuerparametern gebildet. Der Fahrzeugkolonnenmanager FKM bestimmt daraufhin eine Reiseroute und sendet eine Routenanfrage über das Internet an ein Navigationssystem, das mit „Navigation“ in **Fig. 4** gekennzeichnet ist. Das Navigationssystem (Navigation) sendet daraufhin Verkehrsinformationen, insbesondere Verkehrsregulierungsinformationen, die mit den entlang der Reiseroute vorgeschriebenen Maximalgeschwindigkeiten gebildet sind, über das Internet an den Fahrzeugkolonnenmanager FKM. Der Fahrzeugkolonnenmanager FKM bestimmt die kinematischen Zielvorgaben unter Berücksichtigung von Reisezielparametern und fahrzeugspezifischen Steuerparametern.

[0065] **Fig. 5** zeigt in einer **Fig. 4** entsprechenden Ansicht einen Teilschritt der Formation der Fahrzeugkolonne, bei dem der Fahrzeugkolonnenmanager FKM eine Formationserklärung PlatoonFormationResponse() an jedes Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne mittels LTE PDSCH sendet. Die Formationserklärung an ein Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne ist zumindest mit der Fahrzeugkolonnenidentifikationsnummer, der Fahrzeugidentifikationsnummer, kinematischen Zielvorgaben, Reisezielparametern sowie fahrzeugspezifischen Steuerparametern desjenigen weiteren Fahrzeugs, das in der Reihenanordnung der Fahrzeugkolonne unmittelbar vor dem Fahrzeug angeordnet ist, gebildet. Insbesondere kann mit diesen Werten bzw. Parametern der Feedforward-Filter berechnet werden, falls dies in dem Regelkreis bzw. CACC-System des Fahrzeugs vorgesehen ist.

[0066] **Fig. 6** zeigt in einer **Fig. 4** entsprechenden Ansicht einen Teilschritt der Formation der Fahrzeugkolonne, bei dem jedes Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne dem Fahrzeugkolonnenmanager FKM eine Zustimmungserklärung PlatoonACK() sendet. Die Zustimmungserklärung ist zumindest mit der Fahrzeugkolonnenidentifikationsnummer, der Fahrzeugidentifikationsnummer und einem Zustimmungswert (Ack=1) oder Ablehnungswert (Ack=0) gebildet. Sobald alle Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne einen Zustimmungswert gesendet haben, ist die Formation der Fahrzeugkolonne abgeschlossen.

[0067] In **Fig. 7** ist in einer **Fig. 4** entsprechenden Ansicht die Bestimmung von mindestens einer maximalen Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation für jedes Fahrzeugpaar **1.1** und **1.2** sowie **1.2** und **1.N** der Fahrzeugkolonne durch den Fahrzeugkolonnenmanager FKM gezeigt, wobei die mindestens eine maximale Verzugszeit so bestimmt wird, dass eine Kolonnenstabilitätsbedingung unter Berücksichtigung der kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter erfüllt ist. Basierend auf der mindestens einen maximalen Verzugszeit bestimmt der Fahrzeugkolonnenmanager FKM die Anzahl und Periodendauern der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen für jedes Fahrzeugpaar **1.1** und **1.2** sowie **1.2** und **1.N** der Fahrzeugkolonne für das Senden und Empfangen von Informationen.

[0068] **Fig. 8** zeigt in einer **Fig. 4** entsprechenden Ansicht die Bestimmung und Zuweisung von Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation, wobei der Fahrzeugkolonnenmanager FKM den Scheduler eines Mobilfunk-Netzwerks, wie etwa eines 4G- oder 5G-Mobilfunknetzes, über die Basisstation BS auffordert (SPS allocation request), die Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zuzuweisen. Der Scheduler bestimmt daraufhin für jede einheitliche semi-persistente Datenübertragungssitzung die jeweiligen spezifischen Übertragungsressourcen für jedes Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne vorzugsweise unter Berücksichtigung einer half-duplex Bedingung zur Vermeidung von Interferenzen. Die so bestimmten Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation werden dann den Fahrzeugen **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne vom Scheduler gesendet (Tx/Rx SPS Grants). Damit sind die Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation jedem Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne auch zugewiesen.

[0069] In dem zuvor erläuterten Fall einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation über ein LTE-Mobilfunk-Netzwerk werden dem Scheduler vom Fahrzeugkolonnenmanager FKM zumindest die Anzahl und Periodendauern der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen für das Senden (Tx) und/oder Empfangen (Rx) von Informationen, die zeitlichen Abstände $D=5$ ms zwischen den Anfangszeiten bzw. initialen Subframes der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen a und b, b und c, c und d (siehe **Fig. 2**) sowie die korrespondierenden Fahrzeugidentifikationsnummern und Fahrzeugkolonnenidentifikationsnummer gesendet. Der Scheduler bestimmt daraufhin für jede einheitliche semi-persistente Datenübertragungssitzung, die mit vier semi-persistenten Datenübertragungssitzungen gebildet ist, die jeweiligen Anfangszeiten bzw. initialen Subframes sowie die Frequenzbänder bzw. Subchannel für jedes Fahrzeug **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne unter Be-

rücksichtigung einer half-duplex Bedingung. Die so bestimmten Informationen für die Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation werden dann den Fahrzeugen **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne vom Scheduler gesendet (Tx/Rx SPS Grants).

[0070] Fig. 9 stellt in einer Fig. 4 entsprechenden Ansicht dar, wie mittels der zugewiesenen Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand $D = 5$ ms, der kleiner als die mindestens eine maximale Verzugszeit von 7 ms und auch kleiner als die Periodendauern der vier semi-persistenten Datenübertragungssitzungen a, b, c, d $T=20$ ms (siehe Fig. 2) ist, von einem ersten Fahrzeug **1.1**, **1.2** eines Fahrzeugpaares gesendet (Kinematic/Control Update) und von einem zweiten Fahrzeug **1.2**, **1.N** eines Fahrzeugpaares empfangen werden. Dafür werden in dem in Fig. 9 dargestellten Ausführungsbeispiel die Ressource-Blöcke a.1, b.1 der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen a, b von dem ersten Fahrzeug **1.1** des ersten Fahrzeugpaares **1.1**, **1.2** für das Senden an das zweite Fahrzeug **1.2** des ersten Fahrzeugpaares **1.1**, **1.2** genutzt und die Ressource-Blöcke a.2, b.2 der semi-persistenten Datenübertragungssitzungen a, b von dem ersten Fahrzeug **1.2** des zweiten Fahrzeugpaares **1.2** und **1.N** für das Senden an das zweite **1.N** Fahrzeug des zweiten Fahrzeugpaares **1.2** und **1.N** genutzt. Unter Berücksichtigung dieser gesendeten und empfangenen Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter können dann die jeweils zweiten Fahrzeuge **1.2**, **1.N** des jeweiligen Fahrzeugpaares eine Regelung der Steuerung über einen Regelkreis bzw. ein CACC-System wie in Fig. 3 beschrieben durchführen.

[0071] Fig. 10 zeigt ein Zeitablaufdiagramm umfassend Schritte (1)-(4) eines Verfahrens zur Kontrolle der Fahrzeugkolonne mit den mindestens zwei Fahrzeugen **1.1**, **1.2**, wobei die mindestens zwei Fahrzeuge **1.1**, **1.2** der Fahrzeugkolonne jeweils mit einem Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen, und einer Messvorrichtung, die eingerichtet ist, um Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter zu erfassen, gebildet sind. Bei dem Verfahren werden für mindestens ein Fahrzeugpaar **1.1**, **1.2** der Fahrzeugkolonne, das mit einem ersten Fahrzeug **1.1** der Fahrzeugkolonne und einem in der Fahrzeugkolonne dem ersten Fahrzeug **1.1** unmittelbar nachfolgend angeordneten zweiten Fahrzeug **1.2** der Fahrzeugkolonne gebildet ist,

(1) kinematische Zielvorgaben unter Berücksichtigung von Reisezielparametern und fahrzeugspezifischen Steuerparametern bestimmt,

(2) mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so bestimmt, dass mindestens eine Bedingung für die Einhaltung der Kolonnenstabilität unter Berücksichtigung der kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter erfüllt ist,

(3) Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation dem ersten **1.1** und dem zweiten **1.2** Fahrzeug zugewiesen, wobei die zugewiesenen Zeit- und Frequenzressourcen mit mindestens einer semi-persistenten Datenübertragungssitzung unter Berücksichtigung der mindestens einen maximalen Verzugszeit gebildet sind,

(4) mittels der zugewiesenen Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als die in Schritt (2) bestimmte mindestens eine maximale Verzugszeit ist, von dem ersten Fahrzeug **1.1** des mindestens einen Fahrzeugpaares gesendet und von dem zweiten Fahrzeug **1.2** des mindestens einen Fahrzeugpaares empfangen und unter Berücksichtigung der empfangenen Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter eine Regelung der Steuerung des zweiten Fahrzeugs **1.2** des mindestens einen Fahrzeugpaares über einen Regelkreis mit dem Ziel, die mittels der mindestens einen Messvorrichtung des zweiten Fahrzeugs **1.2** des mindestens einen Fahrzeugpaares gemessenen Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter an die in Schritt (1) bestimmten kinematischen Zielvorgaben unter Gewährleistung der Kolonnenstabilität anzugleichen durchgeführt wird.

[0072] Im Fall des Eintretens eines externen Ereignisses (Ja) werden die Schritte (1) bis (4) erneut durchgeführt. Dadurch können die Zeit- und Frequenzressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und insbesondere die maximalen Verzugszeiten und daraus resultierenden Periodendauern und zeitlichen Abstände, mit denen Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter von einem ersten an ein zweites Fahrzeug eines Fahrzeugpaares gesendet werden dem tatsächlichen Reiseverlauf der Fahrzeuge **1.1**, **1.2**, **1.N** der Fahrzeugkolonne flexibel und effizient angepasst werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- V. Naus et al., „String-Stable CACC Design and Experimental Validation: A Frequency Domain-Approach“, IEEE Transactions on vehicular Technology, Nov 2010, pp. 4268-4279 [0028]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle einer Fahrzeugkolonne mit mindestens zwei Fahrzeugen (1.1, 1.2), wobei die mindestens zwei Fahrzeuge (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne jeweils mit einem Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen, und einer Messvorrichtung, die eingerichtet ist, um Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter zu erfassen, gebildet sind,

und ein zweites Fahrzeug (1.2) mindestens eines Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne, wobei das mindestens eine Fahrzeugpaar mit dem zweiten Fahrzeug (1.2) und einem in der Fahrzeugkolonne dem zweiten Fahrzeug (1.2) unmittelbar vorausgehend angeordneten ersten Fahrzeug (1.1) der Fahrzeugkolonne gebildet ist, zur Durchführung einer Regelung der Steuerung des zweiten Fahrzeugs (1.2) unter Berücksichtigung von dem ersten Fahrzeug (1.1) empfangener Werte für mindestens einen kinematischen Kontrollparameter mit dem Ziel, die mittels der mindestens einen Messvorrichtung des zweiten Fahrzeugs (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars gemessenen Werte für mindestens einen kinematischen Zustandsparameter an kinematischen Zielvorgaben anzugleichen, ausgestaltet ist, und bei dem Verfahren

(a) mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so bestimmt wird, dass mindestens eine Bedingung für die Einhaltung der Kolonnenstabilität unter Berücksichtigung von kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter erfüllt ist, und

(b) die Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zwischen dem ersten Fahrzeug (1.1) und dem zweiten (1.2) Fahrzeug bestimmt werden, wobei die Übertragungsressourcen mit mindestens einer Datenübertragungssitzung unter Berücksichtigung der mindestens einen maximalen Verzugszeit gebildet sind, und wobei die Übertragungsressourcen derart bestimmt werden, dass mittels der Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation die Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als die mindestens eine maximale Verzugszeit ist, von dem ersten Fahrzeug (1.1) des mindestens einen Fahrzeugpaars gesendet und von dem zweiten Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars empfangen werden können.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest das erste Fahrzeug (1.1) des mindestens einen Fahrzeugpaars eine Information über die für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation bestimmten Übertragungsressourcen empfängt und nach Maßgabe dieser Informationen die Werte für den mindestens einen kinematischen Kon-

trollparameter von dem ersten Fahrzeug (1.1) gesendet und von dem zweiten Fahrzeug (1.2) empfangen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kinematischen Zielvorgaben unter Berücksichtigung von Reisezielparametern und/oder fahrzeugspezifischen Steuerparametern bestimmt werden, die zumindest teilweise von Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne bereitgestellt werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass während der Formation der Fahrzeugkolonne jedem Fahrzeug (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne eine Fahrzeugidentifikationsnummer zugeordnet wird und Reisezielvorgaben bestimmt werden, wobei die Formation der Fahrzeugkolonne umfassende Schritte zeitlich vor der Bestimmung der kinematischen Zielvorgaben und/oder erneut nach Eintritt eines externen Ereignisses beginnen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reisezielparameter zumindest mit einem oder mehreren Reisezielen, einer oder mehreren Reiserouten, den entlang der einen oder mehreren Reiserouten erlaubten Maximalgeschwindigkeiten und/oder Verkehrsinformationen gebildet sind.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kinematischen Zielvorgaben zumindest mit entlang einer Reiseroute vorgegebenen Zielwerten für die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge (1.1, 1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2), dem Wegabstand zwischen dem ersten Fahrzeug (1.1) und dem zweiten Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) und/oder dem Zeitabstand zwischen dem ersten Fahrzeug (1.1) und dem zweiten Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) gebildet sind und/oder

die kinematischen Zustandsparameter zumindest mit zeitabhängigen Messwerten für die Geschwindigkeit des ersten Fahrzeugs (1.1) und/oder des zweiten Fahrzeugs (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2), dem Wegabstand zwischen dem ersten Fahrzeug (1.1) und dem zweiten Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) und/oder dem Zeitabstand zwischen dem ersten Fahrzeug (1.1) und dem zweiten Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) gebildet sind.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die fahrzeugspezifischen Steuerparameter zumindest mit Fahrzeugidentifikationsnummern, Modellpa-

parameter eines Reglers und/oder Modellparametern eines Regelkreises gebildet sind.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Bedingung für die Kolonnenstabilität auf einem cooperative-adaptive-cruise-control Modell (CACC) unter Berücksichtigung der kinematischen Zielvorgaben und fahrzeugspezifischen Steuerparameter basiert.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Datenübertragungssitzung mit mehreren zeitlich periodisch angeordneten Ressource-Blöcken gebildet ist, wobei der zeitliche Abstand zwischen zeitlich unmittelbar nacheinander angeordneten, benachbarten Ressource-Blöcken durch eine Periodendauer der mindestens einen Datenübertragungssitzung gegeben ist, die kleiner als die maximale Verzugszeit ist.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Datenübertragungssitzung eine semipersistente Datenübertragungssitzung ist.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die für die Fahrzeuge (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne bestimmten Übertragungsressourcen eine half-duplex-Bedingung erfüllen und Ressource-Blöcke, die zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Fahrzeugen (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne für das Senden von Informationen zugewiesen werden, zeitlich nicht überlappen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem mindestens einen Fahrzeugpaar (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne mindestens zwei Datenübertragungssitzungen als Übertragungsressourcen für das Senden und/oder Empfangen von Informationen mittels der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation zugewiesen werden, wobei die mindestens zwei Datenübertragungssitzungen dieselbe Periodendauer aber unterschiedliche Anfangszeiten aufweisen und der zeitliche Abstand zwischen den Anfangszeiten kleiner als die Periodendauer ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Fahrzeug (1.1) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) Werte für den mindestens einen kinematischen Kontrollparameter als Informationen mit einem zeitlichen Abstand, der kleiner als 20 ms ist, an das zweite Fahrzeug (1.2) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) sendet.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der min-

destens eine kinematische Kontrollparameter zumindest mit der Beschleunigung des ersten Fahrzeugs (1.1) des mindestens einen Fahrzeugpaars (1.1, 1.2) gebildet ist.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass aufgrund mindestens eines externen Ereignisses während der Reise die kinematischen Zielvorgaben neu bestimmt werden und die Schritte (a) und (b) mit den neuen kinematischen Zielvorgaben, die die vor dem Zeitpunkt des Eintritts des mindestens einen externen Ereignisses bestimmten kinematischen Zielvorgaben ersetzen, durchgeführt werden, sodass die mindestens eine maximale Verzugszeit für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und die dem mindestens einen Fahrzeugpaar (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne zugewiesenen Übertragungsressourcen für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation dem tatsächlichen Reiseverlauf angepasst werden.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes der mindestens zwei Fahrzeuge (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne mit einem cooperative-adaptive-cruise-control-System (CACC), das eingerichtet ist, um eine Regelung der Steuerung des jeweiligen Fahrzeugs (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne über einen Regelkreis durchzuführen, und/oder einem Satellitenortungssystem gebildet ist.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Kommunikationssystem, das eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation Informationen zu senden und/oder zu empfangen auch eingerichtet ist, um mittels Fahrzeug-zu-Netzwerk Kommunikation Informationen an eine Basisstation (BS) eines mobilen Netzwerkes zu senden oder von einer Basisstation (BS) eines mobilen Netzwerkes zu empfangen.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kommunikationssysteme der mindestens zwei Fahrzeuge (1.1, 1.2) der Fahrzeugkolonne für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation so eingerichtet sind, dass Werte für den mindestens einen kinematische Kontrollparameter als Informationen nur unidirektional entlang der Fahrzeugkolonne zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne übertragen werden.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fahrzeugkolonne mit einem vordersten Führungsfahrzeug, das in Fahrtrichtung am Anfang der Fahrzeugkolonne angeordnet ist, einem Organisationsfahrzeug, das eingerichtet ist, um über die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation Informationen zwischen

dem Organisationsfahrzeug und allen anderen Fahrzeugen der Fahrzeugkolonne auszutauschen, und/oder einem Netzwerkfahrzeug, das eingerichtet ist, um über die Fahrzeug-zu-Netzwerk Kommunikation Informationen zwischen dem Netzwerkfahrzeug und einer Basisstation (BS) auszutauschen, gebildet ist/sind.

20. System umfassend einen Fahrzeugkolonnenmanager, der zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangegangenen Ansprüche ausgebildet ist.

21. Computerprogrammprodukt, das ein Computerprogramm aufweist, das Softwaremittel zum Durchführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche aufweist, wenn das Computerprogramm in einer Recheneinheit abläuft.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

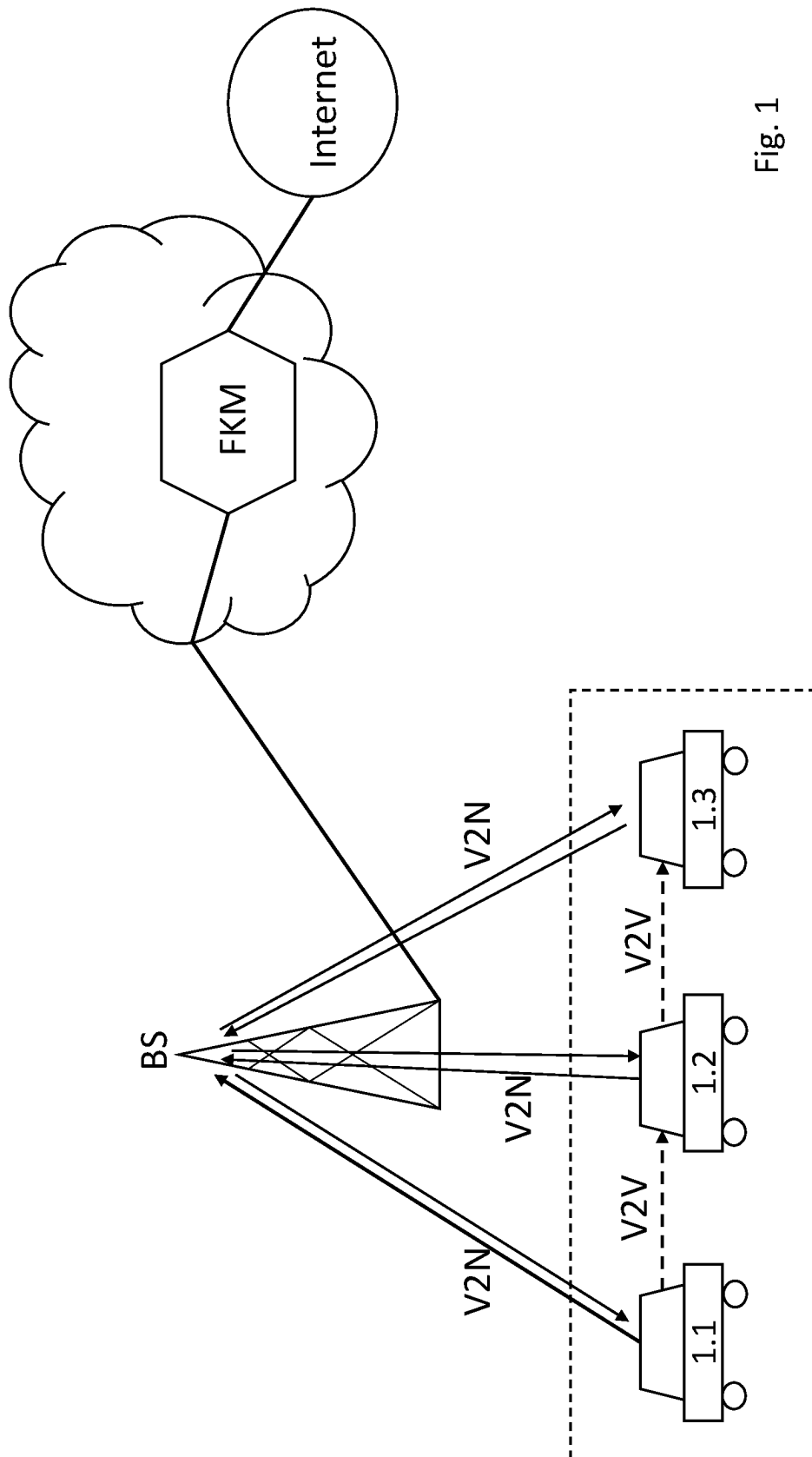


Fig. 1

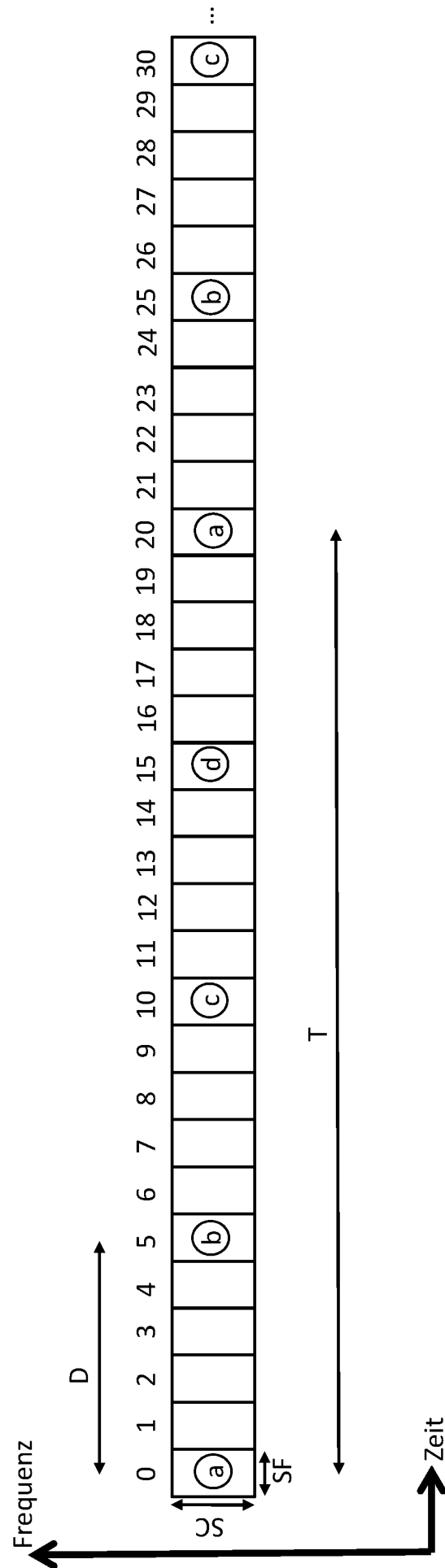
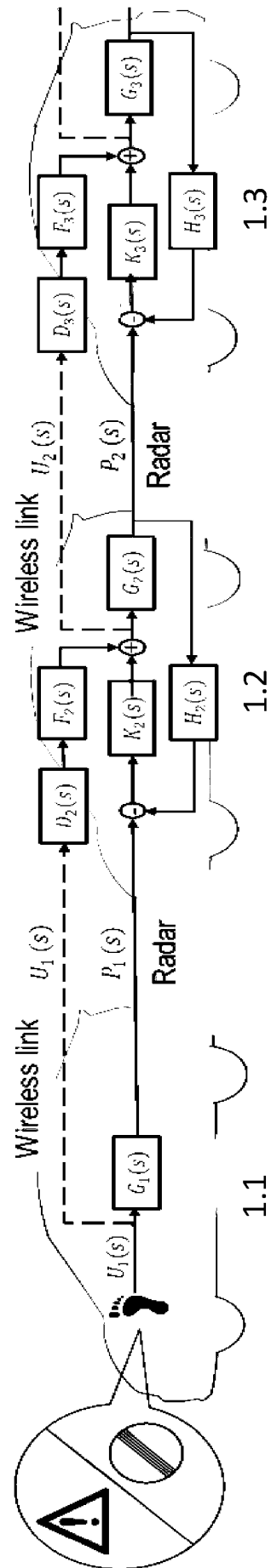


Fig. 2



File 3

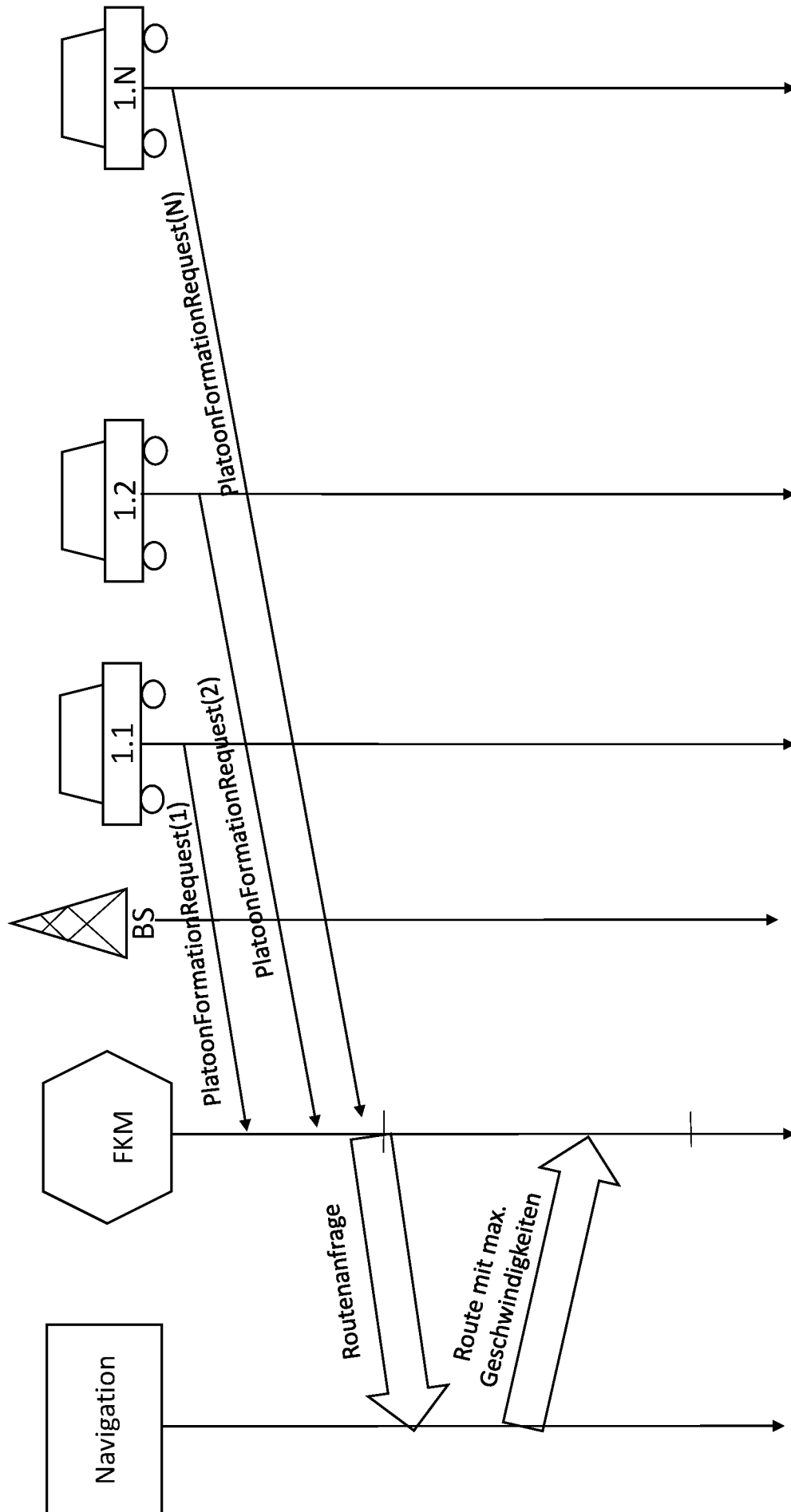


Fig. 4

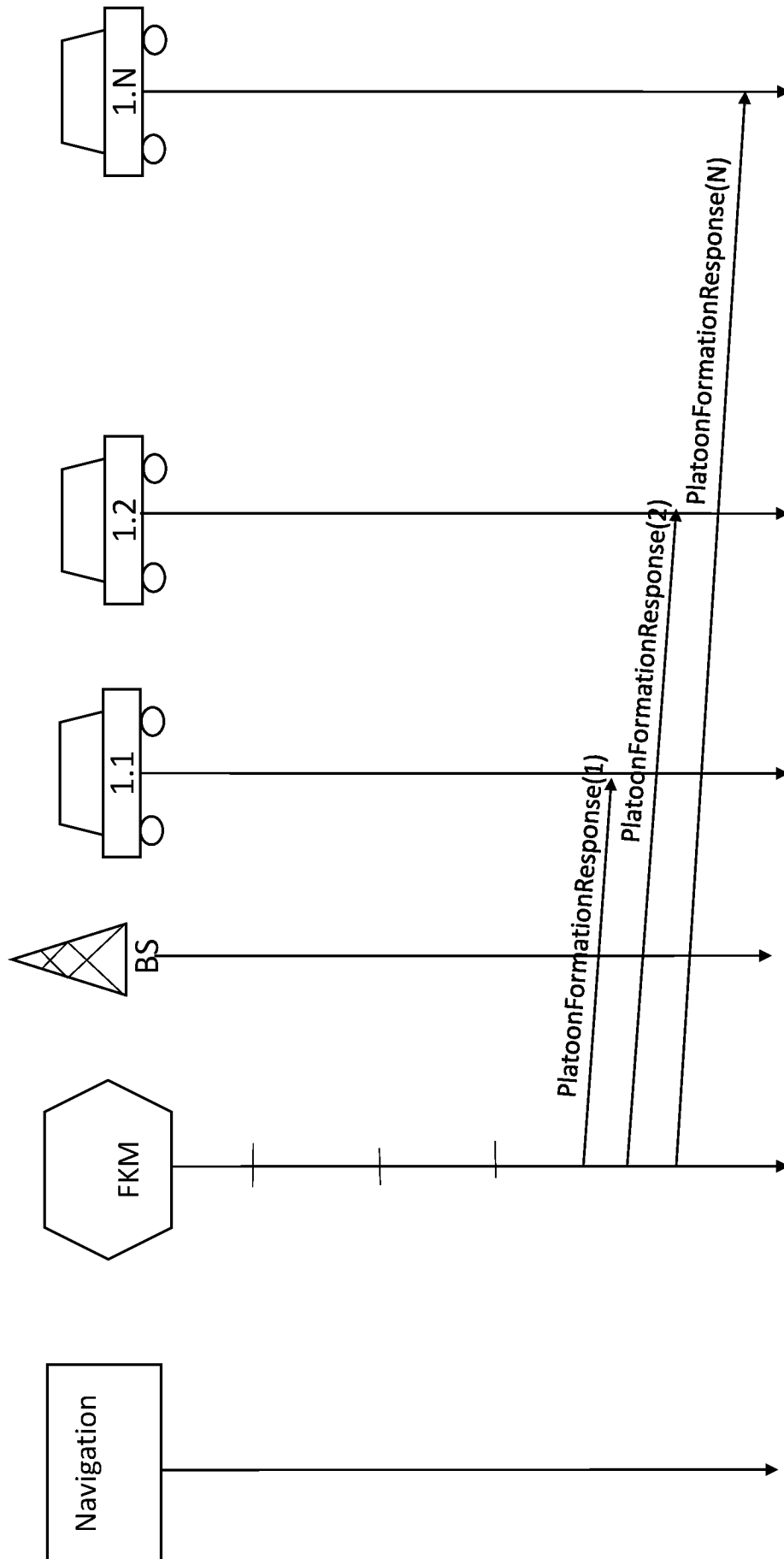


Fig. 5

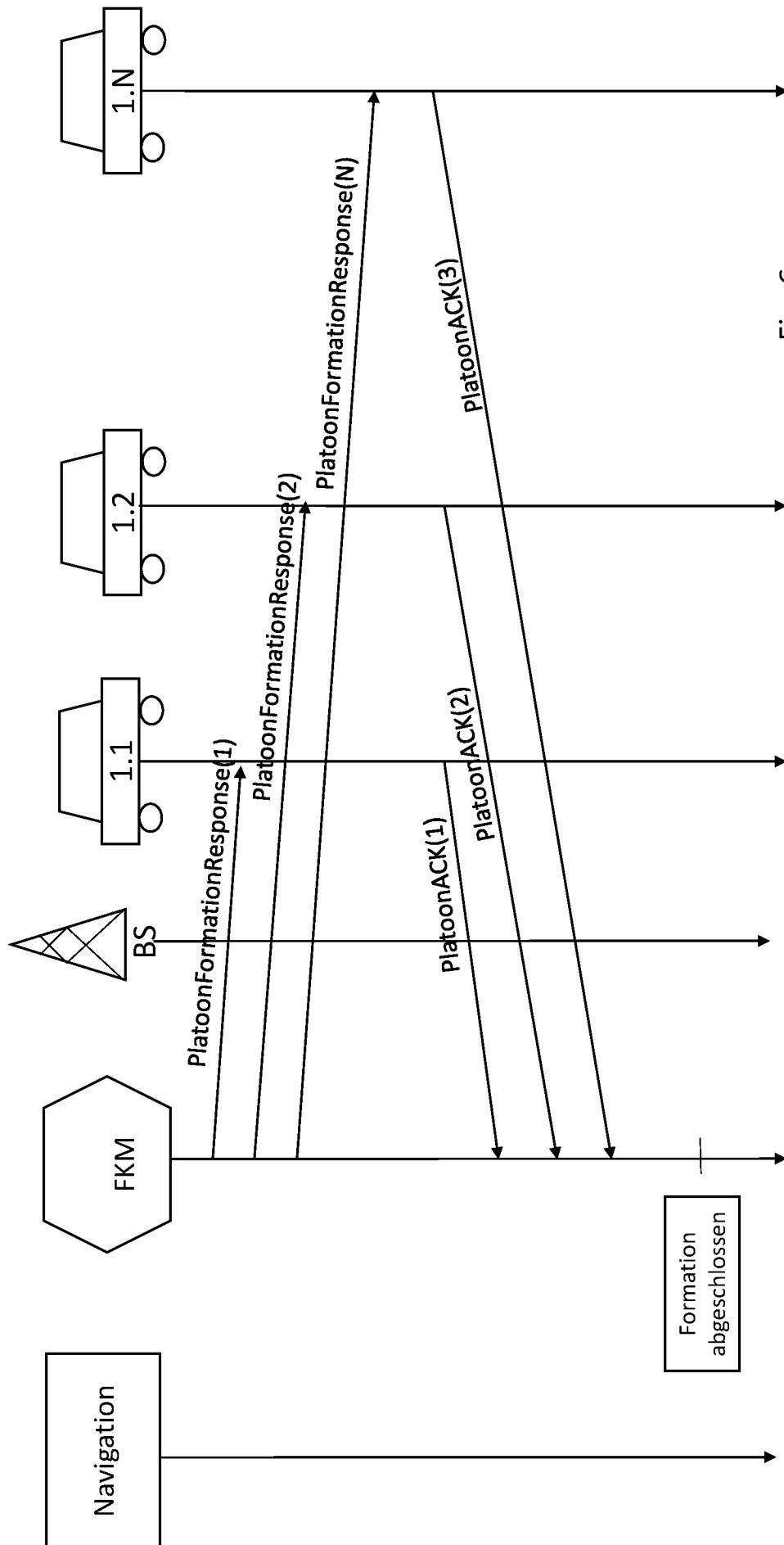


Fig. 6

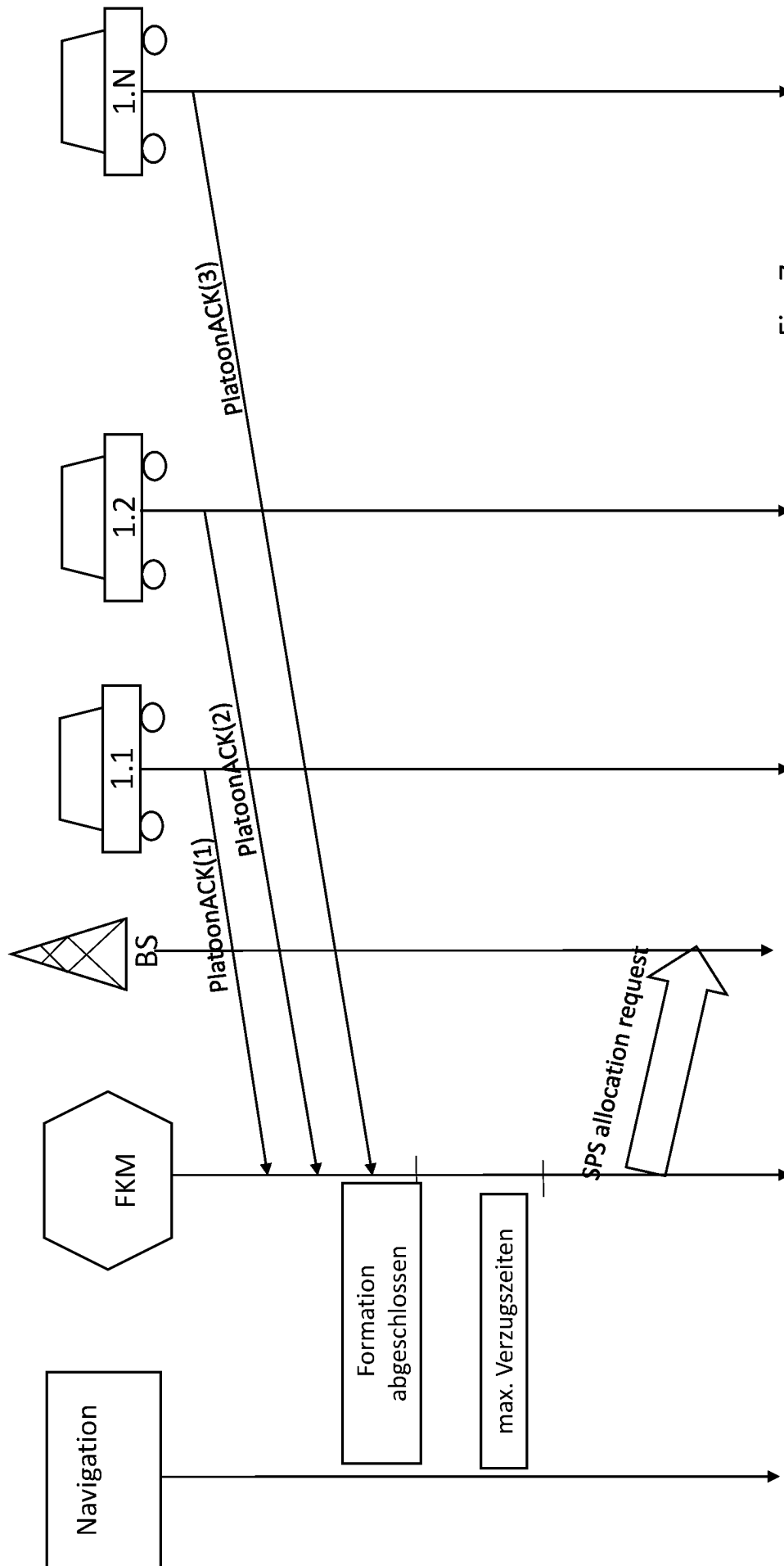


Fig. 7

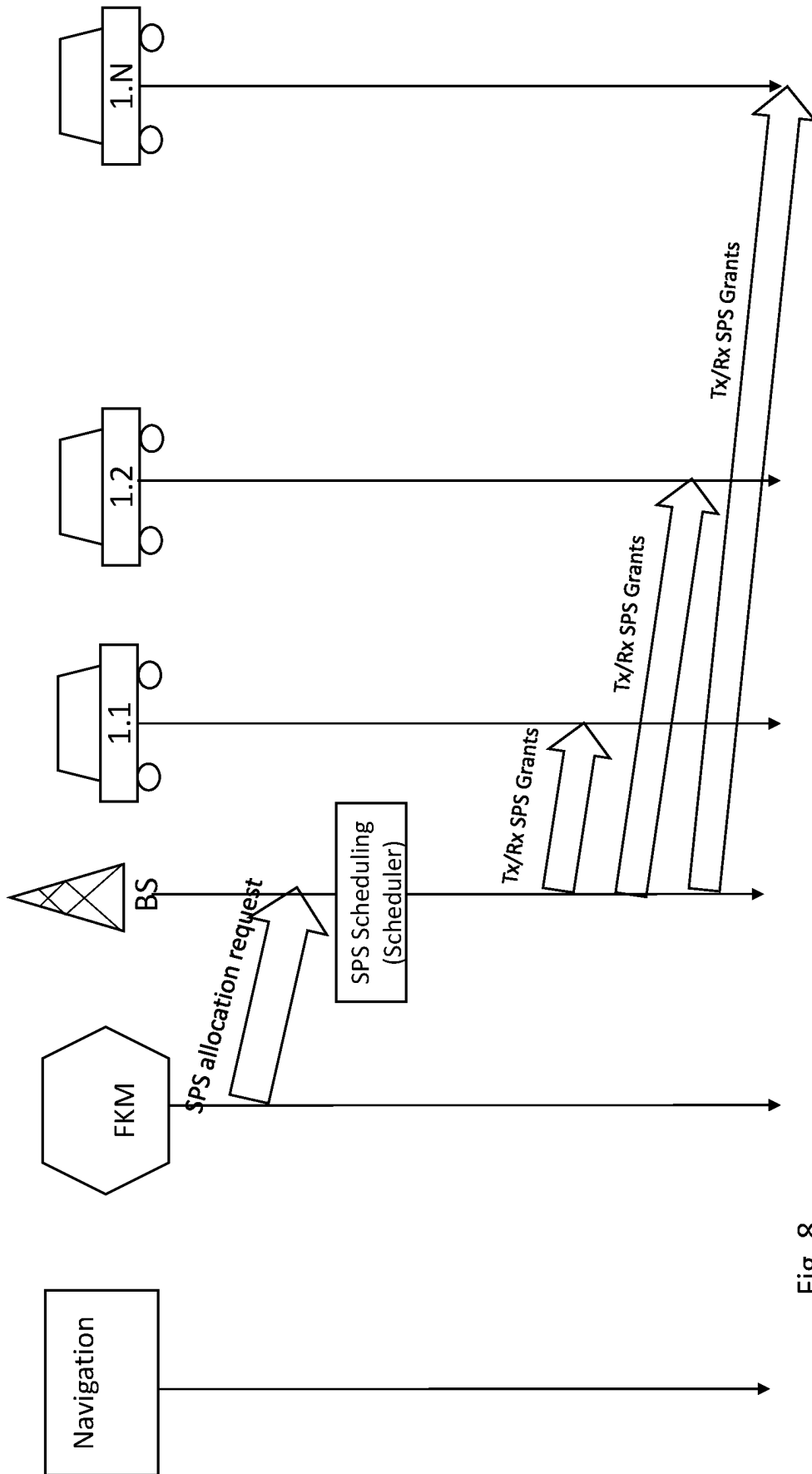


Fig. 8

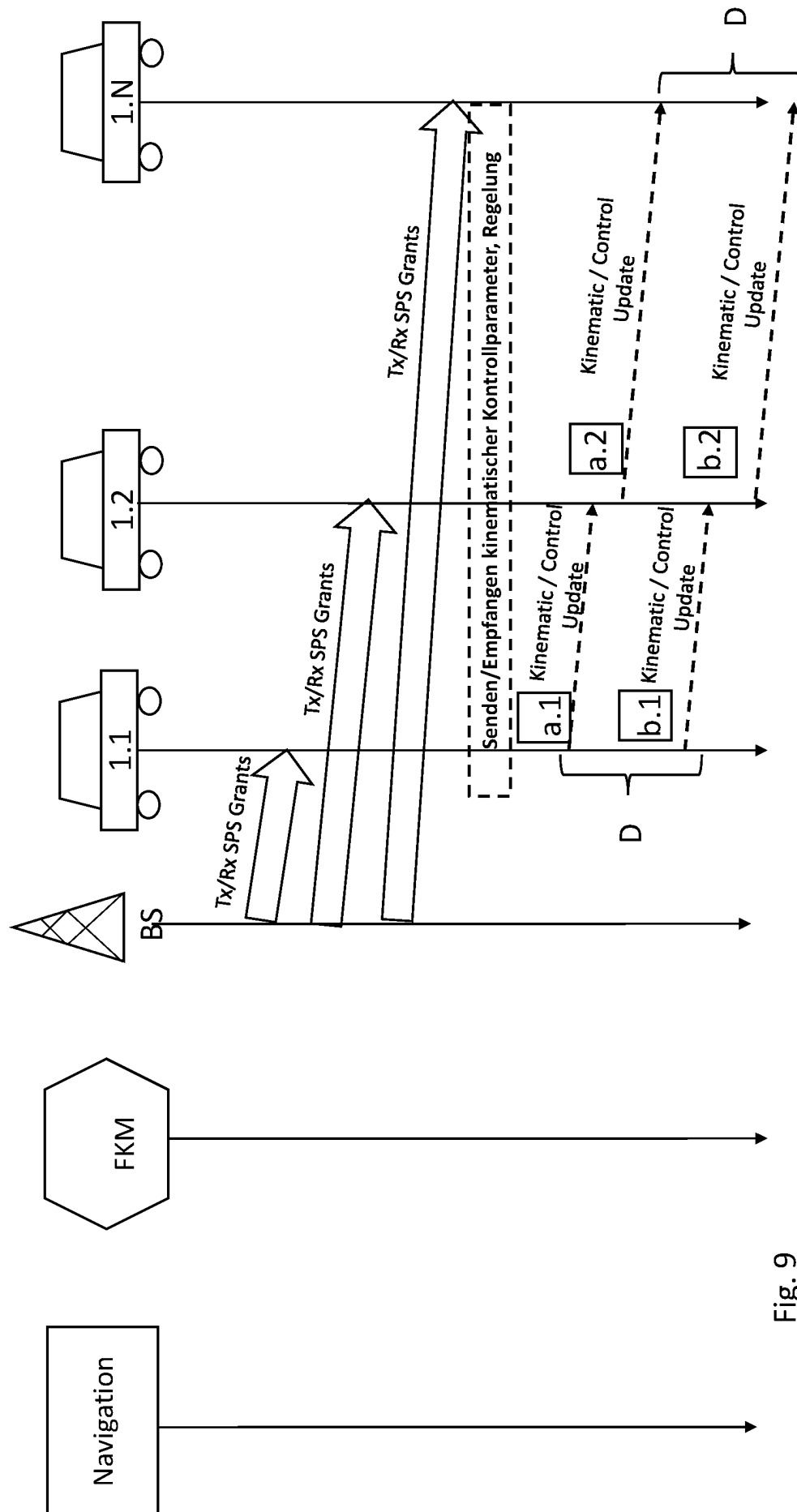


Fig. 9

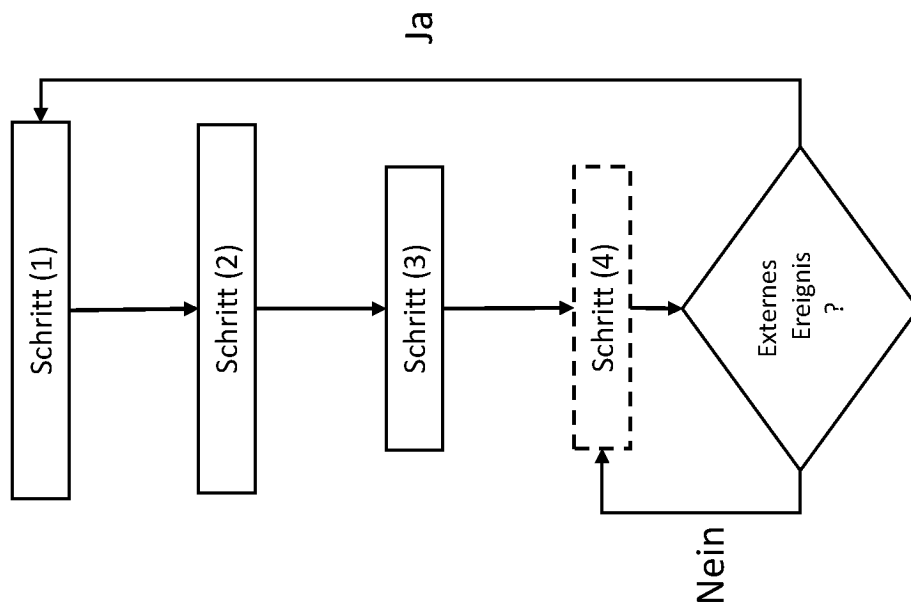


Fig. 10