



(10) **DE 10 2018 005 864 A1** 2019.07.04

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 005 864.7**

(22) Anmeldetag: **26.07.2018**

(43) Offenlegungstag: **04.07.2019**

(51) Int Cl.: **G08G 1/16 (2006.01)**

**B60W 30/08 (2012.01)**

(71) Anmelder:

**Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

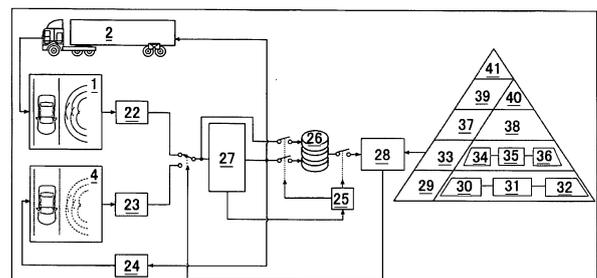
**Elgharbawy, Mohamed, 70374 Stuttgart, DE;  
Schwarzhaupt, Andreas, Dr.-Ing., 76829 Landau,  
DE; Scherhauser, Ingo, Dipl.-Ing. (FH), 73663  
Berglen, DE; Gut, Matthias, Dipl.-Ing. (FH), 72760  
Reutlingen, DE; Frey, Michael, Dr.-Ing., 76275  
Ettlingen, DE**

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 zum Testen eines Totwinkelassistentensystems für ein Fahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistentensystems (3) für ein Fahrzeug (2), insbesondere für einen Lastkraftwagen. Erfindungsgemäß werden im Bereich einer Schleppkurve befindliche Umgebungsobjekte durch Sensoren erfasst und deren Abstand und Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug (2) ausgewertet, wobei eine Kritikalität von erfassten Umgebungsobjekten mittels einer Clusteranalyse bestimmt wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistenzsystems für ein Fahrzeug nach den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik sind Totwinkelassistenzsysteme für Fahrzeuge allgemein bekannt. Ebenso ist es allgemein bekannt, derartige Totwinkelassistenzsysteme, insbesondere in einer Entwicklungsphase, zu testen. Um die wahrscheinlichsten Ursachen für einen oder mehrere Fehler zu identifizieren, werden zeitaufwendige manuelle Datenanalysen üblicherweise innerhalb vorgegebener Zeitabschnitte durchgeführt. Darüber hinaus ist ein zeitaufwändiges Studium der Daten notwendig, um die Fehlerursachen zu analysieren.

**[0003]** In der noch nicht veröffentlichten DE 10 2017 009 971.5 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, wird ein Verfahren zum Testen eines Spurhalteassistenzsystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, beschrieben. In diesem Verfahren wird ontologiebasiert eine Kategorie adäquater und relevanter Szenarien für existierende Feldtests extrahiert.

**[0004]** In der noch nicht veröffentlichten DE 10 2018 004 429.8 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen eines Bremsassistenzsystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, beschrieben. In diesem Verfahren wird eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen basierend auf erfassten Sensorsignalen zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs ermittelt.

**[0005]** In der DE 10 2009 041 556 A1 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, wird ein Fahrzeug mit einer Totwinkelassistenzeinrichtung beschrieben. Die Totwinkelassistenzeinrichtung weist mehrere Sensoren an einer Frontseite des Fahrzeugs auf. Weitere Sensoren der Totwinkelassistenzeinrichtung sind im Wesentlichen längs einer gesamten an die Frontseite anschließenden Längsseite des Fahrzeugs verteilt angeordnet. Mit der Totwinkelassistenzeinrichtung ist die Position eines Objekts relativ zu dem Fahrzeug bestimmbar.

**[0006]** In der DE 10 2010 048 144 A1 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, wird ein Fahrzeug mit einer Frontseite und einer Längsseite und mit einer Überwachungseinrichtung zur Überwachung des Umgebungsbereichs des Fahrzeugs beschrieben. Die Überwachungseinrichtung umfasst einen Sensor, der am Fahrzeug so angeordnet und/oder so beschaffen ist, dass mit ihm ein Umgebungsbereich erfassbar ist, welcher sich abschnittsweise entlang der Längsseite erstreckt und über die gesamte Länge der Längsseite verläuft und welcher abschnittsweise vor der Frontseite verläuft.

**[0007]** In der DE 10 2009 041 555 A1 der Anmelderin, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Referenz aufgenommen wird, werden ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Warnen eines Fahrzeugführers vor einem Objekt beschrieben. In dem Verfahren wird der Umgebungsbereich des Fahrzeugs überwacht und es wird unbedingt ein Warnsignal ausgegeben, wenn in dem überwachten Umgebungsbereich ein bewegtes Objekt erfasst wird. Wird in dem überwachten Umgebungsbereich ein stationäres Objekt erfasst, so wird ein Fahrkorridor ermittelt und der Fahrzeugführer wird gewarnt, wenn sich das stationäre Objekt in dem Fahrkorridor befindet.

**[0008]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistenzsystems für ein Fahrzeug anzugeben.

**[0009]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistenzsystems für ein Fahrzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

**[0010]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0011]** In einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistenzsystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, werden im Bereich einer Schleppkurve befindliche Umgebungsobjekte erfasst, insbesondere durch Sensoren erfasst, insbesondere optisch und/oder mittels mindestens eines Radarsensors erfasst, und deren Abstand und Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug werden ausgewertet, wobei eine Kritikalität von erfassten Umgebungsobjekten mittels einer Clusteranalyse bestimmt wird. Bei einem solchen Totwinkelassistenzsystem ist somit eine Erfassung eines Fahrzeugumfeldes notwendig. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens werden Nachteile des oben genannten Standes der Technik vermieden. Insbesondere wird eine automatische oder automatisierte Fehlerursachenanalyse von ereignisbasierten Fahrsituationen und Systemzuständen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs ermittelt.

**[0012]** Bei der Durchfahrt einer Kurve werden Vorderräder des Fahrzeugs auf einer durch den Lenkeinschlag vorgegebenen Leitlinie geführt. Die Hinterräder hingegen bewegen sich, in Abhängigkeit von den Abmessungen des Fahrzeugs, auf einer zur Kurveninnenseite nachlaufenden Schleppkurve. Das Totwinkelassistentensystem umfasst eine Umfelderkennungseinheit zur Erfassung eines Relativabstandes und einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Fahrzeug und einem sich im Schleppkurvenbereich des Fahrzeugs befindlichen Objekt.

**[0013]** Eine Trajektorien-Prädiktion der Schleppkurve ist für das Totwinkelassistentensystem notwendig, um die Kritikalität des Objekts zu bestimmen. Aus den Umfelderkennungsdaten werden bewegte Objekte, Randbebauungen und Straßenbegrenzungen, wie z.B. Leitpfosten und Leitplanken, sowie Verkehrsschilder ermittelt und entsprechende Umgebungsdaten generiert und an die Steuereinheit weitergeleitet.

**[0014]** In dem Verfahren zum Testen des Totwinkelassistentensystems für ein Fahrzeug, insbesondere für einen Lastkraftwagen, wird vorteilhafterweise ontologiebasiert eine Kategorie adäquater und relevanter Szenarien für existierende Feldtests, insbesondere unter Verwendung von Kritikalitätsschwellen für eine Trajektorienplanung, extrahiert, wobei worst-case-Szenarien, d. h. ungünstigster-Fall-Szenarien, mittels Data-Mining und/oder mittels Äquivalenzklassen extrahiert und in Anforderungen für eine adaptive Testabdeckung transformiert werden.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ermöglichen eine adaptive Testabdeckung für das Totwinkelassistentensystem.

**[0016]** Das Verfahren ermöglicht es, eine Kluft zwischen wissensbasierten und datenbasierten Ansätzen zu schließen, um eine kontinuierliche Erweiterung des Wissens in der adaptiven Testabdeckung zu ermöglichen.

**[0017]** Vorteilhafterweise wird eine automatisierte Fehlerursachenanalyse durch äquivalenzklassenorientierte Charakterisierung von Fahrsituationen anhand eines Ereignisprotokolls auf Basis erfasster Sensorsignale zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs ermittelt. Insbesondere wird eine clusteranalytische Charakterisierung von Fahrsituationen basierend auf den erfassten Sensorsignalen zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs ermittelt.

**[0018]** Vorteilhafterweise wird zusätzlich zum Testen einer Funktionalität eines Gesamtsystems eine Funktionalität von Teilsystemen getestet.

**[0019]** Vorteilhafterweise werden Open-Loop-Erfassungsdaten aus den verschiedenen Informationsquellen bei den charakterisierten Fahrsituationen mithilfe einer Datenbank in Closed-Loop-Steuerungsdaten für die zu testenden Szenarien transformiert.

**[0020]** Vorteilhafterweise wird ein aussagekräftiges Abbruchkriterium für das Testen eines Totwinkelassistentensystems geliefert, welches anhand der Bewertung des Verhaltens von einzelnen Komponenten sowie dem Gesamtsystem definiert ist.

**[0021]** Im Verfahren werden als obligatorische Verfahrensschritte beispielsweise folgende Schritte durchgeführt, wobei deren Reihenfolge veränderbar ist:

- I. Verifikation des Totwinkelassistentensystems und Ausschluss logischer Fehler mit Hilfe einer sogenannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform
- II. Durchführung von Simulationsrechnungen für definierte Testszenarien auf einer sogenannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform
- III. Ableitung der Kritikalitätsschwelle aus den Simulationsergebnissen
- IV. Äquivalenzklassenorientierte Fehlerursachenanalyse basierend auf Warnereignissen des Totwinkelassistentensystems und Bestimmung der optimalen Anzahl von Äquivalenzklassen
- V. Bestimmung der jeweiligen Äquivalenzklasse aus dem Ereignisprotokoll
- VI. Ableitung von worst-case-Szenarien, d. h. von ungünstigsten-Fall-Szenarien
- VII. Zergliedern von Felddaten in ein für die synthetische Umgebung geeignetes Format
- VIII. Kombination von Einzelergebnissen zu einem Testablauf
- IX. Beschreiben des Testablaufs in einem De-facto-Standardformat

- X. Testausführung auf einer so genannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform
- XI. Auswertung von Testfällen mittels Kritikalitätsschwellen sowie Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien
- XII. Anwendung der adaptiven Testabdeckung

**[0022]** Eine weitere Vorgehensweise zur Berücksichtigung zusätzlicher Felddaten bei bereits ermittelten charakteristischen Äquivalenzklassen der Systemeingangsgrößen sieht beispielsweise vor:

- XIII. Vergleich der zusätzlichen Felddaten mit charakteristischen Äquivalenzklassen
- XIV. Ggf. Erweiterung der Anzahl der Äquivalenzklassen für die Gruppierung
- XV. Wiederholung und Anwendung der Schritte von **II** bis **XII**.

**[0023]** Alternativ werden im Verfahren als obligatorische Verfahrensschritte beispielsweise folgende Schritte durchgeführt, wobei deren Reihenfolge veränderbar ist:

- I. Bestimmung der Kritikalitätsschwelle mittels einer sogenannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform
- II. Umfeld erfassungsdatenauswahl zur semantischen Beschreibung ereignisbasierter Fahrsituationen
- III. Rausch- oder Ausreißerfilterung und Ermittlung von relevanten Mustern mit relevanten Zeitintervallen
- IV. Identifikation geeigneter Ähnlichkeitsmetriken und Umfeld erfassungsdatennormalisierung zum semantischen Vergleich der aufgezeichneten Umfeld erfassungsdaten
- V. Clusteringsanalyse basierend auf Warnereignissen des Totwinkelassistentensystems und Bestimmung der optimalen Anzahl von Clustern
- VI. Training eines Klassifikators mit markierten Clusterdaten
- VII. Anwendung des Klassifikators mit neuen aufgezeichneten Umfeld erfassungsdaten
- VIII. Nutzung der klassifizierten Clusterdaten zur Ermittlung der charakteristischen Verläufe der Systemeingangsgrößen für die jeweilige Gruppierung
- IX. Identifikation eines zu den charakteristischen Verläufen zugehörigen Szenarien
- X. Bestimmung der jeweiligen Gruppe durch eine Parameter- und Signalschätzung von der Zeitreihenanalyse
- XI. Ableitung von worst-case-Szenarien, d. h. von ungünstigsten-Fall-Szenarien
- XII. Zergliedern von Felddaten in ein für die synthetische Umgebung geeignetes Format
- XIII. Kombination von Einzelergebnissen zu einem Testablauf
- XIV. Beschreiben des Testablaufs in einem De-facto-Standardformat
- XV. Testausführung auf einer so genannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform
- XVI. Auswertung von Testfällen mittels Kritikalitätsschwellen sowie Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien
- XVII. Anwendung der adaptiven Testabdeckung

**[0024]** Eine weitere Vorgehensweise zur Berücksichtigung zusätzlicher Felddaten bei bereits ermittelten charakteristischen Verläufen der Systemeingangsgrößen sieht beispielsweise vor:

- XVIII. Vergleich der zusätzlichen Felddaten mit charakteristischen Verläufen
- XIX. Ggf. Erweiterung der Anzahl der Cluster für die Gruppierung
- XX. Wiederholung und Anwendung der Schritte von **III** bis **XVII**.

**[0025]** Alternativ werden im Verfahren als obligatorische Verfahrensschritte beispielsweise folgende Schritte durchgeführt, wobei deren Reihenfolge veränderbar ist:

Initialisierung des Testverfahrens

I. Überprüfung des Systems und Ausschluss logischer Fehler mit Hilfe einer sogenannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform

II. Durchführung von Simulationsrechnungen für definierte Testszenarien auf einer sogenannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform

III. Ableitung der Kritikalitätsschwelle aus den Simulationsergebnissen

Clusteringsanalyse von im Fahrversuch aufgezeichneten Daten

IV. Auswahl relevanter Umfelderfassungsdaten zur semantischen Beschreibung ereignisbasierter Fahrsituationen

V. Rausch- oder Ausreißerfilterung und Ermittlung von relevanten Mustern mit relevanten Zeitintervallen

VI. Identifikation geeigneter Ähnlichkeitsmetriken und Normalisierung von Umfelderfassungsdaten zum semantischen Vergleich der aufgezeichneten Umfelderfassungsdaten

VII. Clusteringsanalyse basierend auf Warnereignissen des Totwinkelassistenzsystems und Bestimmung der optimalen Anzahl von Clustern

Klassifizierung von im Fahrversuch aufgezeichneten Daten

VIII. Training eines Klassifikators mit markierten Clusterdaten

IX. Anwendung des Klassifikators mit neuen aufgezeichneten Umfelderfassungsdaten

X. Nutzung der klassifizierten Clusterdaten zur Ermittlung der charakteristischen Verläufe der Systemeingangsgrößen für die jeweilige Gruppierung

XI. Identifikation zu den charakteristischen Verläufen zugehöriger Szenarien

XII. Bestimmung der jeweiligen Gruppe durch eine Parameter- und Signalschätzung von der Zeitreihenanalyse

Synthese der Testszenarien

XIII. Ableitung von worst-case-Szenarien, d. h. von ungünstigsten-Fall-Szenarien

XIV. Zergliedern von Felddaten in ein für die synthetische Umgebung geeignetes Format

XV. Kombination von Einzelergebnissen zu einem Testablauf

XVI. Beschreiben des Testablaufs in einem De-facto-Standardformat

Anwendung der Testszenarien

XVII. Testausführung auf einer so genannten Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform

XVIII. Auswertung von Testfällen mittels Kritikalitätsschwellen sowie Bestanden- und Durchgefallen-Kriterien

XIX. Anwendung der adaptiven Testabdeckung

Eine weitere Vorgehensweise zur Berücksichtigung zusätzlicher Felddaten bei bereits ermittelten charakteristischen Verläufen der Systemeingangsgrößen sieht beispielsweise vor

XX. Vergleich der zusätzlichen Felddaten mit charakteristischen Verläufen

XXI. Ggf. Erweiterung der Anzahl der Cluster für die Gruppierung

XXII. Wiederholung und Anwendung der Schritte von **V** bis **XIX**

**[0026]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

**[0027]** Dabei zeigen:

**Fig. 1** schematisch eine adaptive Testabdeckung mit Äquivalenzklassen von ereignisbasierten Fahrsituationen am Beispiel eines Totwinkelassistenzsystems,

**Fig. 2** schematisch eine automatische oder automatisierte Fehlerursachenanalyse durch äquivalenzklassenorientierte Charakterisierung von Fahrsituationen anhand eines Ereignisprotokolls am Beispiel eines Totwinkelassistenzsystems,

**Fig. 3** schematisch eine Darstellung eines Szenarios mit gerader Straße zur Bestimmung einer Zeit bis zu einer Kollision mit einem überholenden Objekt,

**Fig. 4** schematisch eine Zeit bis zur Kollision mit einem überholenden Objekt mit unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten bei einem Szenario mit gerader Straße, das auf einer Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform angewendet wird,

**Fig. 5** schematisch eine Darstellung eines Fahr Szenarios mit gekrümmter Straße zur Bestimmung einer Zeit bis zur Kollision mit einem sich am Fahrbahnrand befindlichen stationären Objekt, und

**Fig. 6** schematisch eine Zeit bis zur Kollision als Wärmebild in Abhängigkeit von der Längsgeschwindigkeit und dem Querabstand, das auf einer Cluster-Hardware-in-the-Loop-Plattform angewendet wird.

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

**[0029]** Im Folgenden werden anhand der **Fig. 1** bis **Fig. 4** ein Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistentensystems **3** für ein Fahrzeug **2**, insbesondere für einen Lastkraftwagen, insbesondere zum Testen eines Warnprozesses des Totwinkelassistenten, und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben. Damit wird eine adaptive Testabdeckung **10** für den Totwinkelassistenten ermöglicht.

**[0030]** Insbesondere werden in dem Verfahren im Bereich einer Schleppkurve befindliche Umgebungsobjekte, im Folgenden auch als Objekt **Obj** bezeichnet, erfasst, insbesondere optisch und/oder mittels mindestens eines Radarsensors **6** des Fahrzeugs **2** erfasst, und deren Abstand und Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug **2** werden ausgewertet, wobei eine Kritikalität von erfassten Umgebungsobjekten mittels einer Clusteranalyse bestimmt wird.

**[0031]** Es wird eine äquivalenzklassenorientierte Charakterisierung von Fahrsituationen identifiziert, um eine Kategorie von zu testenden Szenarien für bestehende Feldtests, auch als Field Operational Tests (FOT) bezeichnet, zu extrahieren. Das Verfahren erstellt ein Konzept für eine optimierte Teststrategie für das Totwinkelassistentensystem **3**. Die Fahrsituationen sind mittels statistischer Methoden zu extrahieren und systematisch über Äquivalenzklassen in Anforderungen für die adaptive Testabdeckung **10** umzuwandeln.

**[0032]** Das beschriebene Konzept zielt darauf ab, eine Lücke zwischen wissens- und datenbasierten Ansätzen zu schließen, um eine kontinuierliche Erweiterbarkeit des Wissens in der adaptiven Testabdeckung **10** zu ermöglichen, wie in **Fig. 1** dargestellt.

**[0033]** **Fig. 1** zeigt eine automatische oder automatisierte Fehlerursachenanalyse **19** von ereignisbasierten Fahrsituationen am Beispiel des Totwinkelassistentensystems **3**, wobei eine Funktionalspezifikation **15** aus Spitzenanforderung **16** und Anwendungsfällen **17** erstellt und in natürlicher Sprache formuliert wird. Diese bildet die Basis für ein wissensbasiertes Testen **23**, welches das zu testende Totwinkelassistentensystem **3** mit konkreten Szenarien beaufschlagt.

**[0034]** Die Adaption besteht nun in der Erweiterung der mit Hilfe des wissensbasierten Testens **23** erzeugten konkreten Szenarien durch weitere logische Szenarien. Dabei kennzeichnet Bezugszeichen **1** ein natürliches Fahr Szenario, welches mit dem Fahrzeug **2** mit dem Totwinkelassistentensystem **3** in einer realen Testfahrt befahren wird, d. h. ein reales Fahr Szenario.

**[0035]** Mit Bezugszeichen **4** ist ein synthetisches Fahr Szenario gekennzeichnet, welches mit einem Radarsensormodell **5** und/oder einem optischen Sensormodell für das Totwinkelassistentensystem **3** erfasst oder in diesem oder mittels diesem für das Totwinkelassistentensystem **3** simuliert wird. Das synthetische Fahr Szenario **4** ist somit insbesondere eine Simulation.

**[0036]** Jeweilige Ereignisse **7**, **8** des Totwinkelassistentensystems **3** werden einer mit dem Bezugszeichen **9** gekennzeichneten Kritikalitätsanalyse, insbesondere auf Basis der Äquivalenzklassen von Warnereignissen, zugeführt.

**[0037]** Das Bezugszeichen **10** kennzeichnet die adaptive Testabdeckung, welche aus der Kritikalitätsanalyse **9** resultiert.

**[0038]** Bezugszeichen **11** kennzeichnet ein so genanntes Parsing, d. h. eine Konvertierung in eine De-facto-Standard-Beschreibungssprache, der zu testenden Szenarien, insbesondere worst-case-Szenarien, auf Basis der adaptiven Testabdeckung **10**. Eine Testautomation **12** und das Beschreiben der zu testenden Szenarien

beeinflussen das synthetische Fahrszenario **4** und/oder das Radarsensormodell **5** und/oder das optische Sensormodell.

[0039] Bezugszeichen **13** kennzeichnet eine Fehlerinjektion.

[0040] Bezugszeichen **14** kennzeichnet eine Fahrzeugdynamik.

[0041] Bezugszeichen **18** kennzeichnet äquivalenzklassenorientierte Ereignisse, insbesondere Systemereignisse, aus den verschiedenen Informationsquellen.

[0042] Bezugszeichen **19** kennzeichnet die automatische oder automatisierte Fehlerursachenanalyse von äquivalenzklassenorientierten Ereignissen **18**.

[0043] Bezugszeichen **20** kennzeichnet ein Ereignisprotokoll.

[0044] Bezugszeichen **21** kennzeichnet eine ontologiebasierte Szenariosynthese.

[0045] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung des Verfahrens und der Vorrichtung zur Evaluierung des Totwinkelassistenzsystems **3** mittels Äquivalenzklassen und automatischer Ursachenanalyse von Fehlern.

[0046] Bezugszeichen **1** kennzeichnet auch hier das natürliche Fahrszenario und somit eine reale Testfahrt.

[0047] Bezugszeichen **2** kennzeichnet auch hier das Fahrzeug, beispielsweise ein realer Lastkraftwagen.

[0048] Bezugszeichen **4** kennzeichnet auch hier das synthetische Fahrszenario und somit eine virtuelle Testfahrt, d. h. eine Simulation.

[0049] Bezugszeichen **22** kennzeichnet ein datenbasiertes Ausdauer testen.

[0050] Bezugszeichen **23** kennzeichnet das wissensbasierte Testen des Fahrzeugs **2**.

[0051] Bezugszeichen **24** kennzeichnet ein Fahrzeugverhalten in virtueller Umgebung, insbesondere ein Lastkraftwagendynamikmodell.

[0052] Bezugszeichen **25** kennzeichnet ausgelöste Ereignisse.

[0053] Bezugszeichen **26** kennzeichnet eine integrierte Datenbank.

[0054] Bezugszeichen **27** kennzeichnet eine Steuergerätplattform für Totwinkelassistentenfunktionen.

[0055] Bezugszeichen **28** kennzeichnet eine äquivalenzklassenorientierte Fehlerursachenanalyse.

[0056] Bezugszeichen **29** kennzeichnet eine Komponentenebene.

[0057] Bezugszeichen **30** kennzeichnet eine Fehlerursache auf Komponentenebene **29**.

[0058] Bezugszeichen **31** kennzeichnet einen Fehlertyp auf Komponentenebene **29**.

[0059] Bezugszeichen **32** kennzeichnet eine Fehlerwirkung auf Komponentenebene **29**.

[0060] Bezugszeichen **33** kennzeichnet eine Clusterebene.

[0061] Bezugszeichen **34** kennzeichnet eine Fehlerursache auf Clusterebene **33**.

[0062] Bezugszeichen **35** kennzeichnet einen Fehlertyp auf Clusterebene **33**.

[0063] Bezugszeichen **36** kennzeichnet eine Fehlerwirkung auf Clusterebene **33**.

[0064] Bezugszeichen **37** kennzeichnet eine Systemebene.

[0065] Bezugszeichen **38** kennzeichnet ein Risiko auf Systemebene **37**.

[0066] Bezugszeichen **39** kennzeichnet eine Funktionsebene.

[0067] Bezugszeichen **40** kennzeichnet einen Unfall auf Funktionsebene **39**.

[0068] Bezugszeichen **41** kennzeichnet eine Eigenschaftsebene.

[0069] Zum Testen ist es erforderlich, zu wissen, mit welcher Wahrscheinlichkeit  $W$  das Totwinkelassistenzsystem **3** eine Testmetrik  $T$  erfüllt. Aufgrund des Anwendungsfalls **17**  $u_A = \text{Abbiegen}$  ist diese Wahrscheinlichkeit bedingt durch:  $u_A = W(T|\text{Spurwechsel})$ . Wenn das Systemverhalten abseits des Abbiegens mitbetrachtet wird, muss der Anwendungsfall **17**  $u_A = \text{Abbiegen}$  mitbetrachtet werden. Die Gesamtwahrscheinlichkeit zur Erfüllung der Metrik wird dadurch zu

$$W_{\text{ges}} = W(T|\text{Spurwechsel}) \cdot W(\text{Spurwechsel}) + W(T|\text{Abbiegen}) \cdot W(\text{Abbiegen}) \quad (1)$$

[0070] Aus dem Ereignisprotokoll **20** kann sich herausstellen, dass der Anwendungsfall **17** Abbiegen in die zwei unterschiedlichen Teile stationäres Abbiegeobjekt und bewegtes Abbiegeobjekt aufgeteilt werden muss. Wenn das Totwinkelassistenzsystem **3** jeweils innerhalb eines klassifizierten Bereichs äquivalent sich verhält, kann die Dimension des Anwendungsfalls **17** in drei Äquivalenzklassen aufgeteilt werden  $u_A = \{\text{Spurwechsel, stationäres Abbiegeobjekt, bewegtes Abbiegeobjekt}\}$ .

[0071] Im Zuge einer Teststrategie könnte sich ergeben, dass das System auf ein stationäres Objekt **Obj** einwandfrei arbeitet, auf ein bewegtes Objekt **Obj** aber häufig versagt. Dies ließe sich dann durch die Einführung einer weiteren Dimension Objektzustand  $u_O = \{\text{bewegend, stationär}\}$  in die Beschreibung aufnehmen. Damit wären bereits sechs Szenarien in der Testmetrik zu testen.

[0072] Allgemein lässt sich ein Szenario  $S$  als die Kombination je einer Äquivalenzklasse jeder Dimension definieren  $S = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ . Die Gesamtwahrscheinlichkeit zur Erfüllung der Metrik ergibt sich allgemein für  $n$  Dimensionen  $u_n$  zu  $W_{\text{ges}}(T) = \sum W(T|S_i) \cdot W(S_i)$ , wobei sich die Anzahl an Szenarien  $i$  aus der Mächtigkeit an Äquivalenzklassen aller Dimensionen zu  $\prod_{i=0}^{u_n} i$  ergibt.

[0073] Die Bestimmung  $W(T|S_i)$  bedarf im Experiment konkreter Szenarien. Die Gesamtsumme verschiedener Szenarien dient als Referenzwert für die Anzahl der unterschiedlichen Situationen und ist für die optimierte Teststrategie des Totwinkelassistenzsystems **3** entscheidend. Diese Plausibilisierung wird im Ereignisprotokoll **20** aufgenommen, um automatisiert die äquivalenzklassenorientierte Fehlerursachenanalyse **28** durchzuführen.

[0074] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines Fahrerszenarios mit gerader Straße, welches zur Bestimmung einer Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision mit einem sich hinter dem Fahrzeug **2** befindlichen bewegten Objekt **Obj** ausgeführt wird. Das Fahrzeug **2** bewegt sich mit einer Längsgeschwindigkeit  $v_{\text{ego}}^X$  und einer Quergeschwindigkeit  $v_{\text{ego}}^Y \cdot \phi_{\text{ego}}$  ist eine Gierrate des Fahrzeugs **2**. Das Objekt **Obj** bewegt sich mit einer Längsgeschwindigkeit  $v_{\text{obj}}^X$  und einer Quergeschwindigkeit  $v_{\text{obj}}^Y$ .

[0075] Eine mathematische Beschreibung der Zeit  $t_{TC}[\text{S}]$  bis zur Kollision, wenn die Beschleunigungen von Fahrzeug **2** und hinterherfahrendem oder stehendem anderen Fahrzeug im Umgebungsbereich des Fahrzeugs **2** zeitlich konstant sind, ist wie folgt:

$$t_{TC} = \frac{d_{TC}}{v_{\text{rel}}^X}, \quad \forall v_{\text{rel}}^X > 0 \quad (1)$$

[0076] Dabei ist  $d_{TC}[\text{m}]$  die Distanz bis zur seitlichen Kollision des Fahrzeugs **2** mit dem sich hinter dem Fahrzeug **2** befindenden Objekt **Obj**,  $a_{\text{rel}}^X[\text{km/h}]$  ist eine Relativlängsgeschwindigkeit zwischen dem Fahrzeug und

dem hinterherfahrenden oder stehenden Objekt **Obj**. Die jeweilige Angabe in eckigen Klammern gibt die Dimension des jeweiligen Parameters an.

[0077] Für veränderliche Relativbeschleunigungen  $a_{rel}^X$  zwischen dem Fahrzeug **2** und dem hinterherfahrenden oder stehenden Objekt **Obj** ist die mathematische Beschreibung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, wie folgt:

$$t_{TC} = \frac{v_{rel}^X - \sqrt{(v_{ego}^X)^2 - 2 * a_{rel}^X * d_{rel}^X}}{a_{rel}^X}, \quad \forall v_{rel}^X > 0 \quad (2)$$

[0078] Im Folgenden wird eine Kritikalitätsanalyse **9** für die Ermittlung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision beschrieben.

[0079] Zunächst erfolgt eine Extraktion von Parametern für Systemeigenschaften anhand neu entwickelter Kritikalitätsmetriken, zum Beispiel die Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, wie in **Fig. 4** gezeigt.

[0080] **Fig. 4** zeigt eine Identifizierung von Parametern anhand synthetischer Fahrdaten im Koordinatensystem des Radarsensormodells **5** und/oder optischen Sensormodells, welche an der Cluster-Hardware-in-the-

Loop-Plattform angewendet werden. Auf der Abszissenachse ist die Relativlängsgeschwindigkeit  $v_{rel}^X$  zwischen dem bewegten Objekt **Obj** und dem Fahrzeug **2** und auf der Ordinatenachse die Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision abgetragen.

[0081] Als weiteres Beispiel für ein konkretes Szenario zeigt **Fig. 5** eine schematische Darstellung eines Fahr Szenarios mit gekrümmter Straße, welches zur Bestimmung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision mit einem sich mit einem Querabstand  $d_y$  zum Fahrzeug **2** am Fahrbahnrand befindlichen stationären Objekt **Obj**, zum Beispiel einem Fußgänger, ausgeführt wird. Dabei bewegt sich eine Hinterachse des Fahrzeugs **2** auf einem Kurvenradius  $r_r$ , welcher deutlich geringer ist als ein Kurvenradius  $r_f$  einer Vorderachse des Fahrzeugs **2**. Dieser Effekt tritt insbesondere bei kleinen Kurvenradien  $r_f$ ,  $r_r$ , also bei geringen Längsgeschwindigkeiten  $v_{ego}^X$ , auf.

[0082] Bezugszeichen  $l_w$  kennzeichnet einen Radstand des Fahrzeugs **2**.

[0083] Bezugszeichen **p1** kennzeichnet eine erste Position am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn.

[0084] Bezugszeichen **p2** kennzeichnet eine zweite Position am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn.

[0085] Bezugszeichen **p3** kennzeichnet eine dritte Position am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn.

[0086] Bezugszeichen **p4** kennzeichnet eine vierte Position am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn.

[0087] Bezugszeichen **p5** kennzeichnet eine fünfte Position am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn.

[0088] Bezugszeichen  $u_f$  kennzeichnet einen Geschwindigkeitsvektor der Vorderachse des Fahrzeugs **2**.

[0089] Bezugszeichen  $u_r$  kennzeichnet einen Geschwindigkeitsvektor der Hinterachse des Fahrzeugs **2**.

[0090] Bezugszeichen  $\beta_r$  kennzeichnet einen Schwimmwinkel der Hinterachse des Fahrzeugs **2**.

[0091] Bezugszeichen  $\delta_f$  kennzeichnet einen Vorderradlenkwinkel des Fahrzeugs **2**.

[0092] Durch die Änderung des jeweils aktuellen Kurvenradius des am stationären Objekt **Obj** vorbeifahrenden Fahrzeugs **2** und der damit verbundenen Änderung des Querabstands  $d_y$  ergibt sich eine Änderung der

Quergeschwindigkeit  $v_{ego}^Y$ . Für veränderliche Relativgeschwindigkeit  $v_{rel}^Y$  zwischen dem Fahrzeug **2** und dem Objekt **Obj**, welche beim stationären Objekt **Obj** der Quergeschwindigkeit  $v_{ego}^Y$  entspricht, ist die mathematische Beschreibung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision, wie folgt:

$$t_{TC} = \frac{d_Y}{v_{rel}^Y} = \frac{d_Y}{v_{ego}^Y}, \quad \forall v_{rel}^Y > 0 \quad (3)$$

**[0093]** Für dieses Szenario wird ebenfalls eine Kritikalitätsanalyse **9** gemäß obiger Beschreibung durchgeführt.

**[0094]** Zur Bestimmung der Gefahrenzone wird nun das stationäre Objekt **Obj** an verschiedenen Positionen am Fahrbahnrand entlang der gekrümmten Fahrbahn positioniert. Im Folgenden wird die Berechnung der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision wiederholt. Als Ergebnis entsteht ein Wärmebild der Zeit  $t_{TC}$  bis zur Kollision in Abhängigkeit von der Längsgeschwindigkeit  $v_{ego}^X$  und dem Querabstand  $d_Y$ . **Fig. 6** zeigt beispielhaft ein solches Wärmebild.

#### Bezugszeichenliste

- |      |  |
|------|--|
| 1    | natürliches Fahrscenario                 |
| 2    | Fahrzeug                                 |
| 3    | Totwinkelassistenzsystem                 |
| 4    | synthetisches Fahrscenario               |
| 5    | Radarsensormodell                        |
| 6    | Radarsensor                              |
| 7, 8 | Ereignis                                 |
| 9    | Kritikalitätsanalyse                     |
| 10   | adaptive Testabdeckung                   |
| 11   | Parsing                                  |
| 12   | Testautomation                           |
| 13   | Fehlerinjektion                          |
| 14   | Fahrzeugdynamik                          |
| 15   | Funktionspezifikation                    |
| 16   | Spitzenanforderung                       |
| 17   | Anwendungsfall                           |
| 18   | äquivalenzklassenorientiertes Ereignis   |
| 19   | automatisierte Fehlerursachenanalyse     |
| 20   | Ereignisprotokoll                        |
| 21   | ontologiebasierte Szenariosynthese       |
| 22   | datenbasiertes Ausdauer testen           |
| 23   | wissensbasiertes Testen                  |
| 24   | Fahrzeugverhalten in virtueller Umgebung |
| 25   | ausgelöstes Ereignis                     |
| 26   | Datenbank                                |
| 27   | Steuergerätplattform                     |

<b>28</b>	äquivalenzklassenorientierte Fehlerursachenanalyse
<b>29</b>	Komponentenebene
<b>30</b>	Fehlerursache auf Komponentenebene
<b>31</b>	Fehlertyp auf Komponentenebene
<b>32</b>	Fehlerwirkung auf Komponentenebene
<b>33</b>	Clusterebene
<b>34</b>	Fehlerursache auf Clusterebene
<b>35</b>	Fehlertyp auf Clusterebene
<b>36</b>	Fehlerwirkung auf Clusterebene
<b>37</b>	Systemebene
<b>38</b>	Risiko auf Systemebene
<b>39</b>	Funktionsebene
<b>40</b>	Unfall auf Funktionsebene
<b>41</b>	Eigenschaftsebene
<b>d<sub>TC</sub></b>	Distanz bis zur Kollision
<b>d<sub>y</sub></b>	Querabstand
<b>l<sub>w</sub></b>	Radstand des Fahrzeugs
<b>Obj</b>	Objekt
<b>p1</b>	erste Position
<b>p2</b>	zweite Position
<b>p3</b>	dritte Position
<b>p4</b>	vierte Position
<b>p5</b>	fünfte Position
<b>r<sub>f</sub></b>	Kurvenradius Vorderachse
<b>r<sub>r</sub></b>	Kurvenradius Hinterachse
<b>t<sub>TC</sub></b>	Zeit bis zur Kollision
<b>u<sub>f</sub></b>	Geschwindigkeitsvektor der Fahrzeugvorderachse
<b>u<sub>r</sub></b>	Geschwindigkeitsvektor der Fahrzeughinterachse
<b>v<sub>ego</sub><sup>x</sup></b>	Längsgeschwindigkeit des Fahrzeugs
<b>v<sub>ego</sub><sup>y</sup></b>	Quergeschwindigkeit des Fahrzeugs
<b>v<sub>obj</sub><sup>x</sup></b>	Längsgeschwindigkeit des Objekts
<b>v<sub>obj</sub><sup>y</sup></b>	Quergeschwindigkeit des Objekts
<b>v<sub>rel</sub><sup>x</sup></b>	Relativlängsgeschwindigkeit zwischen Fahrzeug und Objekt
<b>β<sub>r</sub></b>	Schwimmwinkel
<b>δ<sub>f</sub></b>	Vorderradlenkwinkel des Fahrzeugs

**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 102017009971 [0003]
- DE 102018004429 [0004]
- DE 102009041556 A1 [0005]
- DE 102010048144 A1 [0006]
- DE 102009041555 A1 [0007]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Testen eines Totwinkelassistenzsystems (3) für ein Fahrzeug (2), insbesondere für einen Lastkraftwagen, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich einer Schleppkurve befindliche Umgebungsobjekte durch Sensoren erfasst werden und deren Abstand und Relativgeschwindigkeit zum Fahrzeug (2) ausgewertet werden, wobei eine Kritikalität von erfassten Umgebungsobjekten mittels einer Clusteranalyse bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassung der Umgebungsobjekte optisch und/oder mittels mindestens eines Radarsensors erfolgt.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine automatisierte Fehlerursachenanalyse (19) durch äquivalenzklassenorientierte Charakterisierung von Fahrsituationen anhand eines Ereignisprotokolls (20) auf Basis erfasster Sensorsignale zur Umfelderkennung und deren Systemreaktionen im Fahrbetrieb des Fahrzeugs (2) ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ontologiebasiert eine Kategorie adäquater und relevanter Szenarien für existierende Feldtests unter Verwendung von Kritikalitätsschwellen für eine Trajektorienplanung extrahiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zum Testen einer Funktionalität eines Gesamtsystems eine Funktionalität von Teilsystemen getestet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass worst-case-Szenarien mittels Äquivalenzklassen extrahiert und in Anforderungen für eine adaptive Testabdeckung (10) transformiert werden.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

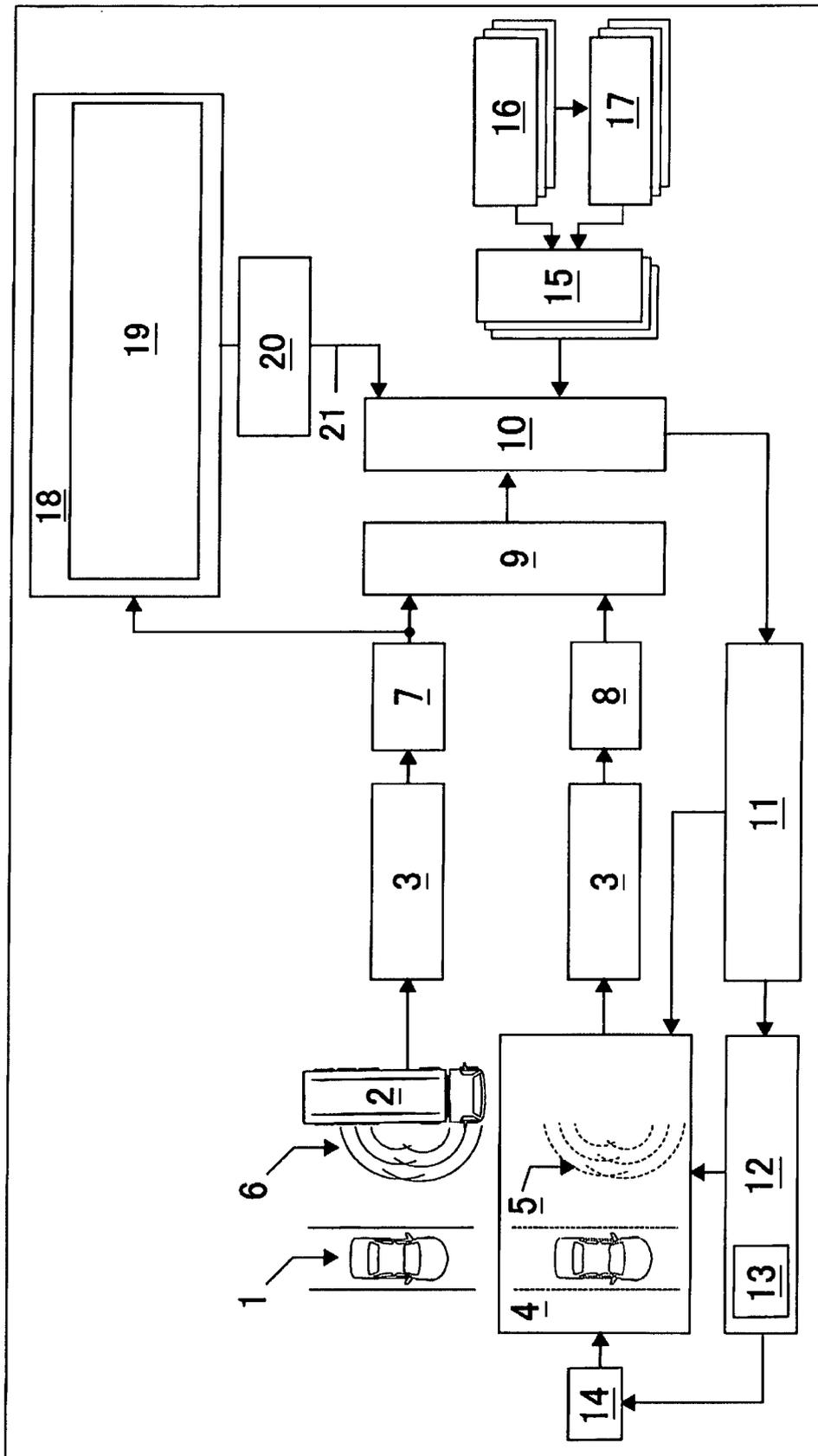


FIG 1

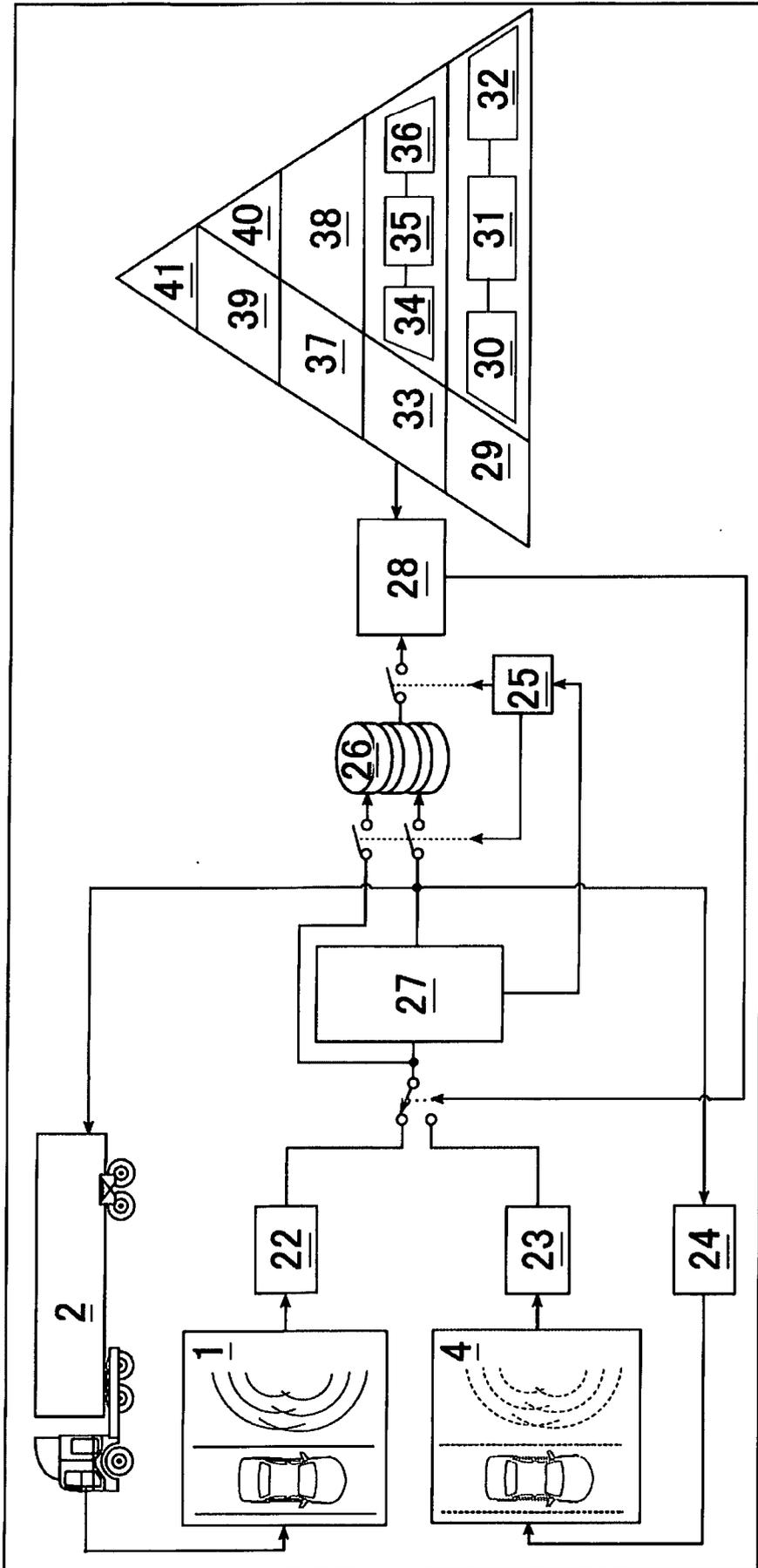


FIG 2

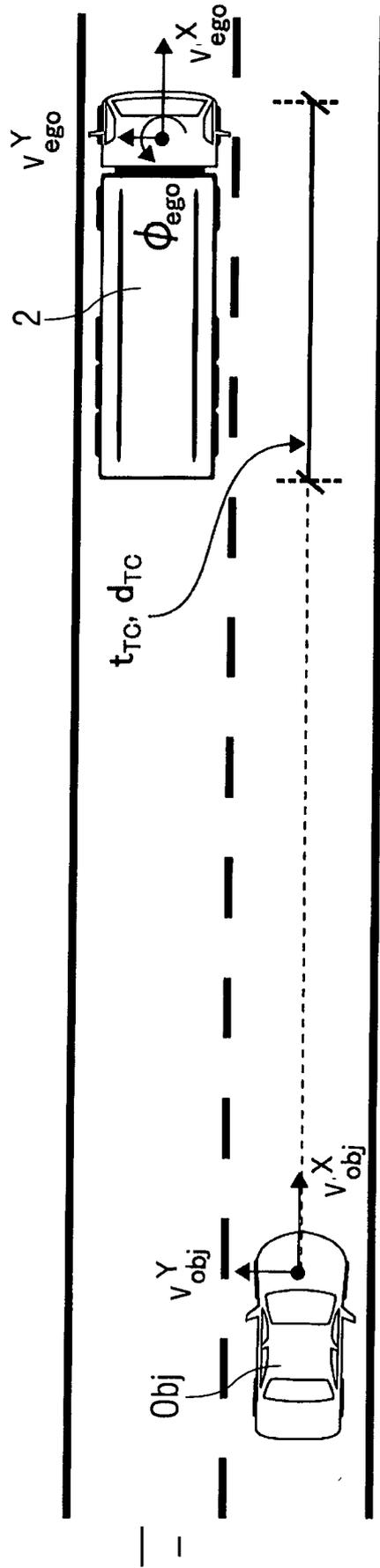


FIG 3

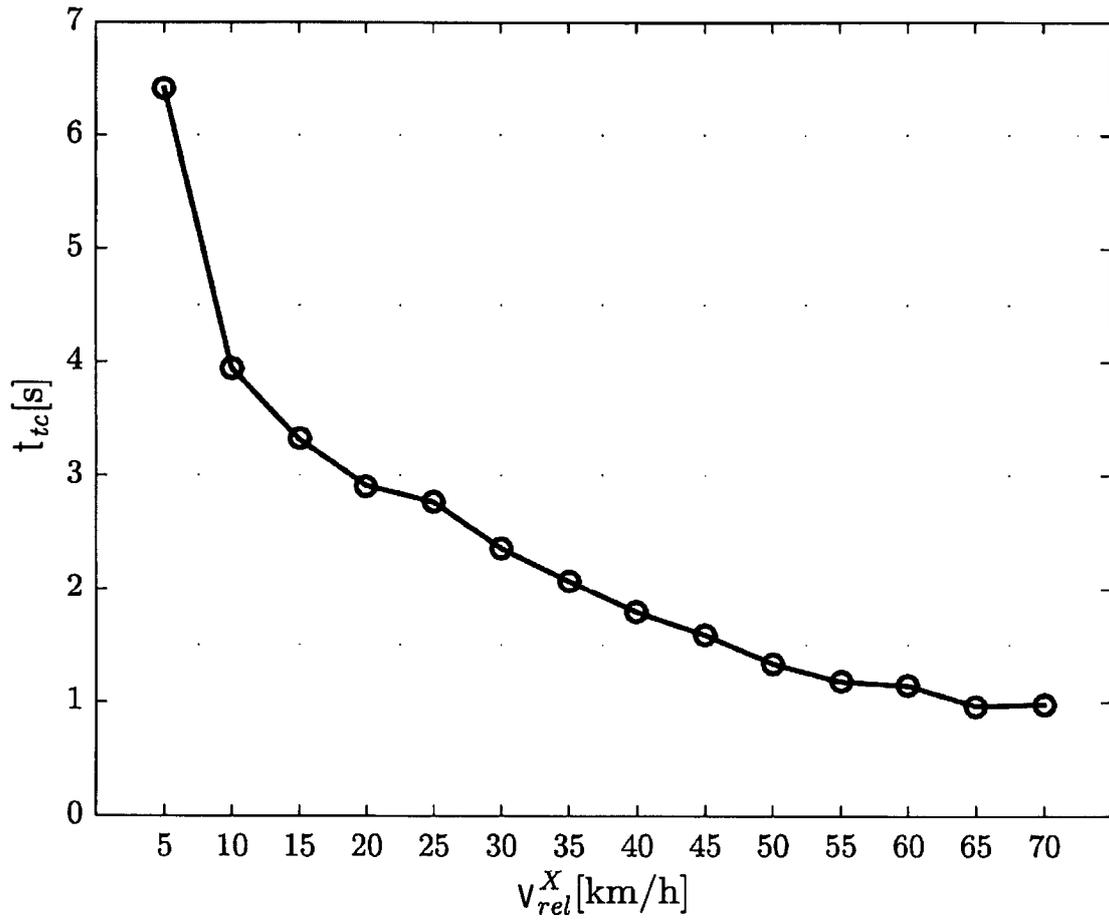


FIG 4

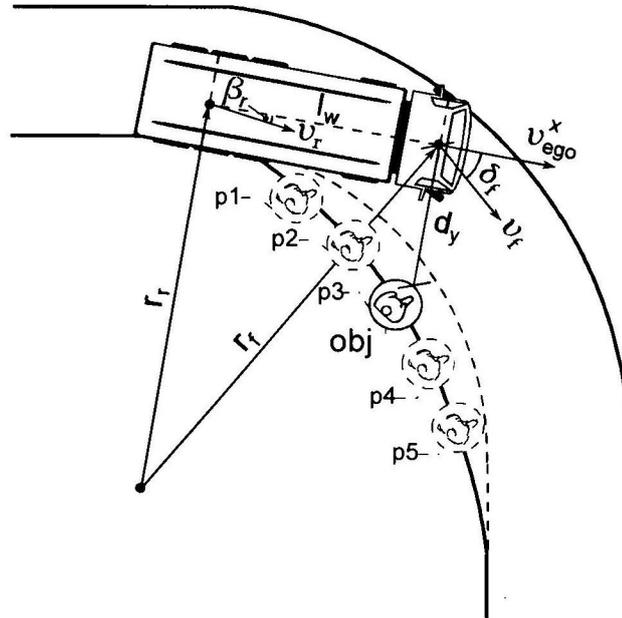


FIG 5

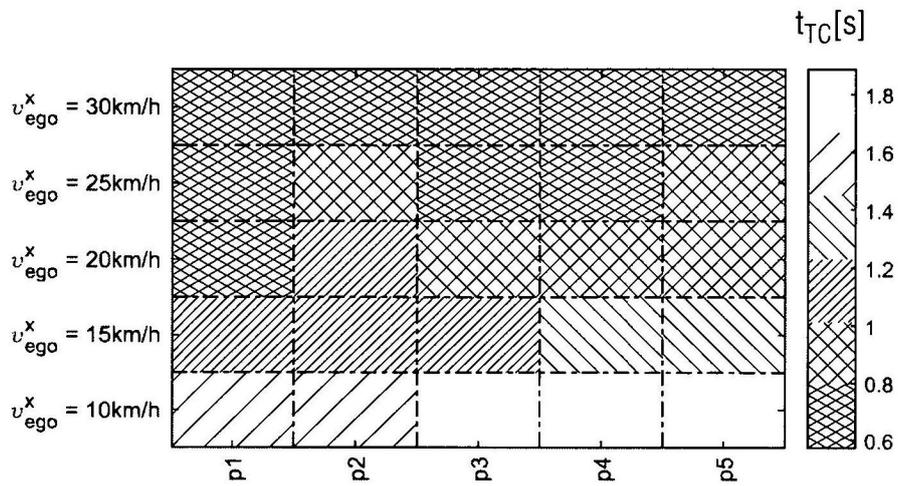


FIG 6