



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 009 297.0**

(22) Anmeldetag: **03.05.2012**

(43) Offenlegungstag: **13.12.2012**

(51) Int Cl.: **G08G 1/16 (2012.01)**

B60W 30/08 (2012.01)

(71) Anmelder:

Daimler AG, 70327, Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

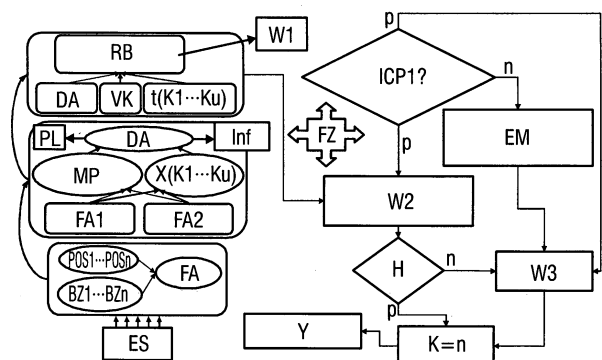
Weidl, Galia, Dr., 71032, Böblingen, DE; Käfer, Eugen, Dipl.-Inf., 70806, Kornwestheim, DE; Breuel, Gabi, Dr., 70499, Stuttgart, DE; Nöcker, Gerhard, Dipl.-Ing., 73033, Göppingen, DE

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs, wobei in Abhängigkeit einer prognostizierten zukünftigen potenziellen Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) innerhalb des Fahrzeugs Fahrerhinweise ausgegeben werden. Erfindungsgemäß werden Manöroptionen des Fahrzeugs und der anderen Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) anhand von deren probabilistisch erkannten Absichten prognostiziert, wobei anhand der Manöroptionen mehrere konkurrierende Situationshypothesen zwischen dem Fahrzeug und allen relevanten anderen Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) ermittelt werden. Dabei wird für jede Situationshypothese eine Risikobewertung (RB) einer jeweiligen potentiellen oder realen Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr anhand logischer Kontext-Regeln durchgeführt. Zusätzlich werden Bewegungshypothese-Trajektorie-Bündel prognostiziert und für eine Ermittlung einer Wahrscheinlichkeit einer realen Kollision zusammen mit einem Bewegungsspielraum zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern verwendet. Die Situationshypothesen werden anhand der Absichten in Abhängigkeit der jeweiligen realen oder akuten Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr mit oder ohne Bewegungsspielraum zur Situationsentschärfung hierarchisch in einer Prioritätsliste (PL) geordnet. Weiterhin wird der Fahrer des Fahrzeugs in Abhängigkeit der Prioritätsliste (PL) und eines ermittelten Fahrerzustands (FZ) des Fahrers und/oder von Fahrervoreinstellungen in mehreren Eskalationsstufen mittels der Fahrerhinweise informiert, gewarnt und/oder mittels eines automatischen Eingriffs in eine Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs unterstützt, wobei die Information (Inf), Warnung (W1 bis W3) und der automatische Eingriff für die Situation erfolgt, welche eine Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr mit der höchsten Priorität in der Prioritätsliste (PL) und eine daraus folgende höchste Kritikalität aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs, wobei in Abhängigkeit einer prognostizierten zukünftigen potenziellen Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern innerhalb des Fahrzeugs Fahrerhinweise ausgegeben werden.

[0002] In der noch nicht veröffentlichten DE 10 2011 120 117.7 wird ein Verfahren zur optischen Signalisierung einer potenziellen Gefahr einer Kollision zwischen einem Fahrzeug und einem anderen Verkehrsteilnehmer für einen Fahrer eines Fahrzeugs beschrieben, wobei ein Grad einer Ablenkung des Fahrers aufgrund von Ergebnissen einer Fahrerbeobachtung unter Verwendung einer fahrzeuginternen Kamera und aus Bedienhandlungen des Fahrers ermittelt wird. Unter Verwendung von Sensordaten werden ein Zustand des Fahrzeugs sowie ein Ort und eine Bewegung von anderen Verkehrsteilnehmern festgestellt, wobei aufgrund des Zustands des Fahrzeugs, des Orts und, der Bewegung der anderen Verkehrsteilnehmer eine Prognose einer zukünftigen potenziellen Gefahr einer Kollision zwischen dem Fahrzeug und einem anderen Verkehrsteilnehmer erstellt wird. Wenn ein festgestellter Grad der Ablenkung des Fahrers und ein prognostizierter Grad der potenziellen Gefahr einer Kollision zwischen dem Fahrzeug und einem anderen Verkehrsteilnehmer einen vorgebbaren Schwellwert überschreiten, wird ein für den Fahrer wahrnehmbarer Warnhinweis ausgegeben. Der Warnhinweis ist derart ausgestaltet, dass dem Fahrer eine Richtung angezeigt wird, in der sich relativ zum Fahrzeug voraus ein anderer, für die zukünftige potenzielle Gefahr einer Kollision zwischen dem Fahrzeug und dem Verkehrsteilnehmer ursächlicher Verkehrsteilnehmer befindet. Eine Art und Intensität des Warnhinweises ist abhängig vom Grad der potenziellen Gefahr der Kollision und einem Grad der Ablenkung des Fahrers.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs anzugeben.

[0004] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren gelöst, welches die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale aufweist.

[0005] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0006] In einem Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs werden in Abhängigkeit einer prognostizierten zukünftigen potenziellen Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrs-

teilnehmern innerhalb des Fahrzeugs Fahrerhinweise ausgegeben.

[0007] Dabei ist das Fahrzeug einer der Verkehrsteilnehmer.

[0008] Es wird eine probabilistische Risikobewertung in Raum-Zeit anhand konkurrierender Situationshypothesen zwischen einem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern kognitiv durchgeführt. Dabei wird eine potentielle Kollisionsgefahr anhand von probabilistisch erkannten Manöverabsichten des Fahrzeugs und den anderen Verkehrsteilnehmern bewertet. Gleichzeitig wird die jeweilige reale Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr in entsprechenden Konfliktbereichen ermittelt, wobei für jede Situationshypothese eine Risikobewertung anhand logischer Kontext-Regeln, inklusive Vorrang-Regeln, durchgeführt wird. Parallel zu der Risikobewertung wird ein probabilistisches Verfahren zur Bestimmung der realen und akuten Kollisionsgefahr mit einer Ermittlung des Bewegungsspielraums ausgeführt. Dabei wird eine Vielzahl an fahrbaren Trajektorien des Fahrzeugs und der anderen Verkehrsteilnehmer (V_1 bis V_n) anhand deren statistischen Steuerprofile auf einem Zeit-Horizont von 2 Sekunden prognostiziert.

[0009] Anhand der Trajektorien werden mehrere konkurrierende Situationshypothesen zwischen dem Fahrzeug und allen relevanten anderen Verkehrsteilnehmern ermittelt und wird der vorhandene Bewegungsspielraum mit der entsprechenden Wahrscheinlichkeit ermittelt. Die derart erhaltenen probabilistischen Ereignisse aus den beiden Verfahren, Risikobewertung und Bewegungsspielraum, werden in Abhängigkeit der jeweiligen Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr hierarchisch in einer Prioritätsliste geordnet. Der Fahrer des Fahrzeugs wird in Abhängigkeit der Prioritätsliste und eines ermittelten Fahrerzustands des Fahrers in mehreren Eskalationsstufen mittels der Fahrerhinweise informiert, gewarnt und/oder mittels eines automatischen Eingriffs in eine Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs unterstützt, wobei die Information, die Warnung und der automatische Eingriff für die Situation erfolgt, welche eine Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr mit der höchsten Priorität in der Prioritätsliste und eine daraus folgende höchste Kritikalität aufweist.

[0010] Das Verfahren ermöglicht in besonders vorteilhafter Weise eine parallele Auswertung von konkurrierenden Situationshypothesen zwischen allen relevanten Objekten einer Situation. Dabei eignet sich das Verfahren trotz verschiedener Dynamikunterschiede zur Anwendung bei Quer-, Gegen- und Längsverkehr, da die Risikobewertung einer jeweiligen Situation unter logischen Kontext-Regeln erfolgt, welche insbesondere Vorrang- und Verkehrsregeln, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Anzeigezuständen

von Lichtzeichenanlagen und veränderlichen Verkehrszeichen sowie eine Topographie und Topologie einer entsprechenden digitalen Straßenkarte umfassen. Die Kontext-Regeln sind dabei in so genannten objektorientierten Bayes-Netzwerken integriert, wobei die Situationshypothese insbesondere anhand dieser objektorientierten Bayes-Netzwerke ermittelt und ausgewertet werden. Darüber hinaus kann aufgrund der probabilistisch ermittelten Fahrerabsichten für die Risikobewertung und anhand der Kollisionsgefahr mit Bewegungsspielraum und der Generierung der probabilistischen und hierarchisch geordneten Prioritätsliste der Kollisionsgefahren und/oder Folgekollisionsgefahren sowie der Kombination dieser Prioritätsliste mit dem Fahrerzustand vermieden werden, dass unnötige und den Fahrer irritierende Informationen und Warnungen ausgegeben werden.

[0011] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0012] Dabei zeigen:

[0013] [Fig. 1](#) schematisch eine erste Verkehrssituation zwischen mehreren Verkehrsteilnehmern mit deren Manöroptionen in einem Straßenkreuzungsbereich,

[0014] [Fig. 2A](#) schematisch eine zweite Verkehrssituation zwischen zwei sich entgegenkommenden Fahrzeugen sowie Mengen von Bewegungshypothese-Trajektorien der Fahrzeuge,

[0015] [Fig. 2B](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines ersten Fahrzeugs gemäß [Fig. 2A](#),

[0016] [Fig. 2C](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines zweiten Fahrzeugs gemäß [Fig. 2A](#),

[0017] [Fig. 3A](#) schematisch eine dritte Verkehrssituation zwischen zwei sich entgegenkommenden Fahrzeugen sowie Mengen von Bewegungshypothese-Trajektorien der Fahrzeuge,

[0018] [Fig. 3B](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines ersten Fahrzeugs gemäß [Fig. 3A](#),

[0019] [Fig. 3C](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines zweiten Fahrzeugs gemäß [Fig. 3A](#),

[0020] [Fig. 4A](#) schematisch eine vierte Verkehrssituation zwischen zwei in gleicher Richtung nebeneinander fahrenden Fahrzeugen sowie Mengen von Bewegungshypothese-Trajektorien der Fahrzeuge,

[0021] [Fig. 4B](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines ersten Fahrzeugs gemäß [Fig. 4A](#),

[0022] [Fig. 4C](#) schematisch eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung und einer Lenkrate eines zweiten Fahrzeugs gemäß [Fig. 4A](#)

[0023] [Fig. 5](#) schematisch eine Ermittlung von Fahrerabsichten aus verschiedenen Daten,

[0024] [Fig. 6](#) schematisch eine fünfte Verkehrssituation mit mehreren Fahrzeugen,

[0025] [Fig. 7](#) schematisch einen Risikobewertungsverfahrensablauf zur Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen zwei Fahrzeugen und eine Ausgabe einer Information in einer ersten Eskalationsstufe und einer ersten Warnung in einer zweiten Eskalationsstufe,

[0026] [Fig. 8](#) schematisch einen Verfahrensablauf eines Verfahrens zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs und

[0027] [Fig. 9](#) schematisch einen Verfahrensablauf zur Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen zwei Fahrzeugen und eine Information, zwei vorbereitende Warnungen und eine letzte Warnung vor einem Eingriff in eine Längs- oder Quersteuerung eines Fahrzeugs in Abhängigkeit der Kollisionswahrscheinlichkeit in mehreren Eskalationsstufen.

[0028] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0029] In [Fig. 1](#) ist eine erste Verkehrssituation zwischen mehreren Verkehrsteilnehmern V1 bis V12 mit deren Manöroptionen in einem Straßenkreuzungsbereich dargestellt. Für alle in den folgenden Figuren beschriebenen Sachverhalte gilt, dass einer der dargestellten Verkehrsteilnehmer das eigene Fahrzeug im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens darstellt.

[0030] Die Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 umfassen Fahrzeuge (Verkehrsteilnehmer V1 bis V4), gefährdete oder gefährdende Fußgänger (Verkehrsteilnehmer V5 bis V8) und Radfahrer (Verkehrsteilnehmer V9 bis V12). Die Fahrzeuge (Verkehrsteilnehmer V1 bis V4) umfassen Motorräder, Personenkraftwagen, Lastkraftwagen, Busse und Lieferwagen. Die

Radfahrer bewegen sich insbesondere auf neben der Fahrbahn befindlichen Radwegen.

[0031] Der Straßenkreuzungsbereich stellt eine einfache "4-Weg"-Kreuzungstopologie dar und hat eine Zufahrtspur je Richtung. Das im Folgenden beschriebene Verfahren ist generisch und erweiterbar auf Kreuzungen mit beliebiger Topologie und Geometrie, da eine entsprechende Kontext-Information aus einer digitalen Straßenkarte des Straßenkreuzungsbereichs entnommen wird und in einer Struktur von objektorientierten Bayes-Netzwerken integriert wird, um entsprechende Manöveroptionen zu ermitteln.

[0032] Bei einer Ermittlung einer Größe von Gefahren der ersten Verkehrssituation wird mittels eines wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahrens eine kognitive Bewertung von potenziellen und realen Gefahren der aktuellen Verkehrssituation durchgeführt, wobei im vorliegenden Ausführungsbeispiel in einem wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren ein objektorientiertes Bayes-Netzwerk verwendet wird.

[0033] Die Ermittlung einer in den [Fig. 7](#) und [Fig. 9](#) näher dargestellten Kollisionsgefahr DA zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis V12 erfolgt mittels des in der noch nicht veröffentlichten DE 10 2011 113 019 beschriebenen Verfahrens, hier mit dem Begriff „Risikobewertung in Raum-Zeit“ referenziert.

[0034] Die Fahroptionen der Fahrzeuge und die Bewegungsoptionen der ungeschützten Verkehrsteilnehmer werden allgemein als Manöveroptionen oder mögliche Manöver-Tracks gekennzeichnet. Die Manöveroptionen werden kognitiv anhand von Kontext-Informationen aus der digitalen Karte, aus Bewegungsmustern und Bewegungsmerkmalen erkannt. Ein Trajektorien-Bündel, synonym die Menge von Bewegungshypothese-Trajektorien, wird mit physikalischen Modellen prognostiziert. Beispielsweise wird für diese Prognose das „Einspur-Modell“, angewandt auf die Menge statistisch ermittelter Steuergrößen, wie Längsbeschleunigung und Lenkrate, verwendet. Die Manöveroptionen dagegen definieren alle prinzipiell mögliche Bewegungen auf einem Fahrbahntyp. Beispielsweise sind die möglichen Manöveroptionen für die ungeschützten Verkehrsteilnehmer vor eine Kreuzung: Warten an einer Ampel, an einem Fußgängerübergang bzw. Fahrbahn überqueren von X nach Y-Straßenseite. Die möglichen Manöveroptionen für die Fahrzeuge vor eine Kreuzung sind: Warten an der Ampel, an der Stopp-Linie oder an der Sicht-Linie bzw. Fahren in Richtung links/rechts/gerade wie durch die Kreuzungstopologie definiert. Auf einer Straße mit mehreren Spuren sind die möglichen Manöveroptionen für das eigene bzw. Objektfahrzeug: Spur folgen, Ausscheren von der aktuell belegten Spur nach links/rechts bzw. Einscheren in die Nachbarspur nach links/rechts, Objekt folgen, Ein-

fädeln in den schnelleren Verkehrsfluss von einer Zubringerspur bzw. Ausfädeln aus dem schnelleren Verkehrsfluss auf eine Abfahrtspur.

[0035] Die Ermittlung der Manöveroptionen erfolgt dabei auf der Grundlage von Absichten der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12, welche im dargestellten Straßenkreuzungsbereich in [Fig. 1](#) möglich sind. Hierbei werden mögliche beabsichtigte Manöver-Tracks (für den Straßenkreuzungsbereich) MT1 bis MT12 der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 berücksichtigt, wobei die Manöver-Tracks MT1 bis MT12 aus vergangenheitsbezogenen, aktuellen und prognostizierten Trajektorien der jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 erzeugt werden. Die prognostizierten Trajektorien werden ähnlich dargestellt wie die Konflikt-darstellungs-Trajektorien einer Kreuzung, d. h. entsprechend den geltenden Regeln für das verkehrstechnische Design von Phasen-Zwischenzeiten von Ampelanlagen. Die so dargestellten repräsentativen Manöver-Tracks werden als repräsentative Spuren beim Abbiegen oder Überqueren einer Kreuzung genutzt. Zusätzlich werden die repräsentativen Manöver-Tracks als Referenz für die spurgenaue Lokalisierung bzw. das Tracking der Fahrzeuge während ihrer Fahrt durch den Kreuzungsbereich verwendet. Weiterhin werden Lage- und Bewegungsbeziehungen der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 zueinander berücksichtigt. Diese Beziehungen sind auch in der digitalen Straßenkarte enthalten.

[0036] Die Ermittlung der Manöveroptionen auf anderen Fahrbahntypen mit Längs- und Gegenverkehr erfolgt auch auf der Grundlage von möglichen Absichten der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 auf den entsprechenden Fahrbahntypen. Dabei werden die Fahrerabsichten anhand von verschiedenen Daten, wie in [Fig. 5](#) dargestellt, kognitiv erkannt. Die kognitive Erkennung der Fahrerabsichten FA der Fahrer der Fahrzeuge erfolgt auf der Basis von Positionsdaten der Verkehrsteilnehmer V1, V2, Bewegungsdaten der Verkehrsteilnehmer V1, V2 und Umgebungsinformationen der Verkehrsteilnehmer V1, V2. Die Fahrerabsichtserkennung wird mittels eines wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahrens durchgeführt, wobei im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein objektorientiertes Bayes-Netzwerk verwendet wird.

[0037] Die so erkannten Fahrerabsichten werden paarweise kombiniert, um alle möglichen gegenseitigen Schnittpunkte der aktuellen Manöver-Absichtsoptionen je Verkehrsteilnehmer zu ermitteln.

[0038] Insbesondere, wie in [Fig. 7](#) gezeigt, erfolgt in einem ersten Schritt der kognitiven Bewertung eine probabilistische Interpretation der Manöverabsichten aller Beteiligten in der Verkehrssituation, in einem zweiten Schritt eine probabilistische Hypothesenschätzung von Basis-hypothesen zur Schätzung von gegenseitigen Schnittpunkten der beabsichtigten

Manöver der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 und von der Belegung der gleichen Konfliktbereiche durch die Verkehrsteilnehmer V1 bis V12. Der zweite Schritt berechnet die potentielle Kollisionsgefahr im Raum. In einem dritten Schritt wird zusätzlich die gleichzeitige Belegung der Konfliktbereiche berücksichtigt, um eine probabilistische Hypothesenschätzung der Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr jeweils für den sich in relativer Bewegung zu dem eigenen Fahrzeug befindlichen Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 abzuleiten.

[0039] Die oben beschriebene probabilistische Hypothesenschätzung wird insbesondere in Abhängigkeit von Verkehrsregeln, von Anzeigezuständen von Lichtzeichenanlagen und veränderlichen Verkehrszeichen, von absoluten Positionen der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12, von relativen Positionen der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 zueinander und von beabsichtigten Manöver-Tracks MT1 bis MT12 der Verkehrsteilnehmer V1 bis V12 ausgeführt und liefert als Ergebnis die kontext-bezogene Risikobewertung in Raum-Zeit.

[0040] Die Ermittlung der realen Kollisionsgefahr mit Bewegungsspielraum bzw. der akuten Kollisionsgefahr ohne Bewegungsspielraum, d. h. mit Bedarf für extreme Manöver, erfolgt mittels des Verfahrens der noch nicht veröffentlichten DE 10 2012 005 272, das hier mit dem Begriff „Feel-Safe-Zone“ referenziert wird. Damit wird die Kollisions-Vermeidung bzw. -Entschärfung verfolgt.

[0041] [Fig. 2A](#) zeigt eine zweite Situation zwischen zwei sich entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern V1, V2, welche als sich in relativer Bewegung zueinander befindliche Fahrzeuge ausgebildet sind. Weiterhin sind den Verkehrsteilnehmern V1, V2 zugehörige Mengen M1, M2 von Bewegungshypothese-Trajektorien T_{1_1} bis T_{m_1} , T_{1_2} bis T_{n_2} dargestellt. Die Verkehrsteilnehmer V1, V2 bewegen sich beispielsweise innerhalb einer geschlossenen Ortschaft mit Geschwindigkeiten zwischen 30 km/h und 50 km/h in einem Straßenkreuzungsbereich.

[0042] Zur Ermittlung einer in den [Fig. 2B](#) und [Fig. 2C](#) näher dargestellten Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ der Situation zwischen den Verkehrsteilnehmern V1, V2 werden zukünftige Bewegungstrajektorien der Verkehrsteilnehmer V1, V2 prognostiziert, indem die Bewegungshypothese-Trajektorien T_{1_1} bis T_{m_1} , T_{1_2} bis T_{n_2} der Verkehrsteilnehmern V1, V2 erzeugt werden. Die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ gibt dabei eine Wahrscheinlichkeit an, mit welcher eine Kollision K zwischen den Verkehrsteilnehmern V1, V2 stattfindet und entspricht dabei der in der zweiten Verfahrensstufe ermittelten „Feel-Safe-Zone“ mit den verfügbaren Steuergrößen, Beschleunigung und Lenkrate, für die aktuell analysierte Situation.

[0043] Die Ermittlung der Positionsdaten für beide Verfahren („Risiko Bewertung in Raum-Zeit“ DE 10 2011 113 019 und „Feel-Safe-Zone“ DE 10 2012 005 272) erfolgt anhand von Lokalisierungsverfahren, wobei im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein globales Positionsbestimmungssystem, beispielsweise dGPS (differential GPS), oder eine digitale Karte mit Landmarken verwendet wird. Diese Lokalisierungsverfahren liefern eine spurgenaue Lokalisierung der Fahrzeuge (im Zentimeter-Bereich bei dGPS bis ca. 30 cm bei der digitalen Karte). Die Genauigkeit für die Lokalisierung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern ist in der Größenordnung von 30 cm, während die Genauigkeit für deren Absichtserkennung im Zentimeter-Bereich liegt, um Bewegungsmuster erkennen zu können. Diese Genauigkeit ist wichtig für die Erkennungsleistung einer zuverlässigen V2X-(V2X = vehicle-to-vehicle und vehicle-to-infrastructure)-Kommunikationslösung für Situationsinterpretation und Gefahrenbewertung für die Steigerung der Verkehrssicherheit in gleichem Maße wie für die Fahrerakzeptanz des Fahrerassistenz-Systems. Weitere alternative Technologien für spurgenaue Lokalisierung, neben der Anwendung von digitaler Karte und Landmarken, sind tightly coupled GNSS/INS, kooperative GNSS (Global Navigation Satellite System) bzw. Triangulationsverfahren mit zwei Referenzsendern. Diese sichern eine Genauigkeit von mindestens 0.3 m, welche lateral ausreichend für die spurgenaue Lokalisierung ist.

[0044] Die Ermittlung der Bewegungsdaten erfolgt ebenfalls anhand des globalen Positionsbestimmungssystems und/oder mittels fahrzeugeigener Sensorik, beispielsweise mittels zumindest eines Geschwindigkeitssensors, Lenkratensensors, Gieratensensors, Beschleunigungssensors, einer Umgebungserfassungseinheit und/oder eines Kompasses.

[0045] Die Umgebungsinformationen der Verkehrsteilnehmer V1, V2 werden mittels der zumindest einen Umgebungserfassungseinheit erfasst. Diese Umgebungserfassungseinheit ist eine Bilderfassungseinheit, beispielsweise eine fahrzeugeigene und/oder eine oder mehrere infrastruktur-gebundene Kamera/s, welche nach der Datenfusion einen Erfassungsbereich von insbesondere 360° aufweist. Alternativ oder zusätzlich, insbesondere zur Realisierung fehlender Daten zur Erzeugung des Erfassungsbereichs von 360°, werden die Umgebungsinformationen aus Kartendaten einer digitalen Straßenkarte, aus kommunizierten Daten aus einer ITS-standardisierten Cooperative Awareness Message, einer Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation und/oder einer Verkehrsteilnehmer-zu-Verkehrsteilnehmer-Kommunikation bzw. einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation ermittelt. Aus den Umgebungsinformationen wird wiederum abgeleitet, ob sich in

der Umgebung der Verkehrsteilnehmer V1, V2 Gefahrenstellen und/oder Konfliktbereiche befinden.

[0046] Zur Ermittlung der Fahrerabsichten werden die Verkehrsteilnehmer V1, V2 auf ihrer Fahrspur lokalisiert. Dabei werden eine relative Geschwindigkeit eines vorausfahrenden Verkehrsteilnehmers V1, V2 auf der gleichen Fahrspur zusammen mit einer relativen Geschwindigkeit eines nachfolgenden Verkehrsteilnehmers V1, V2 auf der gleichen Fahrspur und einer relativen Geschwindigkeit eines entgegenkommenden, parallel fahrenden oder überholenden Verkehrsteilnehmers V1, V2 auf einer benachbarten Fahrspur oder der gleichen Fahrspur berücksichtigt. Auch werden die Fahrerabsichten aus Bewegungsmustern und Lichtzeichen, wie beispielsweise aus einer Aktivierung eines Fahrtrichtungsanzeigers, abgeleitet.

[0047] Zur Ermittlung der Absichten der ungeschützten Verkehrsteilnehmer, werden die gefährdeten oder gefährdenden Fußgänger (Verkehrsteilnehmer V5 bis V8) und Radfahrer (Verkehrsteilnehmer V9 bis V12) auf dem entsprechenden Segment der Straße bzw. der Kreuzung lokalisiert. Aus Klassifizierungsalgorithmen werden deren Bewegungsmerkmale, wie Bewegungsrichtung, Orientierung und relative Geschwindigkeit, abgeleitet von den lokal fusionierten Daten und/oder durch V2X-kommunizierte Daten. Diese Merkmale werden benutzt in Kombination mit den Verkehrsregeln (Verkehrszeichen und Verkehrsampeln) als Eingangsdaten für die Absichterkennung der ungeschützten Verkehrsteilnehmer. Daraus werden deren möglichen Bewegungsoptionen, im allgemeinen Manöveroptionen genannt, abgeleitet.

[0048] Die möglichen gegenseitigen Schnittpunkte der Manöveroptionen stellen Positionen potenzieller Kollisionen K zwischen den in den Konfliktbereichen erwarteten und paarweise betrachteten Verkehrsteilnehmern V1 ... Vn dar, so dass anhand der Schnittpunkte in der ersten Verfahrensstufe weiterhin die potenzielle Kollisionsgefahr K und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 ... Vn paarweise ermittelt werden.

[0049] Die Risikobewertung wird abgeleitet aus der kognitiven Kombination der Ereignisse: Potenzielle Kollisionsgefahr, gleichzeitige Belegung der Konfliktbereiche und Befolgung von Vorrangregeln. Sie wird als Hinweis an die reale Kollisionsgefahr und/oder Folgekollisionsgefahr in Raum-Zeit berücksichtigt.

[0050] In einer zeitlich nach der ersten Verfahrensstufe „Risikobewertung in Raum-Zeit“ folgenden zweiten Verfahrensstufe „Feel-Safe-Zone“ werden anhand der ermittelten realen Kollisionsgefahr K mögliche kollisionsfreie Bewegungshypothese-Trajektorie-Paare der Verkehrsteilnehmer V1, V2 er-

mittelt und bewertet. Die möglichen kollisionsfreien Bewegungshypothesen-Trajektorien-Paare der Verkehrsteilnehmer V1, V12 stellen dabei Manöveroptionen der Verkehrsteilnehmer V1, V12 für die jeweilige Situation dar, welche ohne Kollision K durchgeführt werden können. Diese werden als Eingangsgrößen der kollisionsfreien Fahrbahnplanung verwendet.

[0051] Bei der Bewertung der kollisionsfreien Bewegungshypothesen-Trajektorien-Paare werden die jeweiligen Bewegungsspielräume zwischen den Verkehrsteilnehmern V1, V12 ermittelt und in Abhängigkeit einer Größe des jeweiligen Bewegungsspielraums wird die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ ermittelt. Bei der Bewertung der Bewegungsspielräume wird ein in [Fig. 9](#) gezeigter Fahrzustand FZ und/oder eine Fahrer-Voreinstellung berücksichtigt, wobei zur Ermittlung des Fahrzustands FZ ein Aufmerksamkeitsgrad, ein Ablenkungsgrad, ein Müdigkeitsgrad, Stress und/oder Vitalparameter des Fahrers erfasst werden. Die Fahrer-Voreinstellung beinhaltet den allgemeinen Wunsch des Fahrers selbstständig oder mit Unterstützung des Fahrerassistenzsystems einer aktuell erfassten Situation, bei der ein Bewegungsspielraum vorhanden ist, zu begegnen. Dabei unterscheidet das System ob ein Bewegungsspielraum, ohne- bzw. mit extremen Manövern, vorhanden ist. Falls der berechnete Bewegungsspielraum einen anderen Verkehrsteilnehmer (auf komfortable und sichere Art) zu passieren erlaubt und die Fahrer-Voreinstellung den Wunsch auf selbstständige Steuerung beinhaltet, wird dem Fahrer die Möglichkeit gegeben, selbst ein Korrekturmanöver durchzuführen, nachdem die zweite System-Warnung ausgegeben wurde. Falls der Fahrer korrekt handelt, ist die Situation entschärft, ohne Bedarf für eine Systemintervention. Falls der Fahrer nicht korrekt handelt, d. h. der vorhandene Bewegungsspielraum nicht ausgenutzt wird, bzw. die Voreinstellung auf „Systemunterstützung bei Kollisionsgefahr“ ist oder falls kein Bewegungsspielraum vorhanden ist, wird eine dritte Warnung ausgegeben gefolgt von einer Systemintervention, die eine Kollision verhindert oder entschärft.

[0052] Die Ermittlung der Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ sowie der Bewegungsspielräume, hier als „Feel-Safe-Zone“ referenziert, wird anhand eines stochastischen Modells gemäß dem in der DE 10 2011 106 176 A1 beschriebenen Verfahren und/oder gemäß der noch nicht veröffentlichten DE 10 2012 005 272 durchgeführt. Somit basiert die Gefahrenbewertung auf einer Prognose von allen möglichen fahrbaren und steuerbaren Trajektorien für die Verkehrsteilnehmer V1 bis V12. Die Prognose weist insbesondere eine Vorlaufzeit von 2 s auf. Mit anderen Worten: Die prognostizierten Trajektorien sind 2 s vor Eintritt des wirklichen Ereignisses bekannt.

[0053] Das bedeutet – die Kombination der beiden Verfahren – „Risikobewertung in Raum-Zeit“ und die Berechnung der Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ und verfügbarer Bewegungsspielräume (d. h. „Feel-Safe-Zone“) – liefert die übergreifende kontextabhängige Ableitung der realen Kollisionsgefahr mit dem verfügbaren Bewegungsspielraum für die Kollisionsvermeidung. Beide Verfahren – Risikobewertung der potentiellen und realen Kollisionsgefahr sowie „Feel-Safe-Zone“ zur Ermittlung der realen und akuten Kollisionsgefahr mit dem verfügbaren Bewegungsspielraum – laufen parallel zur Situationsanalyse im Quer-, Längs- und Gegenverkehr. Beide Verfahren liefern zu verschiedene Zeitpunkten die Trigger für die vier Eskalationstufen des Systems: Information, Warnungen (W1 bis W3) und/oder aktive Intervention/Eingriff in die Längs- bzw. Querdynamik.

[0054] Bei der Ermittlung der Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ wird bei der dargestellten Situation ein Handeln beider Verkehrsteilnehmer V1, V2 im Gegenverkehr, insbesondere innerhalb geschlossener Ortschaften in beliebigen Geschwindigkeitsbereichen berücksichtigt. Ferner werden Überholmanöver mit und ohne Gegenverkehr sowie ein Ausscheren und Einscheren, Einfädeln/Ausfädeln, bzw. ein Spurwechsel sowohl innerhalb geschlossener Ortschaften als auch außerhalb geschlossener Ortschaften auf Autobahnen, Kraftfahrtstraßen und Landstraßen berücksichtigt. Auch werden gekrümmte Straßenprofile berücksichtigt, wobei die Krümmung der Straßenprofile insbesondere aus der Gierrate des jeweiligen als Fahrzeug abgebildeten Verkehrsteilnehmers V1, V2 abgeleitet wird.

[0055] [Fig. 2B](#) zeigt eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit einer Längsbeschleunigung a und einer Lenkrate l des ersten Verkehrsteilnehmers V1. Die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung ist dabei in vier Gefahrenbereiche B1 bis B4 unterteilt, wobei die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ vom ersten Gefahrenbereich B1 bis zum vierten Gefahrenbereich B4 zunimmt. Dabei beträgt die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ im ersten Gefahrenbereich B1 insbesondere bis zu 25%, im zweiten Gefahrenbereich B2 25% bis 50%, im dritten Gefahrenbereich B3 50% bis 75% und im vierten Gefahrenbereich B4 75% bis 100%.

[0056] Aus der Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung wird ersichtlich, dass bei zunehmender Beschleunigung a und einer zunehmenden Lenkrate l in eine linke Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem zweiten Verkehrsteilnehmer V2 ansteigt.

[0057] In [Fig. 2C](#) ist die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung der gleichen Situation für den zweiten Verkehrsteilnehmer V2 dargestellt. Auch hierbei ist die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in die

vier Gefahrenbereiche B1 bis B4 unterteilt. Es wird ersichtlich, dass bei zunehmender Beschleunigung a und einer zunehmenden Lenkrate l in eine linke Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem ersten Verkehrsteilnehmer V1 ansteigt.

[0058] In [Fig. 3A](#) ist eine dritte Verkehrssituation zwischen zwei sich entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern V1, V2 dargestellt. Im Unterschied zu der in [Fig. 2A](#) dargestellten zweiten Verkehrssituation bewegen sich die Verkehrsteilnehmer V1, V2 auf einer zweispurigen Fahrbahn aufeinander zu.

[0059] Die [Fig. 3B](#) und [Fig. 3C](#) zeigen die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilungen der Verkehrsteilnehmer V1, V2 in Abhängigkeit der Längsbeschleunigung a und der Lenkrate l , wobei bei zunehmender Beschleunigung a und einer zunehmenden Lenkrate l des ersten Verkehrsteilnehmers V1 in eine linke Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem zweiten Verkehrsteilnehmer V2 ansteigt und bei zunehmender Beschleunigung a und einer zunehmenden Lenkrate l des zweiten Verkehrsteilnehmers V2 in eine linke Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem ersten Verkehrsteilnehmer V1 ansteigt.

[0060] [Fig. 4A](#) zeigt eine vierte Situation zwischen zwei in gleicher Richtung nebeneinander fahrenden Verkehrsteilnehmern V1, V2, d. h. sich in relativer Bewegung zueinander befindlichen Fahrzeugen, sowie den Verkehrsteilnehmern V1, V2 zugehörige Mengen $M1, M2$ von Bewegungshypothese-Trajektorien T_{11} bis T_{m1} , T_{12} bis T_{n2} . Die Verkehrsteilnehmer V1, V2 bewegen sich beispielsweise auf einer Autobahn, Kraftfahrtstraße oder Landstraße. Eine derartige dargestellte Situation ergibt sich beispielsweise bei Ausscher- und Einschermanövern, bei Ausfädel- und Einfädelmanövern an Aus- und Einfahrten sowie bei Spurwechselmanövern auf den genannten Straßentypen, wobei derartige Spurwechselmanöver in [Fig. 6](#) näher dargestellt sind.

[0061] Die Ermittlung der in den [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) näher dargestellten Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ dieser Situation zwischen den Verkehrsteilnehmer V1, V2 erfolgt analog zu der in [Fig. 2A](#) dargestellten Situation.

[0062] In [Fig. 4B](#) ist eine Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in Abhängigkeit der Längsbeschleunigung a und der Lenkrate l des ersten Verkehrsteilnehmers V1 dargestellt. Die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung ist dabei in die vier Gefahrenbereiche B1 bis B4 unterteilt, wobei die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ vom ersten Gefahrenbereich B1 bis zum vierten Gefahrenbereich B4 zunimmt. Dabei beträgt die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ im ersten Gefahrenbereich B1 insbesondere bis zu 25%, im

zweiten Gefahrenbereich B2 25% bis 50%, im dritten Gefahrenbereich B3 50% bis 75% und im vierten Gefahrenbereich B4 75% bis 100%.

[0063] Aus der Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung wird ersichtlich, dass mit abnehmender Beschleunigung a , insbesondere bei einer negativen Beschleunigung a , und in Abhängigkeit einer zunehmenden Lenkrate l in eine linke Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem zweiten Verkehrsteilnehmer $V2$ ansteigt.

[0064] [Fig. 4C](#) zeigt die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung der gleichen Situation für den zweiten Verkehrsteilnehmer $V2$. Auch hierbei ist die Gefahrenwahrscheinlichkeitsverteilung in die vier Gefahrenbereiche B1 bis B4 unterteilt. Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass ebenfalls bei abnehmender, insbesondere negativer Beschleunigung a , jedoch bei einer zunehmenden Lenkrate l in eine rechte Richtung die Gefahrenwahrscheinlichkeit $P(C)$ einer Kollision K mit dem ersten Verkehrsteilnehmer $V1$, $V2$ ansteigt.

[0065] In [Fig. 5](#) ist schematisch eine Ermittlung von Fahrerabsichten FA aus verschiedenen Daten dargestellt. Die Fahrerabsichten FA umfassen eine Absicht eines jeweiligen Fahrers zur Durchführung von Einscher- und/oder Ausschervorgängen EA , Einfädel- und/oder Ausfädelvorgängen EA , Spurwechselvorgängen S und Überholvorgängen U .

[0066] Diese Fahrerabsichten FA werden in dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Situationsanalyse der Einscher- und/oder Ausschervorgänge EA von in [Fig. 6](#) näher dargestellten und jeweils als Fahrzeug ausgebildeten Verkehrsteilnehmern $V1$ bis Vn verwendet.

[0067] Hierbei werden mittels des objektorientierten Bayes-Netzwerks eine laterale Evidenz, die Trajektorien der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn und objektorientierte dynamische Gitter dG probabilistisch kombiniert, um die Manöverabsichten des Fahrers zu ermitteln. Hierfür wird die laterale Evidenz ermittelt anhand folgender Merkmale: Abstand zur Spurmarkierung und Quergeschwindigkeit. Die Trajektorie wird berechnet anhand der Merkmale: Zeit zur Überquerung der Spurmarkierung, maximal ausgenutzte Beschleunigung und Spurwinkelfehler. Die Belegung der dynamischen Gitter dG wird ermittelt durch die Belegungszeit einer Zelle sowie durch der Abstand von der aktuellen Position des Verkehrsteilnehmers bis zu einem Eintritt in die Zelle bzw. bis zu einem Austritt aus der Zelle. Ein objektorientiertes dynamische Gitter dG ist ebenfalls in [Fig. 6](#) näher dargestellt.

[0068] Weiterhin werden als Kontextinformationen aus einer digitalen Straßenkarte eines Straßensegments $SS1$ bis SSu , auf welchem sich der jeweilige

Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn befindet, aus Signalen von nicht gezeigten fahrzeugseitigen Sensoren der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn und aus Daten einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und/oder einer Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern $V1$ bis Vn selbst und/oder zwischen den Verkehrsteilnehmern $V1$ bis Vn und einer Infrastruktur ein in [Fig. 7](#) gezeigter Bewegungszustand $BZ1$ bis BZn der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn , ein Steuerzustand $SZ1$ bis SZn der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn , ein Fahreraktivitätszustand $FAZ1$ bis $FAZn$ und Ereignisnachrichten EN ermittelt. Die Straßensegmente $SS1$ bis SSu werden als dynamische Belegungsgitter zentriert um jeweils einen Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn durch das objektorientierte dynamische Gitter dG gebildet und sind ebenfalls in [Fig. 6](#) näher dargestellt. Die dynamischen Belegungsgitter bewegen sich dabei mit den Verkehrsteilnehmern $V1$ bis Vn mit.

[0069] Bei der Situationsanalyse wird aus den Kontextinformationen, der lateralen Evidenz, den Trajektorien der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn , den objektorientierten dynamischen Gittern dG , den Abständen, den relativen Ausrichtungen und den relativen Positionierungen der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn deren Manöverabsichten ermittelt.

[0070] Bei der Ermittlung der Kontextinformationen aus der digitalen Straßenkarte des Straßensegments $SS1$ bis SSu werden eine Topografie und Topologie des Straßensegments $SS1$ bis SSu , Verkehrszeichen, Verkehrsregeln und/oder Spurmarkierungen auf einer in [Fig. 6](#) dargestellten Fahrspur $FS1$ bis $FS4$ verwendet. Die aus der digitalen Straßenkarte ermittelten Kontextinformationen sind als Informationen $I1$ dargestellt und werden zur Ermittlung der Fahrerabsichten FA verwendet. Die Informationen $I1$ umfassen dabei insbesondere auch den Kontext darüber, ob es sich bei einer jeweils benachbarten Fahrspur $FS1$ bis $FS4$ um eine Einscher- und/oder Ausscherspur bzw. Einfädel- und/oder Ausfädelspur oder um eine Gegenverkehrspur handelt.

[0071] Bei der Ermittlung der Kontextinformationen mittels der fahrzeugseitigen Sensoren wird eine jeweilige Umgebung der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn in einem Erfassungsbereich von 360° , d. h. in einer Rundumsicht, erfasst. Dabei werden die in der Umgebung des jeweiligen Verkehrsteilnehmers $V1$ bis Vn vorhandenen weiteren Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn erfasst und es werden deren relative Positionen zueinander bestimmt. Aus diesen Kontextinformationen werden Positionen $POS1$ bis $POSn$ der Verkehrsteilnehmer $V1$ bis Vn auf deren Fahrspur $FS1$ bis $FS4$ ermittelt, welche wiederum zur Ermittlung der Fahrerabsichten FA verwendet werden.

[0072] Weiterhin werden mittels fahrzeugeigenen Sensoren und der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommuni-

kation und/oder der Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und/oder der Infrastruktur Positionen POS2 bis POSn, eine Geschwindigkeit und eine Ausrichtung der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn bezüglich deren Fahrspur FS1 bis FS4 ermittelt. Die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und/oder die Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation ermöglichen dabei die Erfassung gegebenenfalls fehlender Informationen zur Realisierung des Erfassungsbereichs von 360° und erlauben somit eine robuste Fusion der verschiedenen Daten zur Ermittlung der Kontextinformationen.

[0073] Aus diesen Daten werden wiederum die Bewegungszustände BZ1 bis BZn der einzelnen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn sowie relative Größen ermittelt, welche bei der Ermittlung der Fahrerabsichten FA verwendet werden.

[0074] Die relativen Größen umfassen ausgehend von einem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn eine zugehörige erste Relativgeschwindigkeit $v_{1,rel}$ eines vor dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn auf der gleichen Fahrspur FS1 bis FS4 fahrenden weiteren Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn und eine zweite Relativgeschwindigkeit $v_{2,rel}$ eines hinter dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn auf der gleichen Fahrspur FS1 bis FS4 fahrenden weiteren Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn oder eines dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn auf einer Nebenspur entgegenkommenden, parallel fahrenden oder überholenden weiteren Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn.

[0075] Weiterhin umfassen die relativen Größen eine erste relative Orientierung $O_{1,rel}$ des jeweiligen Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn zu dem auf der gleichen Fahrspur FS1 bis FS4 vor dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn fahrenden weiteren Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn und eine zweite relative Orientierung $O_{2,rel}$ des hinter dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn auf der gleichen Fahrspur FS1 bis FS4 fahrenden weiteren Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn oder des dem jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn auf einer Nebenspur entgegenkommenden, parallel fahrenden oder überholenden weiteren Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn.

[0076] Der Fahreraktivitätszustand FAZ1 bis FAZn der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn wird aus einer aktiven Route eines Navigationssystems, aktivierten Fahrtrichtungsanzeigern, eines aktivierten Warnblinklichts, einer Stellung eines Bremspedals, einer Stellung eines Fahrpedals und/oder einer Lenkradrate ermittelt und ebenfalls bei der Ermittlung der Fahrerabsichten FA berücksichtigt.

[0077] Ferner wird der Steuerzustand SZ1 bis SZn der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn bei der Ermittlung

der Fahrerabsichten FA berücksichtigt, wobei der jeweilige Steuerzustand SZ1 bis SZn aus einem Lenkwinkel, einer Beschleunigung und/oder einer Verzögerung der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt wird.

[0078] Die Ereignisnachrichten EN werden ebenfalls bei der Ermittlung der Fahrerabsichten FA berücksichtigt und aus Hindernissen und ungeschützten Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und deren Positionen auf den Fahrspuren FS1 bis FS4 ermittelt, wobei die Hindernisse und die ungeschützten Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn mit den fahrzeugeigenen Sensoren, der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und/oder der Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation ermittelt werden.

[0079] In [Fig. 6](#) ist eine fünfte Verkehrssituation mit mehreren Verkehrsteilnehmern, V1 bis Vn dargestellt.

[0080] In der dargestellten ersten Verkehrssituation bewegen sich alle Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in gleicher Richtung auf vier Fahrspuren FS1 bis FS4. Für die Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn stehen dabei je nach Fahrspur FS1 bis FS4 jeweils unterschiedliche Manöveroptionen zur Verfügung, wobei die Manöveroptionen die Einschere- und/oder Ausschervorgänge EA, die damit verbundenen Spurwechselvorgänge S, Überholvorgänge U und/oder Geradeausfahrvorgänge G umfassen. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit sind nicht alle Manöveroptionen mit Bezugszeichen versehen.

[0081] Bei den Geradeausfahrvorgängen G folgt der jeweilige Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn der Fahrspur FS1 bis FS4, in welcher er sich befindet. Einschervorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass ein Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in eine benachbarte Fahrspur FS1 bis FS4 wechselt und anschließend der jeweiligen Fahrspur FS1 bis FS4 folgt. Ausschervorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass ein Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn nach einem Geradeausfahrvorgang G in eine benachbarte Fahrspur FS1 bis FS4 wechselt. Ein Überholvorgang U ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn nach einem Spurwechselvorgang S in eine linke benachbarte Fahrspur FS1 bis FS4 wechselt, der jeweiligen Fahrspur FS1 bis FS4 folgt und anschließend einen Spurwechselvorgang S in eine benachbarte rechte Fahrspur FS1 bis FS4 vollzieht. Überholvorgänge von rechts ereignen sich nicht nach den Verkehrsregeln, allerdings werden sie auch berücksichtigt wegen des erhöhten Risikos für eine Kollision.

[0082] Einfädelvorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass ein Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn nach einem Geradeausfahrvorgang G auf eine Zubringerstraße in eine benachbarte Fahrspur FS1 bis FS4, bei der der Verkehr schneller fährt, sowohl innerhalb

geschlossener Ortschaften als auch außerhalb geschlossener Ortschaften auf Autobahnen, Kraftfahrstraßen und Landstraßen, wechselt.

[0083] Ausfädelvorgänge zeichnen sich dadurch aus, dass ein Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn nach einem Geradeausfahrvorgang G sowohl innerhalb geschlossener Ortschaften als auch außerhalb geschlossener Ortschaften auf Autobahnen, Kraftfahrstraßen und Landstraßen auf eine benachbarte Abfahrtspur FS1 bis FS4 wechselt, um seine Geschwindigkeit zu reduzieren, d. h. anzupassen an die Straßen mit langsamerem Verkehr.

[0084] Einige der oben genannten Straßentypen verwenden die gleiche Spur für beide Einfädel- und Ausfädelvorgänge, was mit deutlich erhöhtem Risiko einer Kollisionsgefahr verbunden ist.

[0085] Bei der Situationsanalyse und einer damit verbundenen, in [Fig. 7](#) gezeigten Risikobewertung RB der dargestellten fünften Verkehrssituation werden mittels des objektorientierten Bayes-Netzwerks die laterale Evidenz, Trajektorien der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, das objektorientierte dynamische Gitter dG zusammen mit den in [Fig. 5](#) dargestellten und beschriebenen Kontextinformationen, den Fahrabsichten FA probabilistisch ermittelt.

[0086] Innerhalb des objektorientierten dynamischen Gitters dG werden dabei insbesondere Fahrzeugdaten, wie beispielsweise eine jeweilige Länge, Breite und Höhe der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, deren Positionen POS1 bis POSn, ein absoluter Abstand der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn zueinander, Querbeschleunigungen der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn und Überquerungszeiten bis zum Überqueren von Spurmarkierungen der Fahrspuren FS1 bis FS4 ermittelt. Bei den Spurmarkierungen kann es sich um virtuelle Spurmarkierungen handeln, welche sich beispielsweise aus einem Verkehrsfluss verschiedener Gruppen der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ergeben, wobei zu diesem Zweck vorzugsweise die gesamte Fahrbahn mittels einer Kamera erfasst wird und die erfassten Bilder ausgewertet werden.

[0087] Weiterhin werden Konfliktbereiche K1 bis Ku in den Straßensegmenten SS1 bis SSu des objektzentrierten dynamischen Gitters dG ermittelt, wobei hierbei Zeitdauern zum Befahren eines neuen Straßensegments 551 bis SSu und somit eines Konfliktbereichs K1 bis Ku und zum Verlassen eines Straßensegments SS1 bis SSu und somit eines Konfliktbereichs K1 bis Ku ermittelt werden.

[0088] Eine Zellengröße der dynamischen Belegungsgitter, d. h. eine Größe der Straßensegmente SS1 bis SSu, wird in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn gewählt und somit variabel an unterschiedliche Verkehrssituatio-

nen und mögliche Gefahren angepasst. Auch wird ein Trend einer Teilbelegung der benachbarten Straßensegmente SS1 bis SSu in der Umgebung eines jeweiligen Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn ermittelt, wobei der Trend zur Plausibilisierung der jeweiligen Fahrerabsicht FA verwendet wird. Eine steigende Belegung der benachbarten Straßensegmente SS1 bis SSu bekräftigt beispielsweise die Fahrerabsicht FA. Das heißt, mittels der dynamischen Belegungsgitter wird eine Wahrscheinlichkeit zur gleichzeitigen Belegung der Straßensegmente 551 bis SSu des dynamischen Gitters dG durch mehrere Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt.

[0089] Dabei wird die Wahrscheinlichkeit zur gleichzeitigen Belegung der Straßensegmente 551 bis SSu anhand mehrerer Merkmale ermittelt.

[0090] Diese Merkmale umfassen eine erste relative Zeitdauer (dTTE) bis zu einer gleichzeitigen Belegung der Straßensegmente 551 bis SSu durch mehrere Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, wobei diese erste relative Zeitdauer (dTTE) von der jeweiligen Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn abhängig ist.

[0091] Die relative erste Zeitdauer (dTTE) ergibt sich gemäß folgender Gleichung aus der Differenz der jeweiligen Zeitdauern (TTE = time to enter) bis zur Belegung der Straßensegmente SS1 bis SSu beispielhaft für die Verkehrsteilnehmer V1 und V2:

$$dTTE = (TTE_{V1} - TTE_{V2}), \quad (1)$$

mit:

dTTE = relative erste Zeitdauer,
 TTE_{V1} = Zeitdauer für Verkehrsteilnehmer V1
 und
 TTE_{V2} = Zeitdauer für Verkehrsteilnehmer V2.

[0092] Die Merkmale umfassen weiterhin eine zweite relative Zeitdauer (dTTD) bis zu einem Verlassen der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn aus den Straßensegmenten SS1 bis SSu, wobei diese zweite relative Zeitdauer (dTTD) von der jeweiligen Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn abhängig ist.

[0093] Die relative zweite Zeitdauer (dTTD) ergibt sich gemäß folgender Gleichung aus der Differenz der jeweiligen Zeitdauern (TTD = time to disappear) bis zu Verlassen der Straßensegmente SS1 bis SSu beispielhaft für die Verkehrsteilnehmer V1 und V2:

$$dTTD = (TTD_{V1} - TTD_{V2}), \quad (1)$$

mit:

dTTD = relative zweite Zeitdauer,
 TTD_{V1} = Zeitdauer für Verkehrsteilnehmer V1
 und
 TTD_{V2} = Zeitdauer für Verkehrsteilnehmer V2.

[0094] Zusätzlich umfassen die Merkmale einen jeweils von der relativen ersten Zeitdauer und der relativen zweiten Zeitdauer abhängigen relativen Abstand zwischen einem Bezugsfahrzeug, d. h. dem eigenen Fahrzeug, und einem anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn.

[0095] Der relative Abstand ergibt sich in Abhängigkeit der ersten relativen Zeitdauer (dTTE) wie folgt:

$$dS(TTE) = (S(TTE_{V1}) - S(TTE_{V2})), \quad (1)$$

mit:

dS(TTE) = relativer Abstand,
 S(TTE_{V1}) = Abstand bis zur Belegung für Verkehrsteilnehmer V1 und
 S(TTE_{V2}) = Abstand bis zur Belegung für Verkehrsteilnehmer V2.

[0096] Der relative Abstand ergibt sich in Abhängigkeit der zweiten relativen Zeitdauer (dTTE) wie folgt:

$$dS(TTD) = (S(TTD_{V1}) - S(TTD_{V2})), \quad (1)$$

mit:

dS(TTD) = relativer Abstand,
 S(TTD_{V1}) = Abstand bis zum Verlassen für Verkehrsteilnehmer V1 und
 S(TTD_{V2}) = Abstand bis zum Verlassen für Verkehrsteilnehmer V2.

[0097] Weiterhin wird ein Grad der Sichtverdeckung zu den weiteren Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt.

[0098] Aus den zuvor genannten Daten werden einerseits die Bewegungszustände BZ1 bis BZn der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt, wobei die Bewegungszustände BZ1 bis BZn aus einer Belegung der Konfliktbereiche K1 bis Ku, den Zeitdauern bis zum Verlassen und Befahren eines Straßensegments SS1 bis SSu, dem Abstand zu den Straßensegmenten SS1 bis SSu, der dynamischen Größe der Straßensegmente SS1 bis SSu, dem relativen Abstand zwischen den Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, der relativen Orientierung O1_{rel}, O2_{rel} der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn zueinander, einer relativen Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Verkehrsfluss auf den Fahrspuren FS1 bis FS4 und zu den jeweils anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in der Umgebung sowie aus einer Zeitdauer und einem Abstand zu einer Einscher-/Aussscher-Spurmarkierung

bzw. zu einer Einfädel-/Ausfädel-Spurmarkierung ermittelt werden.

[0099] Die Steuerzustände SZ1 bis SZn und Fahreraktivitätszustand FAZ1 bis FAZn der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn werden aus dem Lenkwinkel, der Beschleunigung und/oder Verzögerung der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, einem toten Winkel, d. h. der Sichtverdeckung der anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, aus der aktiven Route des Navigationssystems, aktivierten Fahrtrichtungsanzeigern, des aktivierten Warnblinklichts, der Stellung des Bremspedals, der Stellung des Fahrpedals und/oder der Lenkrate ermittelt.

[0100] Die Ermittlung der Eigenschaften der Fahrtrichtungsanzeiger, der Sichtverdeckung, der Lenkung, der Pedale und des Warnblinklichts erfolgt dabei in einer situationsabhängigen Trendanalyse mit der Zeit.

[0101] Zusätzlich werden die Ereignisnachrichten EN ermittelt.

[0102] Die Risikobewertung RB erfolgt durch Ermittlung von möglichen Schnittpunkten von Manöver-Paaren der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn und von gleichzeitigen Belegungen der Konfliktbereiche K1 bis Ku. Aus diesen Schnittpunkten und den gleichzeitigen Belegungen wird eine erwartete Kollisionsgefahr DA räumlich und zeitlich ermittelt.

[0103] Die Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr werden für alle möglichen Manöver-Paare der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn mit einem gemeinsamen Schnittpunkt abschnittsweise ermittelt, wobei die Manöver-Paare aus den Fahrerabsichten FA der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt werden.

[0104] Bei der Risikobewertung RB werden alle Merkmale der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, d. h. die Fahrzeugdaten, die Positionsdaten, die Bewegungszustände BZ1 bis BZn, die Steuerzustände SZ1 bis SZn, die Fahreraktivitätszustände FAZ1 bis FAZn und die Ereignisnachrichten EN, miteinander fusioniert.

[0105] Die Ermittlung der Kollisionsgefahr DA bei der Risikobewertung RB erfolgt durch Assoziierung von Gefahrenstellen der digitalen Straßenkarte mit den Konfliktbereichen K1 bis Ku. Die Assoziierung erfolgt durch Kombination der Daten der digitalen Straßenkarte, eines in [Fig. 7](#) dargestellten Vorrangkontextes VK, der fusionierten Merkmale der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn sowie der Risikobewertung RB von Paaren der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn.

[0106] In der Risikobewertung RB wird für jede Situationshypothese eine jeweilige Kollisionsgefahr

DA und/oder Folgekollisionsgefahr anhand logischer Kontext-Regeln ermittelt. Die Kontext-Regeln umfassen dabei unter anderem Vorrang- und Verkehrsregeln, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Anzeigezustände von Lichtzeichenanlagen und veränderlichen Verkehrszeichen sowie die Topographie und Topologie der entsprechenden digitalen Straßenkarte. Die Situationshypothesen werden anhand der Fahrerabsichten FA in Abhängigkeit der jeweiligen Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr hierarchisch in einer in [Fig. 7](#) und [Fig. 9](#) gezeigten Prioritätsliste PL geordnet.

[0107] Die Daten der digitalen Straßenkarte umfassen dabei eine Topografie der Einscher- und/oder Ausscherspuren und eine Topologie dieser in Relationen zu den Fahrspuren FS1 bis FS4 der Straße.

[0108] Der Vorrangkontext VK ergibt sich aus Daten, welche Informationen über eine Art der Spurmankierungen, d. h. eine durchgezogene oder unterbrochene Ausbildung sowie über einen Verlauf dieser und eine daraus ableitbare Ausbildung der Spuren als Einscher- und/oder Ausscherspuren beinhalten. Weiterhin ergibt sich der Vorrangkontext VK aus erfassten Lichtzeichenanlagen, einer Vorfahrtregelung sowie in der Umgebung befindlicher Verkehrszeichen.

[0109] Als Ergebnis der Risikobewertung RB wird eine Kollisionsgefahr DA aus einer Ausbildung eines Konflikts zwischen zumindest zwei Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn ermittelt. Bei den Konflikten handelt es sich entweder um potenzielle Konflikte oder reale Konflikte. Ein weiteres Ergebnis der Risikobewertung RB sind Eingangssignale ES für eine in [Fig. 9](#) dargestellte Fahrbahnplanung Y mit der kleinsten Kollisionsgefahr DA.

[0110] Aufgrund einer probabilistischen Kombination zumindest eines Teils der zuvor genannten Merkmale ist die Robustheit der probabilistischen Hypothesenschätzung gesichert. Diese Merkmale umfassen insbesondere den relativen, insbesondere geschwindigkeitsabhängigen, Abstand und eine relative Orientierung des eigenen Fahrzeugs zu zumindest einem weiteren Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, die objektzentrierten dynamischen Belegungsgitter je Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in der Umgebung des eigenen Fahrzeugs sowie den absoluten lateralen Abstand und/oder die Orientierung aller Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn inklusive des eigenen Fahrzeugs zu den vorhandenen, beispielsweise mittels einer Kamera erfassten Spurmankierungen oder virtuellen Spurmankierungen. Weiterhin umfassen die Merkmale die Kontextinformationen, inklusive der Topographie- und Topologiedaten sowie den Verkehrsregeln, Verkehrszeichen und den Bewegungszuständen BZ1 bis BZn, den Steuerzuständen SZ1 bis SZn, den Fahreraktivitätszuständen FAZ1 bis FAZn sowie den Ereignisnachrichten EN.

[0111] [Fig. 7](#) zeigt einen Verfahrensablauf zur Ermittlung einer Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen zwei Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn sowie eine Ausgabe einer Information Inf in einer ersten Eskalationsstufe und einer ersten Warnung W1 in einer zweiten Eskalationsstufe.

[0112] Aus den Positionen POS1 bis POSn der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, den Bewegungszuständen BZ1 bis BZn sowie weiteren Eingangssignalen ES werden zunächst die Fahrerabsichten FA, auch als Manöverabsichten bezeichnet, ermittelt. Die Eingangssignale ES umfassen dabei die in [Fig. 5](#) dargestellten Größen zur Ermittlung der Fahrerabsichten FA sowie kooperative Perzeptionen, welche sich aus einer Kreuzungsperzeption, einer fahrzeuglokalen Perzeption sowie einer Eigenlokalisierung ergeben.

[0113] Anhand von Fahrerabsichten FA1, FA2 von Fahrern zweier als Fahrzeuge ausgebildeter Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn sowie Manöverpaaren MP mit Schnittpunkten und einem aus der digitalen Straßenkarte abgeleiteten Kontext X(K1 bis Ku) der Konfliktbereiche K1 bis Ku wird eine potenzielle Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen den zwei Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn ermittelt.

[0114] Diese Ermittlung der Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr erfolgt für alle konkurrierenden Situationshypothesen, wobei die Situationshypothesen anhand der Fahrerabsichten FA und in Abhängigkeit der jeweiligen Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr hierarchisch der Prioritätsliste PL geordnet werden.

[0115] Wird eine potenzielle Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr ermittelt, welche einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet, wird dem Fahrer des jeweiligen Fahrzeugs, d. h. einem der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, vor Erreichen eines ersten Abstands zu einem anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn oder zu einer vorgegebenen ersten Zeitdauer bis zum Erreichen des ersten Abstands in einer ersten Eskalationsstufe zu einem ersten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische Information Inf über die potenzielle Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr im jeweiligen Fahrzeuginnenraum der als Fahrzeuge ausgebildeten Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn an die Fahrer ausgegeben. Der erste Abstand und die erste Zeitdauer werden vorzugsweise fest oder in Abhängigkeit einer Relativgeschwindigkeit zwischen den betreffenden Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und/oder eines Reibungskoeffizienten des Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn zu einem Straßenbelag variabel vorgegeben. Dabei wird die Information Inf bezüglich der Situationshypothese bzw. Situation ausgegeben, welche die höchste Priorität in der Prioritätsliste PL aufweist.

Der erste Zeitpunkt liegt insbesondere mehr als 3 Sekunden vor einer möglichen Kollision K. Die Information Inf wird dabei insbesondere optisch mit einem hellgrünen und transparenten Hintergrund und einer Sprachausgabe ausgegeben und dient der Lenkung der Aufmerksamkeit des Fahrers in die Richtung des Orts der Gefahr.

[0116] Die Information Inf enthält dabei insbesondere Daten über die Größe der Kollisionsgefahr DA und/oder über die Folgekollisionsgefahr.

[0117] Anschließend wird anhand der potenziellen Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr, des Vorrangkontextes VK und anhand von Belegungszeiten $t(K1 \text{ bis } Ku)$ der Konfliktbereiche K1 bis Ku eine Risikobewertung RB durchgeführt. Bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwertes wird in einer zweiten Eskalationsstufe zu einem auf den ersten Zeitpunkt folgenden zweiten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische erste Warnung W1 vor einer realen Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr für die Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn im jeweiligen Innenraum ausgegeben. Die erste Warnung W1 wird dem Fahrer des jeweiligen Fahrzeugs, d. h. einem der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, vor Erreichen eines zweiten Abstands zu einem anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn oder zu einer vorgegebenen zweiten Zeitdauer bis zum Erreichen des zweiten Abstands ausgegeben. Der zweite Abstand und die zweite Zeitdauer werden vorzugsweise fest oder in Abhängigkeit einer Relativgeschwindigkeit zwischen den betreffenden Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und/oder eines Reibungskoeffizienten des Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn zu einem Straßenbelag variabel vorgegeben. Dabei wird die erste Warnung W1 bezüglich der Situationshypothese bzw. Situation ausgegeben, welche die höchste Priorität in der Prioritätsliste PL aufweist. Der zweite Zeitpunkt liegt insbesondere zwischen 2 und 3 Sekunden vor einer möglichen Kollision K. Die erste Warnung W1 wird dabei insbesondere optisch mit einem gelben und transparenten Hintergrund und unterbrochenen Tonsignalen ausgegeben. Die optische Ausgabe kann dabei je nach Kritikalität unterbrechungsfrei oder blinkend erfolgen.

[0118] Die erste Warnung W1 beinhaltet dabei, dass eine Kollision K potenziell möglich ist und wird allein aus der Kenntnis möglicher Schnittpunkte zwischen den Trajektorien bzw. zwischen den Manöveroptionen der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ermittelt.

[0119] Die dargestellte Struktur ermöglicht eine qualitative Wissensdarstellung durch die Struktur des objektorientierten Bayes-Netzwerkes, durch Kausalitätsbeziehungen der Zustände, durch einen Umweltkontext mittels der Topologie und Topografie der digitalen Karte, durch den Vorrangkontext VK sowie durch das dynamische Verhalten der Verkehrsteil-

nehmer V1 bis Vn. Weiterhin ist eine quantitative Darstellung der Abhängigkeiten aufgrund der Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten von Kollisionen K zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn entsprechend einer Stärke der Beziehungen zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn möglich. Bei jedem Zeitschritt erfolgt eine neue Bewertung der ermittelten Wahrscheinlichkeiten von potentieller und realer Kollisionsgefahr. Das Update wird durch den Inferenz-Algorithmus, beispielsweise in dem objektorientierten Bayes Netz, ausgeführt und basiert auf den lokal gemessenen und kommunizierten Daten zu jedem Zeitschritt.

[0120] Dabei dienen ein Fahrerzustand FZ sowie die Risikobewertung RB als Filter für eine Ausgabe und Intensität der Informationen Inf und Warnungen W1 bis W3 in verschiedenen Eskalationsstufen.

[0121] In [Fig. 8](#) ist ein Verfahrensablauf eines Verfahrens zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs mit vier Eskalationsstufen dargestellt.

[0122] [Fig. 9](#) zeigt den in [Fig. 8](#) dargestellten Verfahrensablauf und eine Verknüpfung dieses Verfahrensablaufs mit dem in [Fig. 7](#) dargestellten Verfahrensablauf zur Realisierung eines Verfahrens zur Unterstützung des Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs. Bei dem Fahrzeug handelt es sich um einen beliebigen, als Fahrzeug ausgebildeten Verkehrsteilnehmer V1 bis V4. Dabei werden nicht nur „4-Weg-Kreuzungen“ berücksichtigt, sondern auch andere Topologien und Topographien der Kreuzung mit den entsprechenden Fahrzeugen V1 bis Vn, die den entsprechenden Spuren (> 4) zugeordnet sind..

[0123] Durch die Verknüpfung der Verfahrensabläufe entsteht ein gemeinsamer Verfahrensablauf zur Ermittlung der Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen zwei Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn, mittels welchem in unterschiedlichen Eskalationsstufen eine Information Inf, Warnungen W1 bis W3 und ein Eingriff in eine Längs- oder Quersteuerung der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in Abhängigkeit der Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr realisiert wird. Das Bezugszeichen p steht dabei für die Begriffe „positiv“ und „ja“, das Bezugszeichen n für „negativ“ und „nein“.

[0124] Bis zur zweiten Eskalationsstufe erfolgt das Informations- und Warnkonzept gemäß [Fig. 7](#), anschließend wie im Folgenden dargestellt unter Berücksichtigung des Fahrerzustandes FZ, welcher aus einem Aufmerksamkeitsgrad, einem Ablenkungsgrad, einem Müdigkeitsgrad, Stress und/oder Vitalparametern des jeweiligen Fahrers mittels zumindest einer optischen Erfassungseinheit, Bedienerhandlungen und/oder weiterer Erfassungseinheiten ermittelt wird.

[0125] Anschließend werden die Bewegungsspielräume, die so genannte „Feel-Safe-Zone“, zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn ermittelt, wobei die Ermittlung beispielsweise gemäß der DE 10 2011 106 176 A1 und/oder der noch nicht veröffentlichten DE 10 2012 005 272 erfolgt. Weiterhin werden mögliche Steuergrößen ermittelt und probabilistisch bewertet, um eine Kollision K zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn zu vermeiden. Diese Steuergrößen umfassen erste Steuergrößen ICP1, welche es ohne Durchführung eines Extremmanövers EM ermöglichen, kollisionsfrei an dem jeweils anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, d. h. dem Gefahrenfahrzeug, von welchem die Gefahr für den jeweiligen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ausgeht, vorbeizufahren. Unter einem Extremmanöver EM werden dabei beispielsweise eine Vollbremsung, eine maximale Beschleunigung und ein kritisches Lenkmanöver verstanden.

[0126] Sind derartige erste Steuergrößen ICP1 vorhanden, wird dem Fahrer in einer dritten Eskalationsstufe eine zweite optische, akustische und/oder haptische Warnung W2 ausgegeben, welche den Fahrer darauf hinweist, dass eine reale Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr mit einem Bewegungsspielraum und verfügbaren Steuergrößen ICP1 zur kollisionsfreien Weiterfahrt vorliegen. Die zweite Warnung W2 wird dem Fahrer des jeweiligen Fahrzeugs, d. h. einem der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, vor Erreichen eines dritten Abstands zu einem anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn oder zu einer vorgegebenen dritten Zeitdauer bis zum Erreichen des dritten Abstands ausgegeben. Der dritte Abstand und die dritte Zeitdauer werden vorzugsweise fest oder in Abhängigkeit einer Relativgeschwindigkeit zwischen den betreffenden Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und/oder eines Reibungskoeffizienten des Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn zu einem Straßenbelag variabel vorgegeben. Dabei wird die zweite Warnung W2 bezüglich der Situationshypothese bzw. Situation ausgegeben, welche die höchste Priorität in der Prioritätsliste PL aufweist. Die zweite Warnung W2 erfolgt insbesondere 1 s bis 2 s vor dem Eintritt der potenziellen Kollision K. Die zweite Warnung W2 wird dabei insbesondere optisch mit einem hellorange und transparenten Hintergrund und einem eindringlichen Tonsignal ausgegeben. Die optische Ausgabe kann dabei je nach Kritikalität unterbrechungsfrei oder blinkend erfolgen.

[0127] Erfolgt auf die zweite Warnung W2 keine korrekte Handlung H des Fahrers, liegen aber erste Steuergrößen ICP1 zur kollisionsfreien Umfahrung des anderen Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn vor, erfolgt ein Eingriff in die Fahrdynamik des eigenen als Fahrzeug ausgebildeten Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn in der Art, dass der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ohne Extremmanöver EM und kollisionsfrei an dem jeweils anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn

vorbeigeführt wird. Hierzu wird eine Längs- und/oder Quersteuerung des jeweiligen Fahrzeugs in der Art beeinflusst, dass das Fahrzeug automatisch verlangsamt, gestoppt, beschleunigt und/oder gelenkt wird und/oder eine Beschleunigung durch den Fahrer verhindert wird.

[0128] Das heißt, die probabilistisch bewerteten Steuergrößen ICP1 stellen die noch für den Fahrer verfügbaren Manöroptionen dar. Bei fehlender Fahrerreaktion wird das die Kollision K vermeidende Manöver mittels einer Fahrerassistenzvorrichtung autonom und, falls erste Steuergrößen ICP1 verfügbar sind, für die Insassen der als Fahrzeuge ausgebildeten Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn komfortabel und vorzugsweise in der typischen Fahrweise des Fahrers durchgeführt.

[0129] Sind keine ersten Steuergrößen ICP1 vorhanden und erfolgt keine korrekte Handlung H des Fahrers zur Vermeidung der Kollision K, wird mit dem Fahrer in einer vierten Eskalationsstufe eine dritte optische, akustische und/oder haptische Warnung W3 vor einer akuten Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr ausgegeben und es erfolgt ein automatischer Eingriff in die Fahrdynamik der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn unter Ausführung eines Extremmanövers EM. Die dritte Warnung W3 wird dem Fahrer des jeweiligen Fahrzeugs, d. h. einem der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn, vor Erreichen eines vierten Abstands zu einem anderen Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn oder zu einer vorgegebenen vierten Zeitdauer bis zum Erreichen des vierten Abstands ausgegeben. Der vierte Abstand und die vierte Zeitdauer werden vorzugsweise fest oder in Abhängigkeit einer Relativgeschwindigkeit zwischen den betreffenden Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und/oder eines Reibungskoeffizienten des Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn zu einem Straßenbelag variabel vorgegeben. Dabei wird die dritte Warnung W3 bezüglich der Situationshypothese bzw. Situation ausgegeben, welche die höchste Priorität in der Prioritätsliste PL aufweist. Bei der Ermittlung der möglichen Extremmanöver EM und deren Ausführung werden eine verbleibende Zeit zum Bremsen, eine verbleibende Zeit zum Lenken und eine verbleibende Zeit zur Beschleunigung bzw. zum Kick-Down ermittelt und berücksichtigt. Die dritte Warnung W3 erfolgt insbesondere weniger als 1 s vor dem Eintritt der potenziellen Kollision K. Die dritte Warnung W3 wird dabei insbesondere optisch mit einem hellroten und transparenten Hintergrund und einem eindringlichen Tonsignal ausgegeben. Die optische Ausgabe kann dabei je nach Kritikalität unterbrechungsfrei oder blinkend erfolgen.

[0130] Im Ergebnis wird die Kollision K verhindert oder zumindest werden deren Folgen minimiert und es kann die Fahrbahnplanung Y mit der kleinsten Kollisionsgefahr DA und/oder Folgekollisionsgefahr durchgeführt werden.

[0131] Aufgrund der Berücksichtigung des Aufmerksamkeitsgrades und der Vitaldaten des Fahrers bei der Bewertung der Bewegungsspielräume werden unnötige und irritierende Fahrerwarnungen vermieden.

[0132] Alle Informationen Inf und Warnungen W1 bis W3 werden im Fahrzeuginnenraum aus einer Richtung einer relativen Position des kollisionsgefährlichen Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn, d. h. des Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn, von welchem die Gefahr ausgeht, ausgegeben. Beispielsweise wird eine akustische Fahrerwarnung je nach Position des kollisionsgefährlichen Verkehrsteilnehmers V1 bis Vn vor dem betreffenden Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn anhand von Signalen aus einer linken oder rechten A-Säule ausgegeben. Die akustischen Signale werden durch optische Signale verstärkt.

[0133] Die optischen Signale werden dabei beispielsweise bei von vorn oder hinten herannahendem Längsverkehr in einer Totwinkelanzeige oder mittels einer transparenten Färbung von Kanten eines inneren Rückspiegels erzeugt. Die Gefahr aus einer hinteren oder vorderen linken oder rechten Richtung tritt beispielsweise auch dann auf, wenn sich ein gefährlicher oder gefährdeter Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ausgehend von einem eigenen Fahrzeug, welches ebenfalls Bestandteil der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn ist, auf der linken oder rechten Seite der Fahrbahn befindet. Bei vom Gegenverkehr ausgehender Gefahr werden die optischen Signale insbesondere an einer oberen Kante einer Windschutzscheibe ausgegeben.

[0134] Die Möglichkeit einer derartigen Erfassung der Gefahren und die daraus folgende positionsbezogene Ausgabe der Informationen Inf und Warnungen W1 bis W3 ergibt sich in besonders vorteilhafter Weise daraus, dass die Umgebungsinformationen der Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn in einem Erfassungsbereich von 360° erfasst werden.

[0135] Die Grenzen der menschlich und physikalisch durchführbaren Handlungen H des Fahrers, bevor ein autonomer Eingriff in die Fahrdynamik erfolgt, werden gesetzt durch den verfügbaren Bewegungsspielraum und falls diese Grenzen überschritten werden, durch eine Kritikalitätsbestimmung einer Situation zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn.

[0136] Die Bestimmung der Kritikalität für eine Situation erfolgt in Abhängigkeit von ermittelten Zeitmaßen, wobei die Zeitmaße eine Zeitdauer bis zur Kollision K, eine Zeitdauer bis zu einer möglichen Bremsung, eine Zeitdauer bis zu einem möglichen Lenkeingriff und/oder eine Zeitdauer bis zu einem möglichen Kick-Down eines Fahrpedals umfassen.

[0137] Die Kritikalität korreliert dabei mit der Priorität der jeweiligen Situationshypothese in der Prioritätsliste PL. Das heißt insbesondere, dass bei hoher Kritikalität die jeweilige Situationshypothese eine hohe Priorität in der Prioritätsliste PL aufweist.

[0138] Die hierarchisch geordnete Prioritätsliste PL der Gefahren setzt die Prioritäten in der Situation und unterstützt den Fahrer durch die Ausgabe der Information Inf und der Warnungen W1 bis W3 und dient zur Lenkung der Aufmerksamkeit und liefert gleichzeitig eine Grundlage für den autonomen Eingriff in die Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs und zur Bestimmung der Intensität von Information Inf und Warnung W1 bis W3. Die Intensität wird dabei durch Variation, insbesondere von Audiosignalen kombiniert mit optischen Signalen eingestellt. Die optischen Signale werden beispielsweise mittels transparenten organischen Leuchtdioden, herkömmlichen Leuchtdioden und/oder einer Faseroptik erzeugt. Die optischen Signale werden dabei mit oder ohne Richtungshinweise, welche auf den Ort der Kollisionsgefahr DA schließen lassen, ausgegeben.

[0139] Insbesondere sind dem Fahrer des jeweiligen Fahrzeugs probabilistisch erkannte Fahrerabsichten der anderen Fahrer mittels einer Pfeil-Darstellung ausgebbar. Dies ist besonders vorteilhaft bei verdeckten Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn, insbesondere bei einem Fahrerzustand FZ des System-Fahrzeugs auf niedrigem Niveau.

[0140] Somit können die Verkehrsteilnehmer V1 bis Vn die Gefahren einfach nachvollziehen und gewinnen Vertrauen das Verfahren zur Unterstützung.

[0141] Insbesondere erfolgen die Ermittlung und eine quantitative Bewertung der Kritikalität in dem wahrscheinlichsbasierten probabilistischen Verfahren sowie in Verfahren mit Wissensrepräsentation und in so genannten Blackbox-Verfahren.

[0142] Die Ermittlung und die quantitative Bewertung der Kritikalität sowie die Ermittlung der Prioritäten können mit verschiedenen Verfahren erfolgen, wobei die Ableitung von Prioritätslisten PL nach Verfahren verlangt, die sowohl eine qualitative als auch quantitative Wissensdarstellung für die Bewertung einer Situation mit allen involvierten Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn ermöglichen. Das Ergebnis triggert die entsprechenden Eingriffe in die Längs- und/oder Quersteuerung sowie die Ausgabe der Information Inf und Warnungen W1 bis W3 in den vier Eskalationsstufen. Diese Fähigkeit der Situationsanalyse wird insbesondere von wahrscheinlichsbasierten Verfahren mit strukturierter Darstellung der bereits beschriebenen Abhängigkeiten zwischen den Verkehrsteilnehmern V1 bis Vn und zwischen den Merkmalen, die diese Verkehrsteilnehmer V1 bis V1n in einer Verkehrssituation, geleistet.

[0143] Zu den wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren gehören die objektorientierten Bayes-Netzwerke (kurz: OOBN), welche gerichtete azyklische Graphen mit kausalen Abhängigkeiten zwischen den Größen, gewichtet durch Wahrscheinlichkeiten, verwenden. Die objektorientierten Bayes-Netzwerke erlauben eine Kombination von unsicheren und heterogenen Informations/Daten-Quellen und können auch mit fehlenden Evidenzen umgehen.

[0144] Zu den wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren gehören weiterhin objektorientierte Einfluss-Diagramme (kurz: OOID), welche eine Erweiterung der objektorientierten Bayes-Netzwerke mit Kostenfunktionen und Zeitfunktionen darstellen, sowie so genannte Hidden-Markov-Modelle (kurz: HMM), welche eine Erweiterung der objektorientierten Bayes-Netzwerke als dynamische Prädiktionsmodelle, unter der Annahme, dass die Zukunft unabhängig von der Vergangenheit ist, wenn die Größen in der Gegenwart bekannt sind, darstellen.

[0145] Auch wird als wahrscheinlichkeitsbasiertes Verfahren die so genannte Dempster-Shafer-Theorie (kurz: DST) – auch als Evidenztheorie bezeichnet – verwendet. Die Dempster-Shafer-Theorie wird benutzt, um Informationen unterschiedlicher Quellen zu einer Gesamtaussage zusammensetzen, wobei eine Glaubwürdigkeit dieser Quellen in der Berechnung, ähnlich wie bei den objektorientierten Bayes-Netzwerken, berücksichtigt wird.

[0146] Die wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren verwenden ferner eine so genannte Fuzzy-Logik, wobei Fuzzy-Logik-Membership-Grade als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden. Die Fuzzy-Logik stellt dabei die Abhängigkeiten dar. Auch werden so genannte adaptive Neuro-Fuzzy-Systeme verwendet, welche die Fuzzy-Logik mit der Lernfähigkeit neuronaler Netze kombinieren.

[0147] Ferner kommen Entscheidungsbäume zur Anwendung, welche als geordnete oder gerichtete Bäume ausgebildet sind und der Darstellung von Entscheidungsregeln dienen. Die Entscheidungsbäume veranschaulichen hierarchisch aufeinanderfolgende Ereignisse und/oder Entscheidungen, welche stark kontextabhängig sind.

[0148] Eine Kombination solcher Entscheidungsbäume mit Neuronalen Netze führt zu so genannten Tree-Based-Neural-Networks (kurz: TBNN), welche ebenfalls als wahrscheinlichkeitsbasierte Verfahren verwendet werden. In dieser Kombination werden ineffiziente Äste des Entscheidungsbaumes durch neuronale Netze ersetzt, um eine höhere Klassifikationsgüte zu erreichen. Somit werden die Vorteile beider Klassifikationsmethoden genutzt, welche darin bestehen, dass lediglich eine geringe Anzahl an Trainings-

daten für die Bäume zur Induktion erforderlich und gleichzeitig eine genaue Klassifikation möglich ist.

[0149] Zusätzlich kommen so genannte Support Vector Machines (kurz: SVM) und die Kernel Methode als Klassifikator zum Einsatz, welcher eine Menge von Objekten, d. h. von Verkehrsteilnehmern V_1 bis V_n , derart in Klassen unterteilt, dass um die Klassengrenzen herum ein möglichst breiter Bereich frei von Objekten bleibt.

[0150] Auch werden Kalman Filter und Erweiterungen dieser als lineare Variante der Bayes-Netzwerke verwendet.

[0151] Qualitative Verfahren eignen sich dagegen nur für die Wissensdarstellung und sind aufgrund fehlender effizienter Suchalgorithmen nicht als erste Wahl zur Erstellung der Prioritätsliste PL geeignet. Die qualitativen Verfahren umfassen eine Ontologie, welche ein formales Netzwerk von Informationen mit logischen Relationen darstellt. Die Möglichkeit, Relationen über Relationen und Regeln aufzustellen wird wegen ihrer Komplexität in der Praxis relativ selten genutzt, obwohl gerade das Ontologien von anderen Begriffssystemen unterscheidet. Auch so genannte XML-strukturierte Fahrzeug-Fahrer-Umgebung-Ereignisbäume gehören zu den qualitativen Verfahren. Diese eignen sich eher als gut strukturierte Wissens-Datenbanken für die oben genannten wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren mit Wissensdarstellung, wo nur die Abhängigkeiten zwischen den Eingangsgrößen dargestellt werden, beinhalten allerdings nicht die Stärke dieser Abhängigkeiten. Diese Quantifizierung ist notwendig für die Inferenz-Algorithmen um eine hierarchisch geordnete Prioritätsliste PL zu berechnen und je Zeitschritt zu aktualisieren.

[0152] Für solche Quantifizierungen von insbesondere in sich statisch verbleibenden Merkmalen der Objekte, insbesondere reine Quantifizierungen, eignen sich die Blackbox-Verfahren, wobei mittels dieser Verfahren weiterhin Skalierungseffekte erkennbar gemacht werden können. Die Blackbox-Verfahren umfassen so genannte neurale Netzwerke (kurz: NN), Bayesian neurale Netzwerke, welche um die Bayesian Wahrscheinlichkeit erweiterte neurale Netzwerke sind und Approximationsalgorithmen, wie zum Beispiel Polynomverfahren, Least-squares-Verfahren, Spline-Verfahren und weitere Verfahren umfassen.

[0153] Diese Blackbox-Verfahren sind jedoch nicht geeignet für dynamisch veränderliche Situationen, die nicht immer nach denselben Mustern routinemäßig ablaufen. Sie brauchen aufwendige und erneute Ausführung von Lernverfahren, wenn sich gewisse Merkmale der Situation quantitativ geändert haben. Somit eignen sie sich nicht als so genannte Online-Verfahren. Für das Training und Lernen ist eine große

Menge an Daten erforderlich, welche charakteristisch für das Objekt unter Klassifikation sind. Auch besteht die Gefahr eines so genannten Übertrainierens, d. h. sie können nicht generalisieren, wenn eine neue ähnliche Situation eintritt.

[0154] Passende Applikationen für die Blackbox-Verfahren sind die Erkennung von Verkehrszeichen, die Erkennung von Phasen einer Verkehrsampel, die Erkennung Abweichungen vom normalen Betrieb eines Systems oder einer Komponente, die Klassifikation von typischen Abbiege-Trajektorien bei vorhandener Referenzdatenbank und damit verbundene Manöver-Absichtserkennung sowie die Erkennung von Abweichungen vom Fahrer-Normalverhalten. Somit sind die sind die Blackbox-Verfahren für die Verarbeitung von Eingangsdaten und für die Informationsstufe geeignet.

[0155] Dagegen beinhalten die oben genannten wahrscheinlichkeitsbasierten Verfahren mit der Wissensdarstellung schon vier Eskalationsstufen für den strukturierten Aufbau des Modells und bieten somit einen kompakten und effizienten Modellierungsansatz.

a	Beschleunigung
B1 bis B4	Gefahrenbereich für die Bewegungsspielraum
BZ1 bis BZn	Bewegungszustand
DA	Kollisionsgefahr
dG	dynamisches Gitter
EA	Einscher- und/oder Ausschervorgang bzw. Einfädeln- und/oder Ausfädelvorgang
EN	Ereignisnachricht
EM	Extremmanöver
ES	Eingangssignal
FA, FA1, FA2	Fahrerabsicht
FAZ1 bis FAZn	Fahreraktivitätszustand
FS1 bis FS4	Fahrspur
FZ	Fahrerzustand
G	Geradausfahrvorgang
H	Handlung
I1	Information
Inf	Information
ICP1	Steuergröße oder Steuerprofil des Fahrers
K1 bis Ku	Konfliktbereich
K	Kollision
l	Lenkrate
M1, M2	Menge
MP	Manöverpaar
n	negativ/nein
O1 _{rel}	erste relative Orientierung
O2 _{rel}	zweite relative Orientierung
p	positiv/ja
P(C)	Gefahrenwahrscheinlichkeit für die Bewegungsspielraum

PL
 POS1 bis POSn
 RB
 S
 SS1 bis SSu
 SZ1 bis SZn
 T₁ bis T_{m₁}

 T₂ bis T_{n₂}

 t(K1 bis Ku)

 MT1 bis MT12
 U
 V1 bis Vn
 v_{1rel}
 v_{2rel}

 VK
 W1 bis W3
 X(K1 bis Ku)
 Y

Prioritätsliste
 Position
 Risikobewertung
 Spurwechsellvorgang
 Straßensegment
 Steuerzustand
 Bewegungshypothese-Trajektorie, m₁-Anzahl der mögliche Bewegungshypothesen für Verkehrsteilnehmer V1
 Bewegungshypothese-Trajektorie, n₂-Anzahl der mögliche Bewegungshypothesen für Verkehrsteilnehmer V2
 Belegungszeit des Konfliktbereichs K1 bis Ku
 Manöver-Track
 Überholvorgang
 Verkehrsteilnehmer
 erste Relativgeschwindigkeit
 zweite Relativgeschwindigkeit
 Vorrangkontext
 Warnung
 Kontext Konfliktbereich
 Fahrbahnplanung

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 Patentliteratur

- DE 102011120117 [\[0002\]](#)
- DE 102011113019 [\[0033, 0043\]](#)
- DE 102012005272 [\[0040, 0043, 0052, 0125\]](#)
- DE 102011106176 A1 [\[0052, 0125\]](#)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Unterstützung eines Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs, wobei in Abhängigkeit einer prognostizierten zukünftigen potenziellen, realen oder akuten Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr zwischen dem Fahrzeug und anderen Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) innerhalb des Fahrzeugs Fahrerhinweise ausgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- Manöverabsichten (TM1 bis TMn) anhand von Merkmalen, die charakteristisch für eine Position und einen Bewegungszustand des Fahrzeugs und der anderen Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) sind, probabilistisch erkannt werden,
- eine Kollisionsgefahr anhand von Schnittpunkten von erkannten Paaren der Manöverabsichten (TM1 bis TMn) der sich in relativer Bewegung zueinander befindlichen Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) und einer entsprechenden räumlichen Belegung von Konfliktbereichen abgeleitet wird,
- eine probabilistische Risikobewertung (RB) einer jeweiligen realen oder akuten Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr anhand der Belegung der Konfliktbereiche in Raum-Zeit und in Kombination mit einer logischen Kontext-Regel, inklusive einer Vorrang-Regel, durchgeführt wird.
- eine Vielzahl von fahrbaren Bewegungshypothese-Trajektorien des Fahrzeugs und der anderen Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) anhand von Steuerprofilen von diesen prognostiziert wird,
- anhand der Trajektorien mehrere konkurrierende Situationshypothesen zwischen dem Fahrzeug und allen relevanten anderen Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) ermittelt werden,
- ein vorhandener Bewegungsspielraum mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten für eine reale Kollisionsgefahr mit vorhandenen Steuergrößen zur Kollisionsvermeidung oder ein vorhandener Bewegungsspielraum mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten für eine akute Kollisionsgefahr und ein Bedarf an extremen Manövern zur Kollisionsentschärfung ermittelt werden und die derart erhaltenen probabilistischen Ergebnisse in Abhängigkeit der jeweiligen Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr hierarchisch in einer Prioritätsliste (PL) geordnet werden,
- der Fahrer des Fahrzeugs in Abhängigkeit der Prioritätsliste (PL) und Fahrer-Voreinstellungen entsprechend eines Zeitpunkts eines gewünschten Systemeingriffs und/oder eines ermittelten Fahrerzustands (FZ) des Fahrers in mehreren Eskalationsstufen mittels der Fahrerhinweise informiert, gewarnt und/oder mittels eines automatischen Eingriffs in einer Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs unterstützt wird, und
- eine Information (Inf), eine Warnung (W1 bis W3) und ein automatischer Eingriff für eine Situation erfolgt, welche eine Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr mit einer höchsten Priorität in der

Prioritätsliste (PL) und eine daraus folgende höchste Kritikalität aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Situationshypothesen mögliche gegenseitige Schnittpunkte der erkannten Manöverabsichten (TM1 bis TMn) der sich in relativer Bewegung zueinander befindlichen Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) und des Fahrzeugs und anhand der Schnittpunkte in den Konfliktbereichen eine potenzielle Kollisionsgefahr (K) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur kognitiven Risikobewertung in Raum-Zeit die reale Kollisionsgefahr (K) und/oder Folgekollisionsgefahr anhand der Kombination aus den Paaren von Manöveroptionen zwischen dem Fahrzeug und allen relevanten Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) zusammen mit der entsprechenden gleichzeitigen Belegung der Konfliktbereiche und dem logischen Kontext aus der digitalen Karte und den Verkehrsregeln ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mögliche kollisionsfreie Bewegungshypothese-Trajektorien-Paare des Fahrzeugs und der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) prognostiziert und auf reale Kollisionsgefahr bewertet werden und bei der Bewertung jeweilige Bewegungsspielräume zwischen dem Fahrzeug und den Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) ermittelt werden und in Abhängigkeit einer Größe des jeweiligen Bewegungsspielraums die Gefahrenwahrscheinlichkeit (P(C)) ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kritikalität anhand von ermittelten Zeitmaßen bestimmt wird, wobei die Zeitmaße eine Zeitdauer bis zur Kollision (K), eine Zeitdauer bis zu einer möglichen Bremsung, eine Zeitdauer bis zu einem möglichen Lenkeingriff und/oder eine Zeitdauer bis zu einem möglichen Kick-Down eines Fahrpedals umfassen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Information (Inf), die Warnung (W1 bis W3) und der automatische Eingriff in vier Eskalationsstufen durchgeführt werden, wobei

- in einer ersten Eskalationsstufe zu einem ersten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische Information (Inf) über eine potenzielle Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr des Fahrzeugs mit zumindest einem der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) ausgegeben wird,
- in einer zweiten Eskalationsstufe zu einem auf den ersten Zeitpunkt folgenden zweiten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische erste Warnung (W1) vor einer realen Kollisionsgefahr (DA) und/

oder Folgekollisionsgefahr des Fahrzeugs mit zumindest einem der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) ausgegeben wird,

- in einer dritten Eskalationsstufe zu einem auf den zweiten Zeitpunkt folgenden dritten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische zweite Warnung (W2) vor einer realen Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr des Fahrzeugs mit zumindest einem der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) und ohne Bedarf an extremen Manövern ausgegeben wird und

- in einer vierten Eskalationsstufe zu einem auf den dritten Zeitpunkt folgenden vierten Zeitpunkt eine optische, akustische und/oder haptische dritte Warnung (W3) mit einem automatischen Systemeingriff in eine Längs- und/oder Quersteuerung des Fahrzeugs zum Schutz vor einer akuten Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr des Fahrzeugs mit zumindest einem der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) ausgegeben wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Situationshypothesen mittels eines objektorientierten Bayes-Netzwerks eine laterale Evidenz, Trajektorien des Fahrzeugs und der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn), objektorientierte dynamische Gitter (dG) in den Konfliktbereichen um die Verkehrsteilnehmer herum und Kontextinformationen probabilistisch zur beabsichtigten Manövererkennung kombiniert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Kontextinformationen

- aus einer digitalen Straßenkarte eines Straßensegments (SS1 bis SSu), auf welchem sich das Fahrzeug befindet,

- aus Signalen von fahrzeugseitigen Sensoren des Fahrzeugs und

- aus Daten einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation und/oder einer Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und den anderen Verkehrsteilnehmern (V1 bis Vn) und/oder einer Infrastruktur

- ein Bewegungszustand (BZ1 bis BZn) des Fahrzeugs und der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn), ein Steuerzustand (SZ1 bis SZn) des Fahrzeugs und der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn), ein Fahreraktivitätszustand (FAZ1 bis FAZn) und Ereignisnachrichten (EN) ermittelt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ermittlung der Situationshypothesen ein Abstand, eine relative Ausrichtung und eine relative Positionierung des Fahrzeugs und der Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) ermittelt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Infor-

mation (Inf) und/oder die Warnung (W1 bis W3) bei ermittelter Kollisionsgefahr (DA) und/oder Folgekollisionsgefahr in Abhängigkeit einer relativen Position des zumindest einen Verkehrsteilnehmers (V1 bis Vn) zum Fahrzeug im Innenraum des Fahrzeugs an einer Innenraumposition ausgegeben wird, welche sich vom Fahrer aus im Wesentlichen in einer Richtung befindet, in welcher sich der zumindest eine Verkehrsteilnehmer (V1 bis Vn) relativ zum ersten Fahrzeug befindet.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

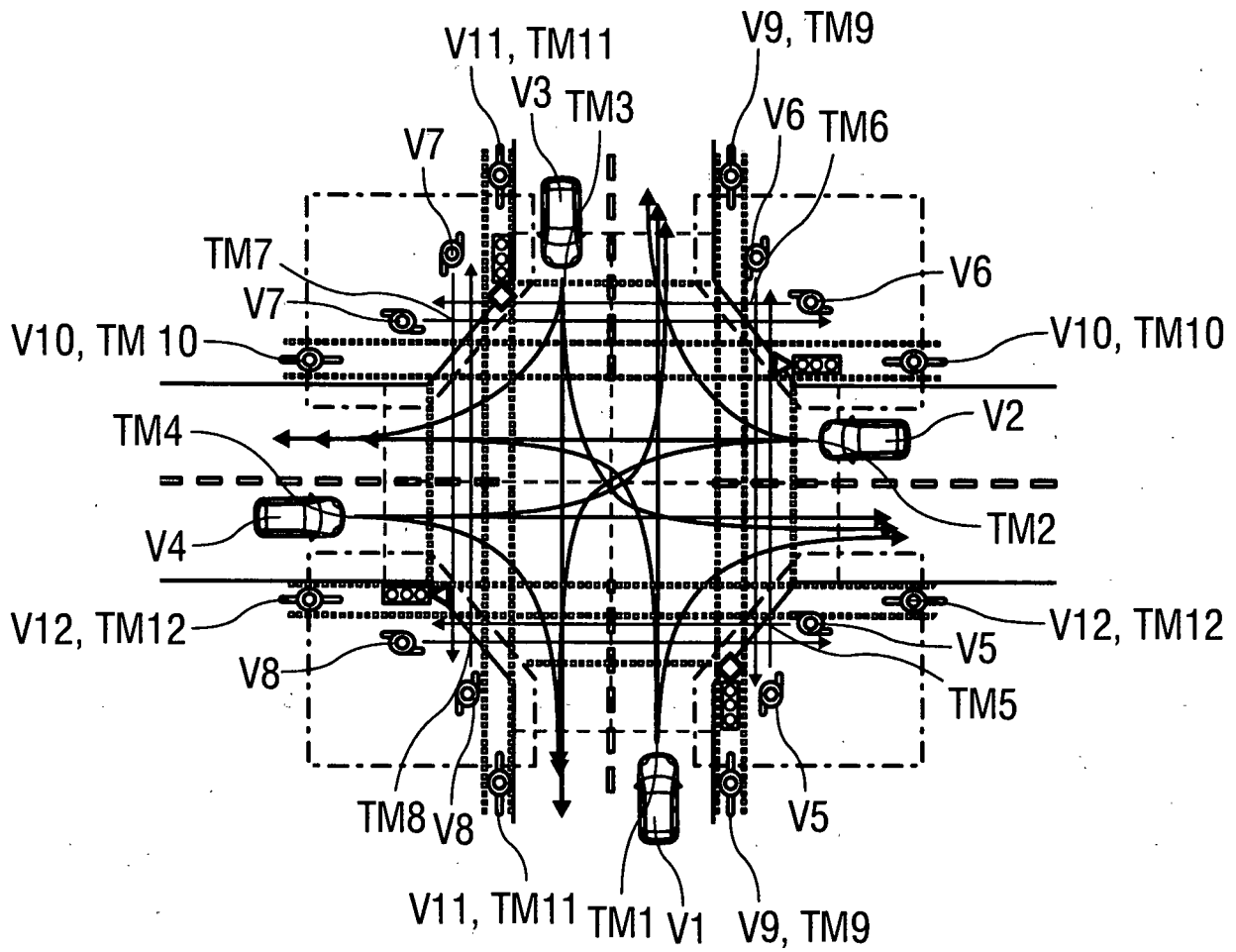


FIG 1

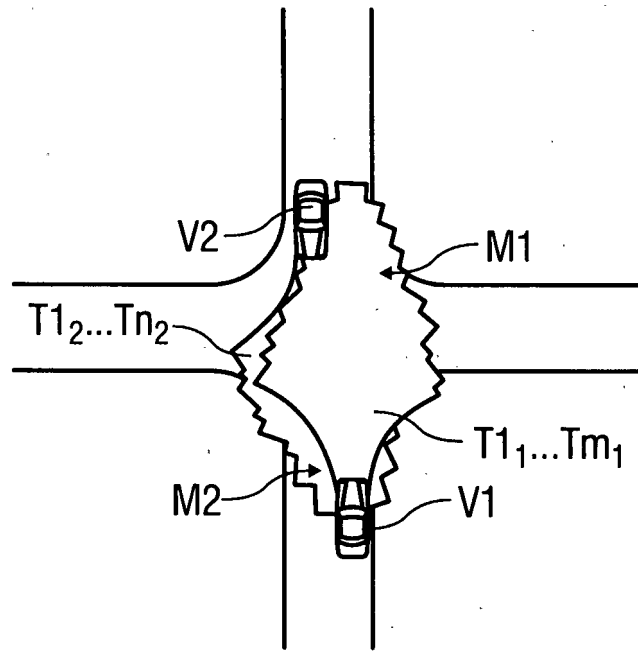


FIG 2A

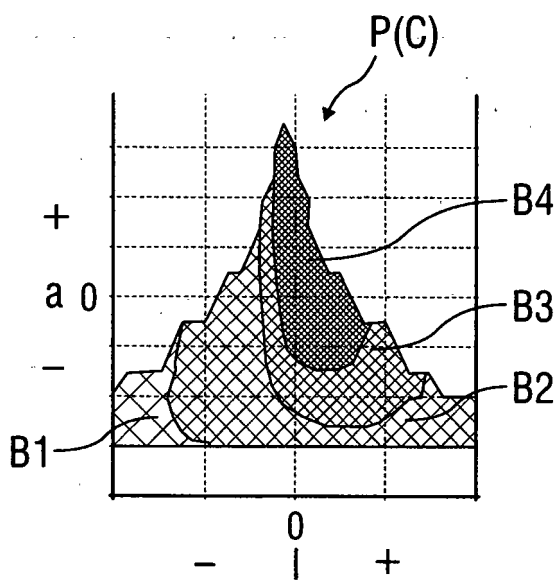


FIG 2B

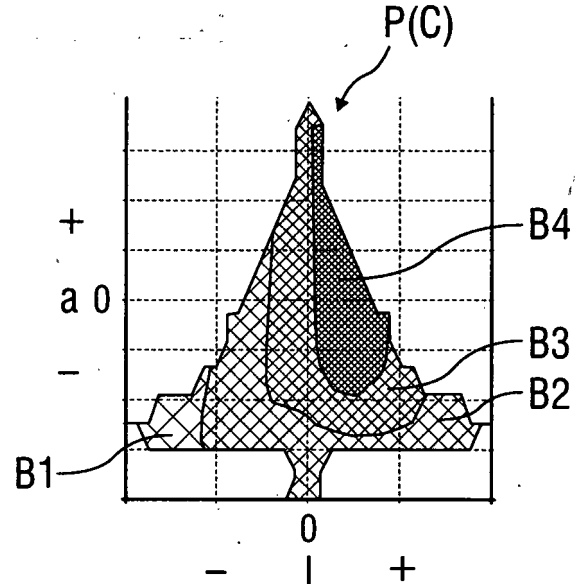


FIG 2C

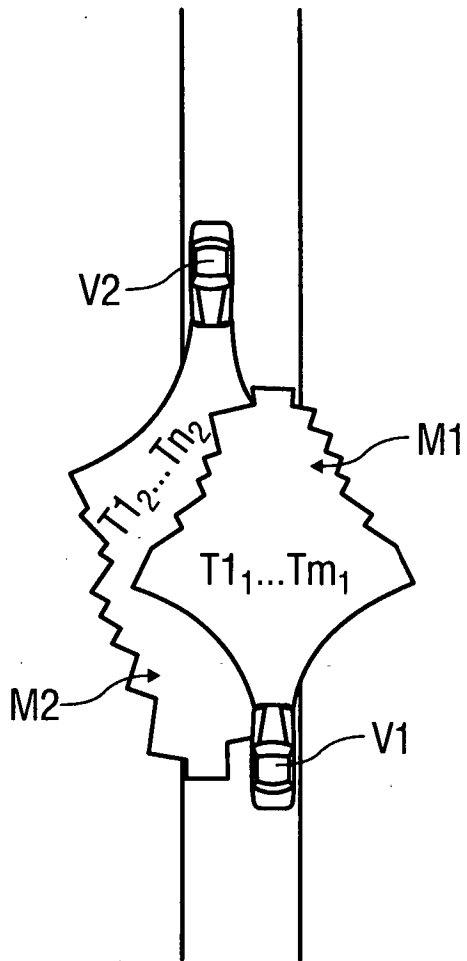


FIG 3A

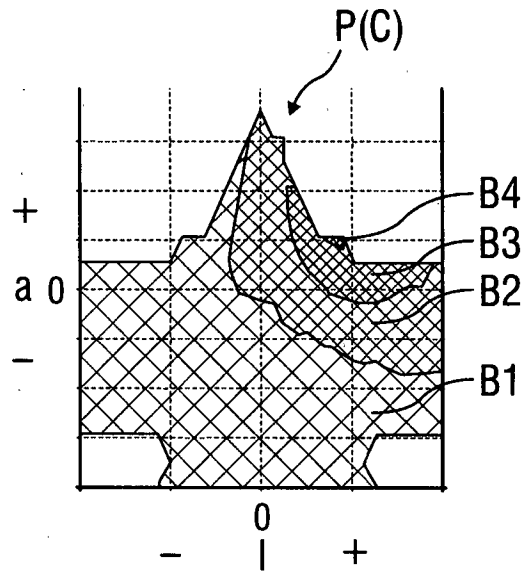


FIG 3B

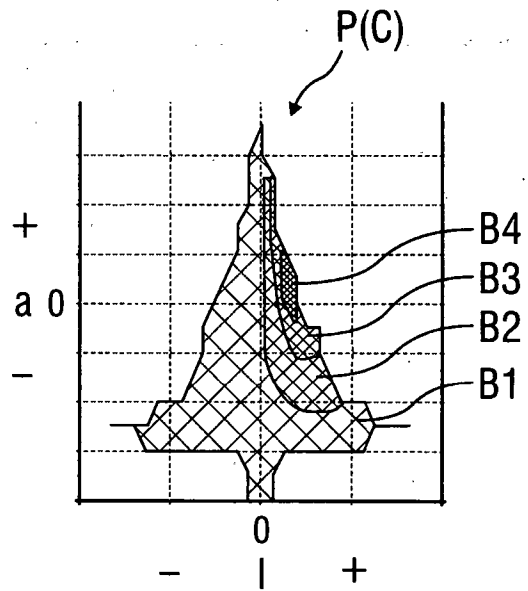


FIG 3C

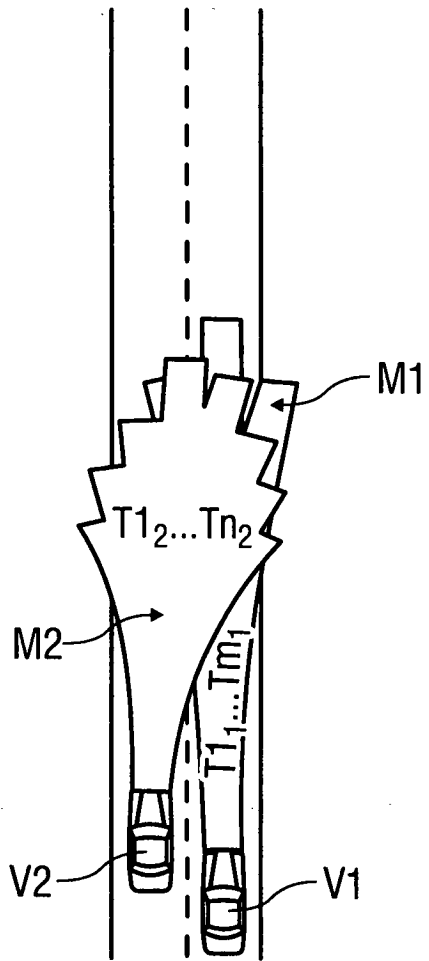


FIG 4A

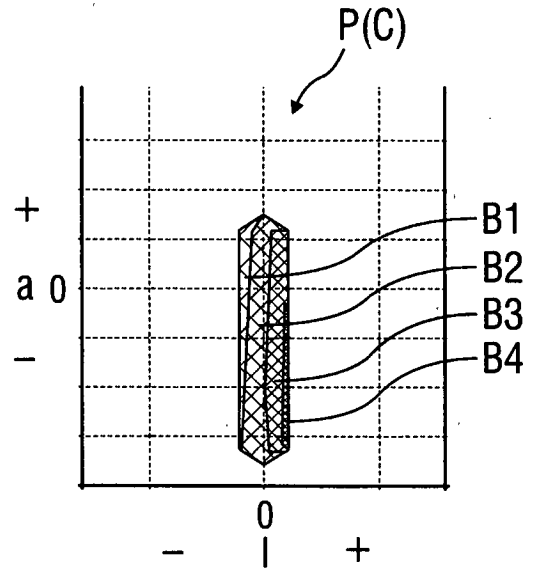


FIG 4B

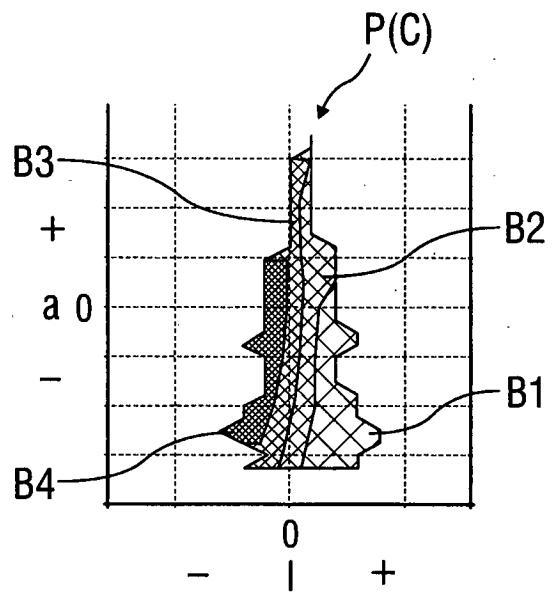


FIG 4C

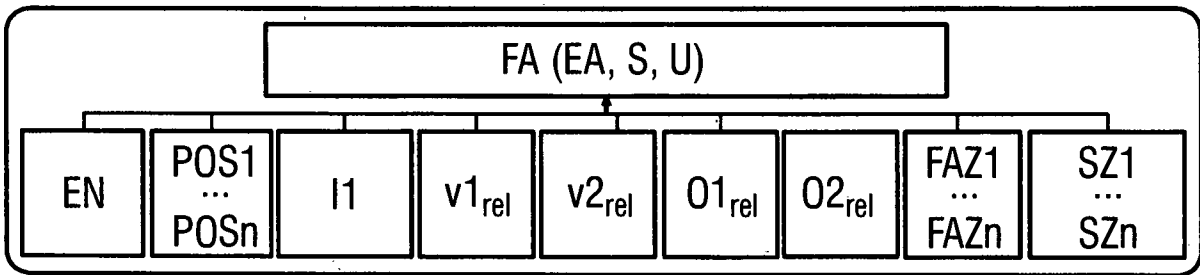


FIG 5

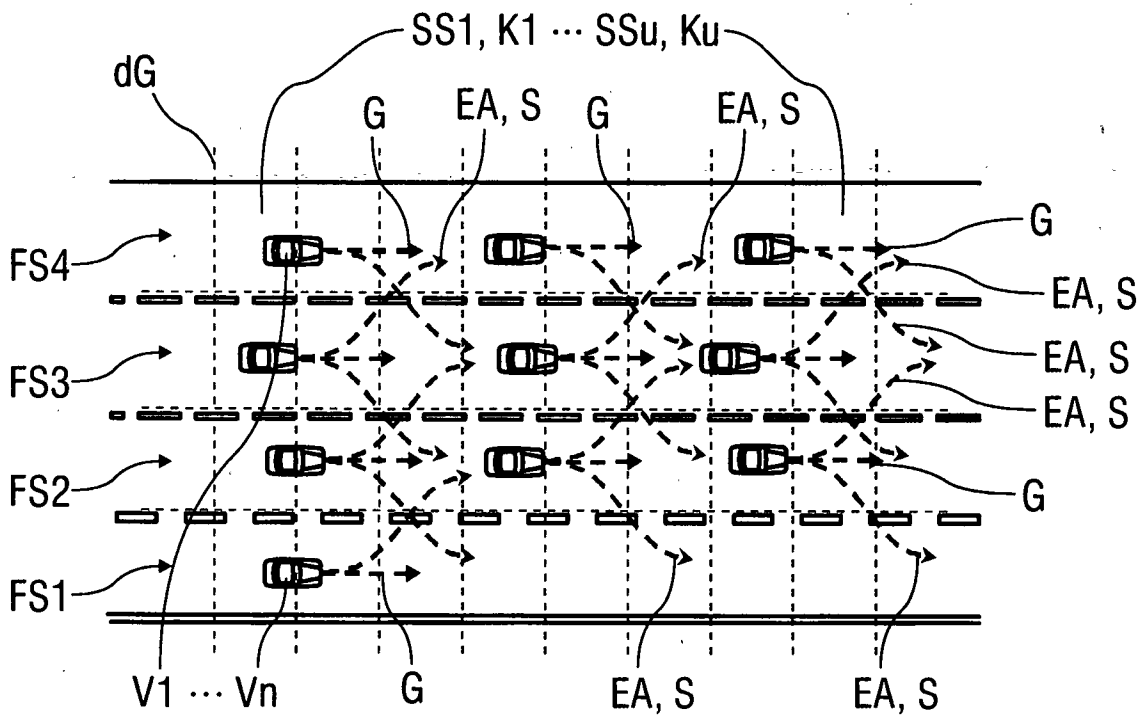


FIG 6

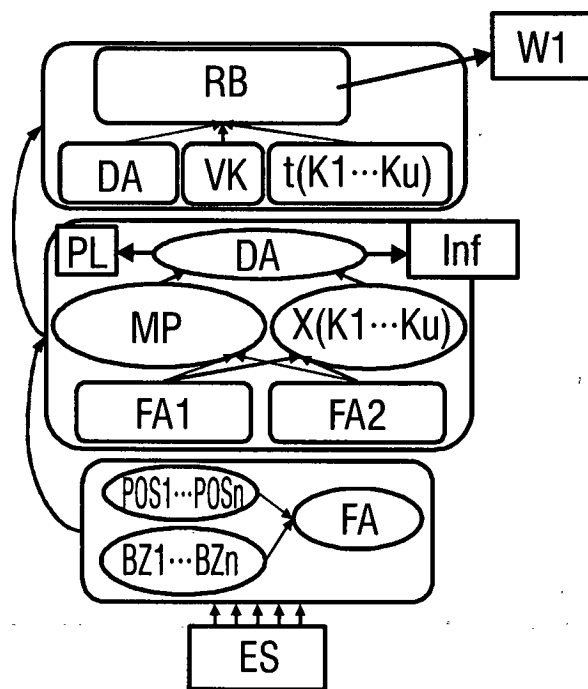


FIG 7

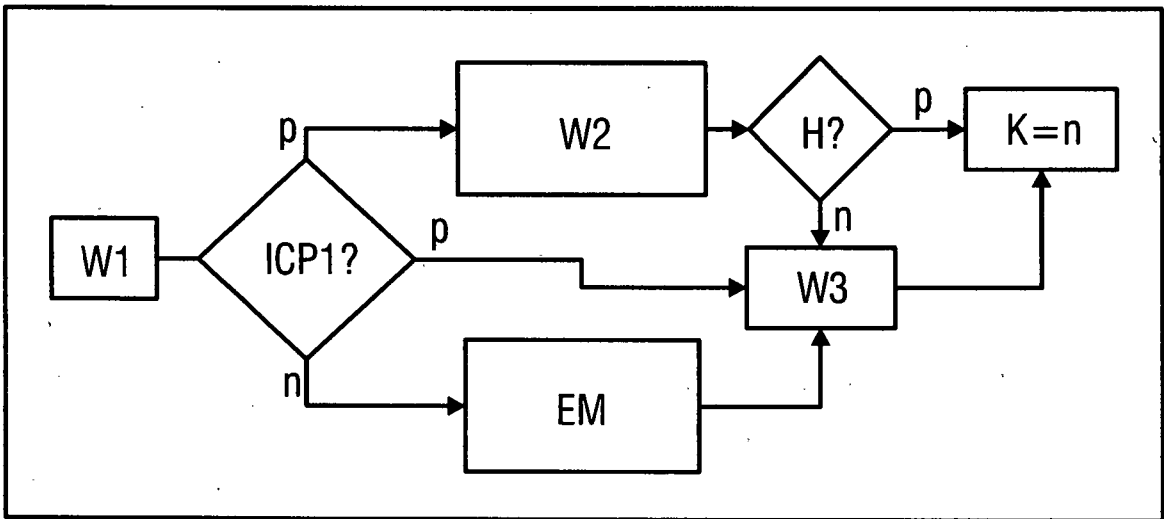


FIG 8

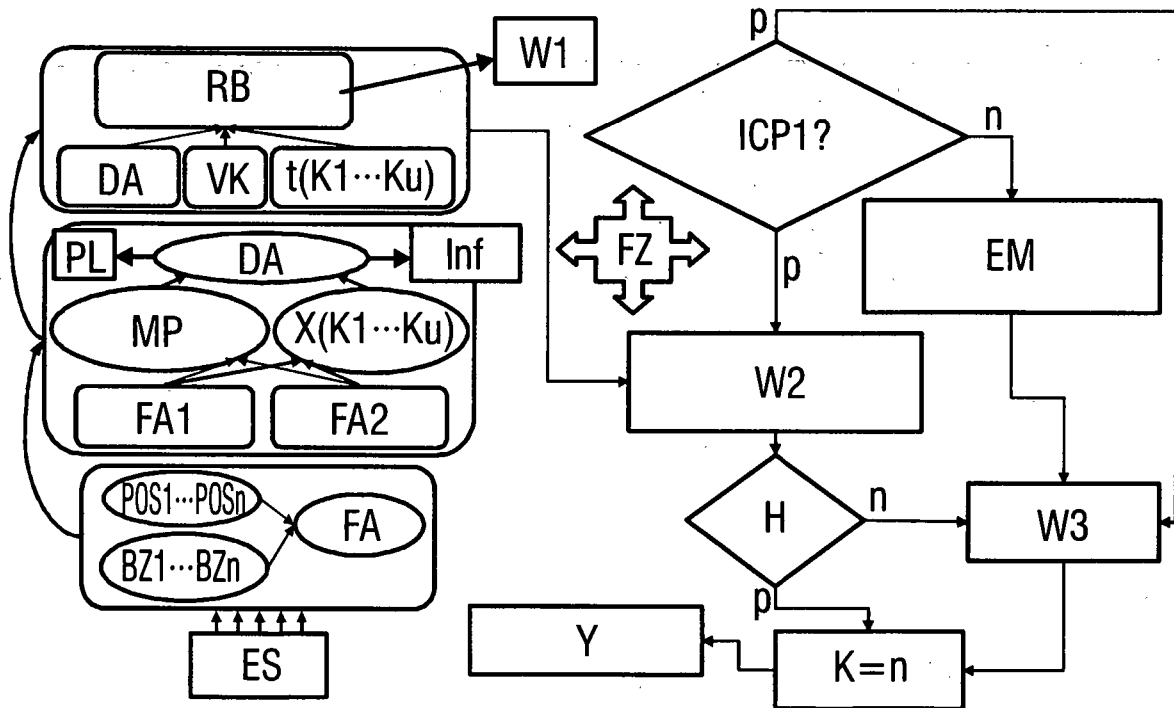


FIG 9