



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 119 179.6**

(22) Anmeldetag: **01.08.2022**

(43) Offenlegungstag: **01.02.2024**

(51) Int Cl.: **B60W 50/04 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft, 70435 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Hermann, David, 71336 Waiblingen, DE; Markofsky, Moritz, 71272 Renningen, DE; Strobel, Michael, 71691 Freiberg, DE; Schaper, Joachim, Dr.rer.nat., 63150 Heusenstamm, DE; Edinger, Markus, Dr., 74336 Brackenheim, DE; Sayer, Frank, 74374 Zaberfeld, DE; Rupp, Tille Karoline, 71254 Ditzingen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2019 124 504	A1
DE	10 2020 205 315	A1

International Civil Aviation Organization (ICAO): World Geodetic System - 1984 (WGS-84) Manual. Doc 9674 AN/946. Second Edition. Montreal, Kanada : 2002. S. 1-138. URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ECARAIM/REF08-Doc9674.pdf> [abgerufen am 2022-09-22].

Stadt Karlsruhe: UTM Koordinaten (EPSG 25832). 18-02-2022. S. 1-3. URL: https://web1.karlsruhe.de/service/Formulare/LA/Hilfe_Koordinatensysteme.pdf [abgerufen am 2022-09-22].

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

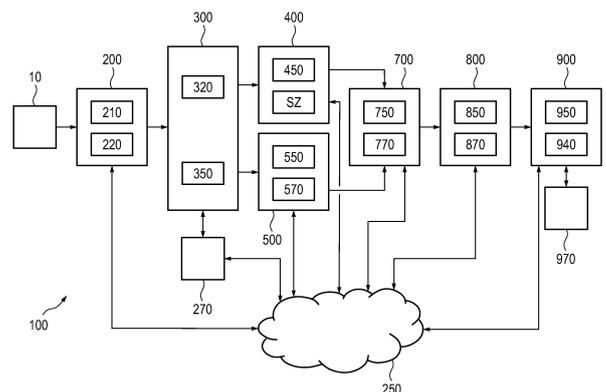
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren, System und Computerprogrammprodukt zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Testen und Trainieren eines ADAS/ADS-Systems und/oder einer Fahrfunktion für zumindest eine festgelegte Fahraufgabe in zumindest einem Szenario (SZ_i), umfassend:

- Erfassen von Sensordaten (220) durch Sensoren (210) zumindest einer Sensoreinrichtung (200), die mit zumindest einem sich bewegenden Objekt (10) verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken;
- Generieren einer Mehrzahl von Datensätzen (320) zumindest aus den Sensordaten (220) von einem Eingabemodul (300);
- Identifizieren und Klassifizieren von parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}) aus den Datensätzen (320) von einem Szenarien-Analysemodul (400);
- Identifizieren und Klassifizieren von Metadaten (570) aus den Datensätzen (320) von einem Metadaten-Analysemodul (500);
- Verknüpfen und Integrieren der Metadaten (570) mit den parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}) von einem Szenarien-Synthesemodul (700), um weitere parametrisierte Szenarien (SZ_{p_k}) zu generieren;
- Erstellen von einem oder mehreren Testfällen (T_i);
- Erstellen einer Simulationsumgebung (940) mittels des einen oder mehrerer Testfälle (T_i);
- Durchführen einer Simulation des Verhaltens eines

ADAS/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung (940) für die festgelegte Fahraufgabe.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren, ein System und ein Computerprogrammprodukt zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion.

[0002] Moderne Fahrzeuge sind mit einer Vielzahl von Fahrerassistenzsystemen bzw. automatisierten Fahrerassistenzfunktionen ausgestattet, um den Fahrer beim Fahren zu unterstützen und seine Sicherheit zu erhöhen. Fahrerassistenzsysteme unterstützen beispielsweise die Geschwindigkeits- und Abstandsregelung und beinhalten Spurhalte- und Spurwechselfunktionen. Hierbei kann eine bestimmte maximale Geschwindigkeit eingestellt werden, die nicht überschritten wird, solange die Geschwindigkeitsbegrenzungsfunktion aktiviert ist. Für die Abstandsregelung, bei der ein bestimmter Abstand insbesondere zu einem vorausfahrenden Fahrzeug eingestellt wird, werden Radarsensoren, aber auch Kamerasysteme eingesetzt. Hierdurch kann der Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen, aber auch zu Fahrzeugen im Seitenbereich überwacht werden. Dies führt zu einem verbesserten Fahrkomfort und einer höheren Sicherheit insbesondere bei Fahrten auf der Autobahn und bei Überholmanövern.

[0003] Dieser Trend zu Fahrerassistenzsystemen (engl. Advanced Driver Assistance System, ADAS) und automatisierten Fahrsystemen (engl. Automated Driving System, ADS) bei Kraftfahrzeugen, aber auch bei Luftfahrzeugen oder Wasserfahrzeugen und anderen sich bewegenden Objekten, erfordert umfangreiche Absicherungsstrategien, da die Verantwortung über die Fahrzeugführung nicht mehr uneingeschränkt beim Fahrer liegt, sondern aktive Funktionen von Rechneinheiten im Fahrzeug übernommen werden. Daher muss bei vollständig oder teilweise sich autonom bewegenden Objekten sichergestellt werden, dass diese Systeme eine sehr geringere Fehlerrate beim Fahrverhalten aufweisen. Um eine sichere Funktionsfähigkeit eines ADAS/ADS-Systems zu gewährleisten, sind die Erkennung und Klassifizierung von anderen Objekten und die Interpretation von Verkehrsszenarien im Umfeld eines sich bewegenden Objekts, insbesondere eines Fahrzeugs, wichtige Voraussetzungen. Hierfür ist das gezielte Testen und Trainieren der Fahrerassistenzsysteme und automatisierten Fahrsysteme sowohl in Extrem- und Ausnahmesituationen (engl. Corner Cases) als auch in alltäglichen Situationen erforderlich. Derartige Extremsituationen ergeben sich durch eine besondere Kombination von verschiedenen Faktoren. Beispiele hierfür sind infrastrukturelle Besonderheiten wie beispielsweise der Straßentyp, die Randbebauung an einer Straße, die Qualität der Markierungen aber auch Umgebungsbedingungen wie beispielsweise Witterungsbedingun-

gen, die Tages- und die Jahreszeit. Des Weiteren spielen das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer, die geographische Topographie und die Wetterverhältnisse eine große Rolle.

[0004] Mit zunehmender Leistungsfähigkeit von ADAS/ADS-Systemen steigt allerdings auch die Anzahl der Fahrszenarien, die von den ADAS/ADS-Systemen im Straßenverkehr bewältigt werden müssen. Für die Sicherstellung eines sicheren, komfortablen und effizienten Verhaltens eines ADAS/ADS-Systems durchlaufen daher einzelne Fahrfunktionen und das Gesamtsystem während der Fahrzeugentwicklung einen Verifizierungs-, Kalibrierungs- und Validierungsprozess.

[0005] Allerdings stellt bei der Integration von modernen ADAS/ADS-Systemen in ein Fahrzeug eine solche Verifizierung, Kalibrierung und Validierung auch eine große Herausforderung dar, da ein funktionales Spezifikationsdefizits bei Fahrerassistenzsystemen besteht. Während in der Automobilindustrie für konventionelle Systeme ein anforderungsbasierter Testprozess etabliert ist, bei dem Testfälle anhand von Testspezifikationen implementiert werden, fehlt dies bisher für ADAS/ADS-Systeme, da im Gegensatz zu konventionellen Systemen eine wesentlich größere Anzahl an Einflussgrößen zu berücksichtigen ist, wie insbesondere die Fahrumgebung, die mittels Sensoren erfasst wird. Die Menge von Szenarien, die in der Fahrumgebung des Fahrzeugs auftreten können und die von einem ADAS/ADS-System korrekt erkannt und verarbeitet werden müssen, wird durch eine Operational Design Domain (ODD) dargestellt. Dazu gehören sowohl alltägliche Fahrszenarien als auch sehr selten auftretende Corner Cases. Um ein ADAS/ADS-System für alle möglichen Fahrszenarien zu testen und zu trainieren, müsste die gesamte ODD für ein ADAS/ADS-System erfasst und in einem Anforderungskatalog dokumentiert werden. Dies ist aufgrund der Komplexität der Fahrumgebung und der daraus resultierenden großen Anzahl von Fahrszenarien nicht möglich. Dieses Problem wird als funktionales Spezifikationsdefizit bezeichnet. Es erschwert sowohl den Kalibrierungs- als auch den Validierungsprozess eines ADAS/ADS-Systems und erfordert alternative Ansätze zu den bestehenden Methoden.

[0006] Aufgrund der Herausforderungen bei der Erprobung von ADAS/ADS-Systemen werden daher neben den bekannten Methoden zunehmend virtuelle Simulationsverfahren zum Testen und Trainieren für eine Verifizierung, Kalibrierung und Validierung von ADAS/ADS-Systemen eingesetzt. Dabei müssen diese virtuellen Simulationsverfahren jedoch in einer Weise gestaltet werden, dass eine objektive Vergleichbarkeit von verschiedenen ADAS/ADS-Systemen mit sich unterscheidenden Funktionalitäts-

ten hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und Sicherheit möglich ist.

[0007] Dabei bilden jedoch die virtuell erstellten Szenarien typischerweise nur einen Bruchteil an möglichen Szenarien für ADAS/ADS-Systeme ab, denn es entstehen immer wieder neue Verkehrsszenarien und insbesondere Corner Cases durch das Abfahren von realen Verkehrsstrecken, die in der Menge von virtuell erstellten Szenarien noch nicht berücksichtigt worden sind. Zudem wird die Modellierung von Szenarien und Szenen in der Regel manuell oder semi-automatisch durchgeführt, so dass der Zeit- und Kostenaufwand für die Erstellung von Testumgebungen für eine virtuelle Erprobung sehr hoch ist.

[0008] Die US 8862346 B2 offenbart ein System und ein Verfahren zum Simulieren und Vergleichen der Leistung eines virtuellen Fahrzeugs mit einem Referenzfahrzeug mit im Wesentlichen dem gleichen Fahrzyklus und Verhalten.

[0009] Die US 9361650 B2 offenbart ein Verfahren zur Synchronisation von Fahrzeugsensorinformationen, wobei basierend auf gespeicherten Sensordaten ein virtuelles Modell eines Ereignisses, an dem das Fahrzeug beteiligt war, erstellt wird.

[0010] Die US 10026130 B1 offenbart ein Verfahren und ein System zur Bestimmung eines Kollisionsrisikos eines teilautonomen Fahrzeugs.

[0011] Die US 10789650 B1 offenbart ein System und ein Verfahren zur Rekonstruktion eines Unfalls, wobei Sensordaten des Unfalls bereitgestellt werden und basierend auf den Sensordaten ein Szenario-Modell des Unfalls erstellt wird. Hierbei können virtuelle Rekonstruktionen des Unfalls erstellt werden.

[0012] Die US 2022 048536 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Testen eines Fahrerassistenzsystems in einer Testumgebung, wobei basierend auf Messdaten automatisch Simulationsszenarien zur Validierung des Fahrerassistenzsystems erzeugt werden. Ferner werden eine Klassifizierung und ein Labeling von Sensordaten, eine Erzeugung von Meta-Informationen und eine Parametervariation offenbart.

[0013] Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe besteht nun darin, Möglichkeiten zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion mit einer vergrößerten Anzahl an virtuellen Szenarien anzugeben, so dass der Verifizierungs-, Kalibrierungs- und Validierungsprozess weniger Zeit benötigt und zudem mit einer verbesserten Effizienz durchgeführt werden kann, um die Sicherheit von ADAS/ADS-Systemen

und/oder einer Fahrfunktion zu erhöhen und Ressourcen sowie Kosten einsparen zu können.

[0014] Diese Aufgabe wird hinsichtlich eines Verfahrens durch die Merkmale des Patentanspruchs 1, hinsichtlich eines Systems durch die Merkmale des Patentanspruchs 9, und hinsichtlich eines Computerprogrammprodukts durch die Merkmale des Patentanspruchs 15 erfindungsgemäß gelöst. Die weiteren Ansprüche betreffen bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung.

[0015] Durch die vorliegende Erfindung wird die Generierung von neuen virtuellen Verkehrsszenarien durch die Verknüpfung von bereits vorliegenden, auf realen Sensordaten basierenden Szenarien mit Metadaten ermöglicht, so dass die Menge von zur Verfügung stehenden virtuellen Szenarien für die Erstellung einer Simulationsumgebung für das Testen und Trainieren eines ADAS/ADS-Systems und/oder einer Fahrfunktion insbesondere für Verifizierungs-, Kalibrierungs- und Validierungszwecke vergrößert wird. Mit dieser erweiterten Menge von Szenarien können relevante Simulationsumgebungen erstellt werden, in denen die Sicherheit und Funktionsfähigkeit eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für eine bestimmte Fahraufgabe mit einer hohen Zuverlässigkeit abgeschätzt werden kann.

[0016] Gemäß einem ersten Aspekt stellt die Erfindung ein Verfahren zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für zumindest eine festgelegte Fahraufgabe in zumindest einem Szenario bereit. Ein Szenario stellt ein Verkehrsgeschehen in einer zeitlichen Sequenz dar und ist durch eine Auswahl von Szenarioparametern und zugehörigen Szenarioparameterwerten definiert, wobei bei einem parametrisierten Szenario die Szenarioparameter und zugehörigen Szenarioparameterwerte frei wählbar sind, und bei einem konkreten Szenario die konkreten Szenarioparameter und zugehörigen konkreten Szenarioparameterwerte festgelegt sind. Das Verfahren umfasst die Verfahrensschritte:

- Erfassen von Sensordaten durch Sensoren zumindest einer Sensoreinrichtung, die mit zumindest einem sich bewegenden Objekt verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken, wobei die Sensoren die Sensordaten von der Umgebung des sich bewegenden Objekts aufnehmen;
- Generieren einer Mehrzahl von Datensätzen zumindest aus den Sensordaten von einem Eingabemodul;

- Identifizieren und Klassifizieren von parametrisierten Szenarien aus den Datensätzen von einem Szenarien-Analysemodul;

- Identifizieren und Klassifizieren von Metadaten aus den Datensätzen von einem Metadaten-Analysemodul;

- Verknüpfen und Integrieren der Metadaten mit den parametrisierten Szenarien von einem Szenarien-Synthesemodul, um weitere parametrisierte Szenarien zu generieren und damit die Menge von parametrisierten Szenarien zu vergrößern;

- Erstellen von einem oder mehreren Testfällen durch Auswählen von parametrisierten Szenarien aus der erweiterten Menge und von konkreten Szenarioparametern von einem Testagenten mittels einer Teststrategie für die Fahraufgabe;

- Erstellen einer Simulationsumgebung mittels des einen oder mehrerer Testfälle von einem Simulationsmodul;

- Durchführen einer Simulation des Verhaltens eines ADAS/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung für die festgelegte Fahraufgabe.

[0017] In einer Weiterentwicklung ist vorgesehen, dass das Szenarien-Analysemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet, und dass das Metadaten-Analysemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass das Szenarien-Synthesemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass der Testagent eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass das Simulationsmodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet.

[0018] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz als Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte, Lookup Tabellen, Modelle zu Erwartungswerten, lineare Regressionsverfahren, Gauß-Prozesse, Fast Fourier Transformationen, Integral- und Differentialrechnungen, Markov-Verfahren, Wahrscheinlichkeitsverfahren wie Monte Carlo-Verfahren, Temporal Difference Learning, erweiterte Kalman-Filter, radiale Basisfunktionen, Datenfelder, konvergente neuronale Netzwerke, tiefe neuronale Netzwerke, rückgekoppelte neuronale Netzwerke, und/oder gefaltete neuronale Netzwerke ausgebildet sind.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass ein Parameter eine physikalische Größe, eine chemische Größe, ein Drehmoment, eine Drehzahl, eine Spannung, eine Stromstärke, eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, einen Bremswert, eine Richtung, einen Winkel, einen Radius, einen Ort, eine Zahl, ein bewegliches Objekt wie ein Kraftfahrzeug, eine Person oder einen Radfahrer, ein unbewegliches Objekt wie ein Gebäude oder einen Baum, eine Straßenkonfiguration wie eine Autobahn, ein Straßenschild, eine Ampel, einen Tunnel, einen Kreisverkehr, eine Abbiegespur, ein Verkehrsaufkommen, eine topographische Struktur wie eine Steigung, eine Uhrzeit, eine Temperatur, einen Niederschlagswert, eine Witterung und/oder eine Jahreszeit darstellt.

[0020] Insbesondere sind die Sensoren als Radarsysteme, LIDAR-Systeme zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, bildaufnehmende 2D/3D-Kameras im sichtbaren, IR- und/oder UV-Bereich, GPS-Systeme, Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Spannungssensoren, Drehmomentsensoren, Drehzahlsensoren, Niederschlagsensoren und/oder Temperatursensoren ausgebildet.

[0021] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass es sich bei den Metadaten um einen Indexwert zur Kritikalität eines Szenarios, eine Identifikation eines Straßentyps wie einer Autobahn, einer Landstraße oder einer Straße in einer Ortschaft wie einer Stadt oder einem Dorf, eine spezifische Kreuzungsanordnung, ein spezifisches Straßenschild, eine spezifische Brücken- oder Tunnelkonstruktion, eine Tageszeitangabe wie vormittags oder nachmittags, einen bestimmten Sonneneinstrahlungswert, eine bestimmte Wettersituation wie ein leichtes Regenschauer oder ein heftiges Gewitter, eine länderspezifische Kennzeichnung, und/oder länderspezifische Eigenschaften der Verkehrsschilder handelt.

[0022] Vorteilhafterweise sind das Szenarien-Analysemodul, das Metadaten-Analysemodul, das Szenarien-Synthesemodul, der Testagent und/oder das Simulationsmodul in einer Cloud-Computing-Infrastruktur integriert.

[0023] Insbesondere ist/sind die Sensoreinrichtung und/oder das Eingabemodul mit Mobilfunkmodulen des 5G oder 6G-Mobilfunkstandards zum Senden und Empfangen von Daten ausgestattet.

[0024] Gemäß einem zweiten Aspekt stellt die Erfindung ein System zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für eine festgelegte Fahraufgabe in

zumindest einem Szenario bereit. Ein Szenario stellt ein Verkehrsgeschehen in einer zeitlichen Sequenz dar und ist durch eine Auswahl von Parametern und zugehörigen Parameterwerten definiert, und wobei bei einem parametrisierten Szenario die Parameter und zugehörigen Parameterwerte frei wählbar sind, und bei einem konkreten Szenario die Parameter und zugehörigen Parameterwerte festgelegt sind. Das System umfasst eine Sensoreinrichtung, ein Eingabemodul, ein Szenario-Analysemodul, ein Metadaten-Analysemodul, ein Szenarien-Synthesemodul, ein Testfallmodul mit einem Testagenten und ein Simulationsmodul. Das Eingabemodul ist ausgebildet, Sensordaten durch Sensoren zumindest einer Sensoreinrichtung, die mit zumindest einem sich bewegendem Objekt verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken zu erfassen, wobei die Sensoren die Sensordaten von der Umgebung des sich bewegendem Objekts aufnehmen, und eine Mehrzahl von Datensätzen zumindest aus den Sensordaten zu generieren. Das Szenarien-Analysemodul ist ausgebildet, parametrisierte Szenarien aus den Datensätzen von einem Szenarien-Analysemodul zu identifizieren und zu klassifizieren. Das Metadaten-Analysemodul ist ausgebildet, Metadaten aus den Datensätzen zu identifizieren und zu klassifizieren. Das Szenarien-Synthesemodul ist ausgebildet, die Metadaten mit den parametrisierten Szenarien zu verknüpfen und zu integrieren, um weitere parametrisierte Szenarien zu generieren und damit die Menge von parametrisierten Szenarien zu vergrößern. Der Testagent ist ausgebildet, einen oder mehrere Testfälle durch Auswählen von parametrisierten Szenarien aus der erweiterten Menge und von konkreten Szenarioparametern von mittels einer Teststrategie für die Fahraufgabe zu erstellen. Das Simulationsmodul ist ausgebildet, eine Simulationsumgebung mittels des einen oder mehrerer Testfälle zu erstellen und eine Simulation des Verhaltens eines ADAS/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung für die festgelegte Fahraufgabe durchzuführen.

[0025] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Szenarien-Analysemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet, und dass das Metadaten-Analysemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass das Szenarien-Synthesemodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass der Testagent eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und dass das Simulationsmodul eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz als Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte, Lookup Tabellen, Modelle zu Erwartungswerten, lineare Regressionsverfahren, Gauß-Prozesse, Fast Fourier Transformationen, Integral- und Differentialrechnungen, Markov-Verfahren, Wahrscheinlichkeitsverfahren wie Monte Carlo-Verfahren, Temporal Difference Learning, erweiterte Kalman-Filter, radiale Basisfunktionen, Datenfelder, konvergente neuronale Netzwerke, tiefe neuronale Netzwerke, rückgekoppelte neuronale Netzwerke, und/oder gefaltete neuronale Netzwerke ausgebildet sind.

[0027] Insbesondere ist vorgesehen, dass ein Parameter eine physikalische Größe, eine chemische Größe, ein Drehmoment, eine Drehzahl, eine Spannung, eine Stromstärke, eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, einen Bremswert, eine Richtung, einen Winkel, einen Radius, einen Ort, eine Zahl, ein bewegliches Objekt wie ein Kraftfahrzeug, eine Person oder einen Radfahrer, ein unbewegliches Objekt wie ein Gebäude oder einen Baum, eine Straßenkonfiguration wie eine Autobahn, ein Straßenschild, eine Ampel, einen Tunnel, einen Kreisverkehr, eine Abbiegespur, ein Verkehrsaufkommen, eine topographische Struktur wie eine Steigung, eine Uhrzeit, eine Temperatur, einen Niederschlagswert, eine Witterung und/oder eine Jahreszeit darstellt; und dass es sich bei den Metadaten um einen Indexwert zur Kritikalität eines Szenarios, eine Identifikation eines Straßentyps wie einer Autobahn, einer Landstraße oder einer Straße in einer Ortschaft wie einer Stadt oder einem Dorf, eine spezifische Kreuzungsanordnung, ein spezifisches Straßenschild, eine spezifische Brücken- oder Tunnelkonstruktion, eine Tageszeitangabe wie vormittags oder nachmittags, einen bestimmten Sonneneinstrahlungswert, eine bestimmte Wettersituation wie ein leichtes Regenschauer oder ein heftiges Gewitter, eine länderspezifische Kennzeichnung und/oder eine länderspezifische Eigenschaften der Verkehrsschilder handelt.

[0028] Vorteilhafterweise sind die Sensoren als Radarsysteme, LIDAR-Systeme zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, bildaufnehmende 2D/3D-Kameras im sichtbaren, IR- und/oder UV-Bereich, GPS-Systeme, Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Spannungssensoren, Drehmomentsensoren, Drehzahlsensoren, Niederschlagssensoren und/oder Temperatursensoren ausgebildet.

[0029] Insbesondere sind das Szenarien-Analysemodul, das Metadaten-Analysemodul, das Szenarien-Synthesemodul, der Testagent und/oder das Simulationsmodul in einer Cloud-Computing-Infrastruktur integriert.

[0030] Vorteilhafterweise ist/sind die Sensoreinrichtung und/oder das Eingabemodul mit Mobilfunkmodulen des 5G oder 6G-Mobilfunkstandards zum Senden und Empfangen von Daten ausgestattet.

[0031] Gemäß einem dritten Aspekt stellt die Erfindung ein Computerprogrammprodukt bereit, das einen ausführbaren Programmcode umfasst, der derart konfiguriert ist, dass er bei seiner Ausführung das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt ausführt.

[0032] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0033] Dabei zeigt:

Fig. 1 ein Blockdiagramm zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Systems;

Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Erläuterung der einzelnen Verfahrensschritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3 ein Blockdiagramm eines Computerprogrammprodukt gemäß einer Ausführungsform des dritten Aspekts der Erfindung.

[0034] Zusätzliche Kennzeichen, Aspekte und Vorteile der Erfindung oder ihrer Ausführungsbeispiele werden in der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den Ansprüchen erläutert.

[0035] Für das Testen, Trainieren und Absichern von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) und automatisierten Fahrsystemen (ADS) werden zunehmend simulierte Verkehrsszenarien, die durch Programmierung erstellt werden, verwendet. Als Szenario wird im Rahmen der Erfindung ein Verkehrsgeschehen in einer zeitlichen Sequenz bezeichnet. Ein Beispiel für ein Szenario ist das Befahren einer Autobahnbrücke, das Abbiegen auf einer Abbiegespur, das Durchfahren eines Tunnels, das Einbiegen in einen Kreisverkehr oder das Halten vor einem Fußgängerübergang. Darüber hinaus können spezifische Sichtverhältnisse beispielsweise aufgrund der Dämmerung oder einer hohen Sonnenlichteinstrahlung sowie Umweltbedingungen wie das Wetter und die Jahreszeit, das Verkehrsaufkommen sowie bestimmte geographische topographische Verhältnisse ein Szenario beeinflussen. Es ist bekannt, dass bei Starkregen und Glätte die Straßenverhältnisse anders aussehen als an einem sonnigen Sommertag. Beispielsweise kann ein Überholvorgang als ein Szenario beschrieben werden, bei dem ein erstes Fahrzeug sich zunächst hinter einem anderen Fahrzeug befindet, dann einen Spurwechsel auf die andere Fahrbahn durchführt und die Geschwindigkeit erhöht, um das andere Fahrzeug zu überholen. Ein derartiges Szenario wird auch als Cut-In-Szenario bezeichnet.

[0036] Um Fahrerassistenzsysteme (ADAS) und automatisierte Fahrsysteme (ADS) in einem Kraftfahrzeug einsetzen zu können, müssen diese für einen verlässlichen Einsatz getestet, trainiert, verifiziert, kalibriert und validiert werden. Die Kalibrierung dient dazu, die Funktionen an den jeweiligen Fahrzeugtyp sowie an das gewünschte Verhalten einer Fahrfunktion anzupassen, ohne dabei den Softwarerecode zu ändern. Dazu werden die Kalibrierungsparameter modifiziert und dem ADAS/ADS-System in einem Datensatz zur Verfügung gestellt. Ziel der Validierung ist es, den bei der Kalibrierung gewonnenen Datensatz umfassend zu testen, die Zuverlässigkeit und Robustheit eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) bzw. eines automatisierten Fahrsystems (ADS) in der gesamten ODD nachzuweisen und anschließend eine Freigabe zu erteilen.

[0037] Fig. 1 zeigt ein erfindungsgemäßes System 100 zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für eine simulierte Verifizierung, Kalibrierung und/oder Validierung eines ADAS/ADS-Systems und/oder einer Fahrfunktion. Das erfindungsgemäße System 100 umfasst ein oder mehrere sich bewegende Objekte 10, zumindest eine Sensoreinrichtung 200, ein Eingabemodul 300, ein Szenarien-Analysemodul 400, ein Metadaten-Analysemodul 500, ein Szenarien-Synthesemodul 700, ein Testfallmodul 800 und ein Simulationsmodul 900, die jeweils mit einem Prozessor und/oder einer Speichereinheit versehen sein können.

[0038] Unter einem „Modul“ kann im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise ein Prozessor und/oder eine Prozessoreinheit und/oder eine Speichereinheit zum Speichern von Programmbefehlen verstanden werden. Der Prozessor ist speziell dazu eingerichtet, die Programmbefehle derart auszuführen, um das erfindungsgemäße Verfahren oder einen Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens zu implementieren oder zu realisieren. Insbesondere kann ein Modul in einer Cloud-Computing-Infrastruktur 250 integriert sein.

[0039] Unter einem „Prozessor“ kann im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise eine Maschine oder eine elektronische Schaltung verstanden werden. Bei einem Prozessor kann es sich insbesondere um einen Hauptprozessor (engl. Central Processing Unit, CPU), einen Mikroprozessor oder einen Mikrocontroller, beispielsweise eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung oder einen digitalen Signalprozessor, möglicherweise in Kombination mit einer Speichereinheit zum Speichern von Programmbefehlen, etc. handeln. Auch kann unter einem Prozessor ein virtualisierter Prozessor, eine virtuelle Maschine oder eine Soft-CPU verstanden werden. Es kann sich beispielsweise

auch um einen programmierbaren Prozessor handeln, der mit Konfigurationsschritten zur Ausführung des genannten erfindungsgemäßen Verfahrens ausgerüstet wird oder mit Konfigurationsschritten derart konfiguriert ist, dass der programmierbare Prozessor die erfindungsgemäßen Merkmale des Verfahrens, des Systems, der Module, oder anderer Aspekte und/oder Teilaspekte der Erfindung realisiert. Insbesondere kann der Prozessor hochparallele Recheneinheiten und leistungsfähige Grafikmodule enthalten.

[0040] Unter einer „Speichereinheit“ oder einem „Speichermodul“ kann im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise ein flüchtiger Speicher in Form eines Arbeitsspeichers (engl. Random-Access Memory, RAM) oder ein dauerhafter Speicher wie eine Festplatte oder ein Datenträger oder beispielsweise ein wechselbares Speichermodul verstanden werden. Es kann sich bei dem Speichermodul aber auch um eine cloudbasierte Speicherlösung handeln.

[0041] Unter „Datenbank“ ist sowohl ein Speicheralgorithmus als auch die Hardware in Form einer Speichereinheit zu verstehen. Insbesondere können die Datenbanken als Teil einer Cloud-Computing-Infrastruktur ausgebildet sein.

[0042] Bei dem sich bewegenden Objekt 10 handelt es sich insbesondere um ein Kraftfahrzeug, ein autonom fahrendes Kraftfahrzeug, ein landwirtschaftliches Fahrzeug wie ein Mähdrescher, ein Roboter in der Produktion oder in Service- und Pflegeeinrichtungen, oder um ein Wasserfahrzeug oder um ein Flugobjekt wie ein Flugtaxi. Das sich bewegende Objekt 10 kann aber auch als ein Motorrad oder ein elektrisches Fahrrad ausgebildet sein. Das sich bewegende Objekt 10 kann im Rahmen der Erfindung auch als Ego-Fahrzeug bezeichnet werden.

[0043] Die Sensoreinrichtung 200 ist insbesondere mit dem sich bewegenden Objekt 10 verbunden und umfasst Sensoren 210, die Sensordaten 220 von der Umgebung des Objekts 10 wie Straßenmarkierungen, Fahrzeuge, Personen, Leitplanken, Verkehrsschilder, etc. erfassen und an das Eingabemodul 300 übermitteln.

[0044] Unter Sensordaten 220 sind im Zusammenhang mit der Erfindung sowohl Rohdaten als auch bereits aufbereitete Daten aus den Messergebnissen der Sensoren 220 sowie gegebenenfalls weiteren Datenquellen zu verstehen. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Eingabemodul 300 mit einer Datenbank 270 verbunden ist, in der weitere Daten enthalten sind. Des Weiteren kann das Eingabemodul 300 eine Benutzerschnittstelle 350 aufweisen beziehungsweise mit einer Benutzerschnittstelle 350 verbunden sein. Die Benutzerschnittstelle 350

ist für die Eingabe und Generierung von Daten in Form von Textnachrichten und/oder Sprachnachrichten und/oder Bildern und Graphiken insbesondere durch einen Benutzer ausgebildet. Für die Eingabe der Daten sind insbesondere eine Tastatur, ein Mikrofon, eine Kamera und/oder ein als Touchscreen ausgebildetes Display vorgesehen.

[0045] Die Sensoren 210 der Sensoreinrichtung 200 können insbesondere ein oder mehrere Radarsysteme mit einem oder mehreren Radarsensoren, ein oder mehrere LIDAR-Systeme (engl. Light Detection and Ranging) zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, ein oder mehrere bildaufnehmende 2D/3D-Kameras im sichtbaren Bereich, aber auch im IR- und UV-Bereich, und/oder GPS-Systeme umfassen. Des Weiteren können Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Spannungssensoren, Drehmomentsensoren, Drehzahlensensoren, Niederschlagssensoren und/oder Temperatursensoren, etc. vorgesehen sein.

[0046] Insbesondere ist die 2D/3D-bildaufnehmende Kamera als RGB-Kamera im sichtbaren Bereich mit den Grundfarben Blau, Grün und Rot ausgebildet. Es kann aber auch noch zusätzlich eine UV-Kamera im ultravioletten Bereich und/oder eine IR-Kamera im infraroten Bereich vorgesehen sein. Die sich durch ihr Aufnahmespektrum unterscheidenden Kameras können somit unterschiedliche Lichtverhältnisse in dem Aufnahmebereich Modellen. Des Weiteren ist vorgesehen, dass eine 3D-Kamera als Stereokamera ausgebildet ist.

[0047] Die Aufnahmefrequenz der Sensoreinrichtung 200 ist insbesondere für schnelle Geschwindigkeiten des sich bewegenden Objekts 10 ausgelegt und kann Sensordaten 220 mit einer hohen Bildaufnahmefrequenz aufzunehmen. Des Weiteren kann die Sensoreinrichtung 200 für die Erfassung von akustischen Signalen mit einem Mikrofon ausgestattet sein. Hierdurch können Abrollgeräusche von Reifen oder Motorgeräusche aufgenommen werden.

[0048] Zudem kann vorgesehen sein, dass die Sensoreinrichtung 200 automatisch den Bildaufnahmeprozess dann startet, wenn sich eine flächenmäßig signifikante Änderung im Aufnahmebereich der Sensoreinrichtung 200 ergibt, beispielsweise wenn eine deutliche Änderung einer Verkehrssituation erkennbar ist. Hierdurch wird ein selektiver Datenerfassungsprozess ermöglicht und nur relevante Sensordaten 220 werden von dem Eingabemodul 300 verarbeitet. Hierdurch können Rechenkapazitäten effizienter genutzt werden.

[0049] Insbesondere ist vorgesehen, als Kameratyp für eine oder mehrere Kameras eine wetterfeste Action-Kamera zu verwenden, die insbesondere im

Außenbereich des Objekts 10 angeordnet sein kann. Eine Action-Kamera verfügt über weitwinkelige Fischaugen-Objektive, wodurch es möglich ist, einen sichtbaren Radius von ca. 180° zu erreichen. Hierdurch kann eine vorausliegende Fahrbahn umfassend abgebildet werden. Action-Kameras können üblicherweise Videos in Full HD (1.920 x 1.080 Pixel) aufzeichnen, jedoch können auch Action-Kameras in Ultra HD bzw. 4K (mindestens 3.840 x 2.160 Pixel) eingesetzt werden, wodurch sich eine deutliche Qualitätssteigerung in der Bildqualität ergibt. Die Bildaufnahme Frequenz beträgt üblicherweise 60 Bilder pro Sekunde in 4K und bis zu 240 pro Sekunde in Full HD. Außerdem kann noch ein integrierter Bildstabilisator vorgesehen sein. Zudem sind Action-Kameras häufig mit einem integrierten Mikrofon ausgestattet. Um Hintergrundgeräusche gezielt auszublenden, können darüber hinaus Verfahren der differentiellen Signalverarbeitung verwendet werden.

[0050] Die Anbringungsposition einer Kamera an dem Objekt 10 bestimmt, welcher Aufnahmebereich von der Kamera aufgenommen werden kann. Es kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Aufnahmebereiche von zwei oder mehr Kameras sich überlappen, um beispielsweise mittels einer nachfolgenden Bildverarbeitung eine Panoramadarstellung zu erzeugen. Hierdurch kann die räumliche Umgebung eines sich bewegenden Objekts 10 umfassend erfasst werden.

[0051] Radarsensoren können für längere Strecken bis zu 250 Meter verwendet werden und haben den Vorteil, gegenüber Wetter- und Lichtverhältnissen unabhängig zu sein. Die Leistungsfähigkeit eines Radars hängt von vielen Faktoren ab wie den gewählten Hardwarekomponenten, der Softwareverarbeitung und dem Radarecho. So ist beispielsweise die Radargenauigkeit bei einem geringeren Signal-Rausch-Verhältnis weniger präzise als bei einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis. Zudem ist die Einbauposition entscheidend für eine hohe Leistungsfähigkeit eines Radarsensors, da sich Effekte wie eine Mehrwegeausbreitung und eine Verzerrung durch Abdeckungen auf die Detektionsgenauigkeit auswirken.

[0052] Neben bildaufnehmenden Kameras und Radarsensoren stellen LIDAR-Sensoren einen wichtigen Sensortyp für die Wahrnehmung der Umgebung für sich bewegende Objekte 10 dar. Wie mit Kameras und Radarsensoren kann das Umfeld aufgenommen werden und Abstände zu anderen Umgebungsobjekten gemessen werden. Insbesondere 3D-LIDAR-Sensoren können detaillierte Informationen über ein Umgebungsobjekt aufnehmen durch eine hohe Abtastrate. Im Vergleich zu Radarsensoren zeichnen sich LIDAR-Sensoren durch eine höhere Orts- und Tiefenaufösung aus. Bei LIDAR-

Sensoren wird zwischen einem mechanischem Scanning-LIDAR mit mechanisch rotierenden Bauteilen für das Scannen eines Laserstrahls und einem SSL-LIDAR (engl. Solid State Lidar) ohne bewegliche Komponenten unterschieden. Ein SLL-LIDAR-System besteht typischerweise aus einer Laserquelle bzw. einer Laserdiode, optischen Elementen wie Linsen und Diffusoren, Strahlsteuerungselementen, Photodetektoren und Signalverarbeitungseinheiten. Der Aufnahmebereich von SLL-LIDAR ist kleiner, aber die Kosten sind geringer und die Zuverlässigkeit ist höher.

[0053] Des Weiteren ist vorteilhafterweise eine GPS-Verbindung vorgesehen, um den geographischen Standort des Objekts 10 zu ermitteln und diesen den aufgenommenen Sensordaten 220 zuzuordnen.

[0054] Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Sensordaten 220 von mehreren sich bewegenden Objekten 10, insbesondere einer Flotte von Objekten 10, an das Eingabemodul 300 übermittelt werden. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die Sensordaten 220 zunächst an die Cloud-Computing-Infrastruktur 250 übermittelt werden und von dort an das Eingabemodul 300 weitergegeben werden. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Eingabemodul 300 in der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 integriert ist. Hierdurch kann eine schnelle Berechnung gewährleistet werden, da cloudbasierte Lösungen den Vorteil von hohen und damit schnellen Rechenleistungen bieten.

[0055] Die von der Sensoreinrichtung 200 erfassten Sensordaten 220 der Umgebung des Objekts 10 werden mittels Datenverbindungen an das Eingabemodul 300 oder zunächst an die Cloud-Computing-Infrastruktur 250 weitergegeben. Insbesondere ist eine drahtlose Datenverbindung vorgesehen, die beispielsweise als Mobilfunkverbindung und/oder einer Nahfelddatenverbindung wie Bluetooth®, Ethernet, NFC (near field communication) oder Wi-Fi® ausgebildet sein kann. Für die Kommunikation der Sensoreinrichtung 200 mit dem Eingabemodul 300 bzw. der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 wird insbesondere eine 5G-Mobilfunkverbindung oder 6G-Mobilfunkverbindung verwendet, da auf diese Weise eine Datenübermittlung in Echtzeit erfolgen kann. Die Sensoreinrichtung 200 ist hierfür mit den entsprechenden Mobilfunkmodulen ausgestattet.

[0056] 5G ist der Mobilfunkstandard der fünften Generation und zeichnet sich im Vergleich zum 4G-Mobilfunkstandard durch höhere Datenraten bis zu 10 Gbit/sec, der Nutzung höherer Frequenzbereiche wie beispielsweise 2100, 2600 oder 3600 Megahertz, eine erhöhte Frequenzkapazität und damit einen erhöhten Datendurchsatz und eine Echtzeitda-

tenübertragung aus, da bis zu eine Million Geräte pro Quadratkilometer gleichzeitig ansprechbar sind. Die Latenzzeiten betragen wenige Millisekunden bis unter 1 ms, so dass Echtzeitübertragungen von Daten und von Berechnungsergebnissen möglich sind. Daher können die von der Sensoreinrichtung 200 aufgenommenen Sensordaten 220 in Echtzeit an das Eingabemodul 300 bzw. die Cloud-Computing-Infrastruktur 250 gesendet werden.

[0057] Durch die Integration des Eingabemoduls 300 in einer Cloud-Computing-Infrastruktur 250 in Verbindung mit einer 5G-Mobilfunkverbindung kann somit eine Verarbeitung der von der Sensoreinrichtung 200 aufgenommenen Sensordaten 220 in Echtzeit sichergestellt werden. Um die Verbindung zu der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 mittels einer Mobilfunkverbindung zu schützen, sind insbesondere kryptographische Verschlüsselungsverfahren vorgesehen.

[0058] In dem Eingabemodul 300 werden Sensordaten 220 weiterverarbeitet, um aus den Rohdaten der Sensordaten 220 für die weitere Verarbeitung handhabbare Datensätze 320 zu generieren. Dabei kann beispielsweise eine Filterung, eine Zeitsynchronisierung, eine Änderung der Datenformate (z.B. MPEG, JPEG, FP16) oder eine Datenfusion der Sensordaten 220 vorgenommen werden. Zudem können die aus der Datenbank 270 abgerufenen Daten sowie die mittels der Benutzerschnittstelle 350 eingegebenen Daten von dem Eingabemodul 300 in die jeweiligen Datensätze 320 integriert werden.

[0059] Die Datensätze 320 werden nun sowohl an das Szenario-Analysemodul 400 als auch an das Metadaten-Analysemodul 500 weitergegeben. In dem Szenarien-Analysemodul 400 werden mittels einer Softwareapplikation 450 aus den Datensätzen 320 Szenarien SZ_i abgeleitet. Ein Beispiel für ein Szenario SZ_i ist ein Überholvorgang, bei dem ein erstes Fahrzeug sich zunächst hinter einem anderen Fahrzeug befindet, dann einen Spurwechsel auf die andere Fahrbahn durchführt und die Geschwindigkeit erhöht, um das andere Fahrzeug zu überholen. Ein derartiges Szenario wird auch als Cut-In-Szenario bezeichnet. Andere Beispiele von Szenarien ist das Einbiegen in eine andere Straße, das Warten an einer Ampel, das Befahren einer Baustelle, etc.

[0060] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird zwischen einem parametrisierten Szenario SZ_p und einem konkreten Szenario SZ_c unterschieden. Ein parametrisiertes Szenario SZ_p kann auch als logisches Szenario bezeichnet werden. Ein beliebiges parametrisiertes Szenario SZ_p wird durch verschiedene Szenarioparameter P_1, P_2, \dots, P_n aus einer Menge von möglichen Szenarioparametern P_i und zugehörigen Szenarioparameterwerten PV_1, PV_2, \dots, PV_n aus einer Menge von möglichen Szenariopa-

rameterwerten PV_i definiert, wobei Szenarioparameterwerte PV_i den Wertebereich eines Szenarioparameters P_i festlegen. Ein Szenarioparameter P_i stellt beispielsweise eine physikalische Größe, eine chemische Größe, ein Drehmoment, eine Drehzahl, eine Spannung, eine Stromstärke, eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, einen Bremswert, eine Richtung, einen Winkel, einen Radius, einen Ort, eine Zahl, ein bewegliches Objekt wie ein Kraftfahrzeug, eine Person oder einen Radfahrer, ein unbewegliches Objekt wie ein Gebäude oder einen Baum, eine Straßenkonfiguration wie eine Autobahn, ein Straßenschild, eine Ampel, einen Tunnel, einen Kreisverkehr, eine Abbiegespur, ein Verkehrsaufkommen, eine topographische Struktur wie eine Steigung, eine Uhrzeit, eine Temperatur, einen Niederschlagswert, eine Witterung und/oder eine Jahreszeit dar. Szenarioparameter P_i kennzeichnen somit im Rahmen der vorliegenden Erfindung Eigenschaften und Merkmale eines Szenarios. Ein Beispiel für einen Szenarioparameter P_i eines Szenarios SZ_p ist die Geschwindigkeit eines Ego-Fahrzeugs und der Wertebereich des zugehörigen Szenarioparameterwertes PV_i kann den Bereich von 100 km/h bis 180 km/h umfassen. Für ein anderes Szenario SZ_{p_k} kann der Wertebereich des Szenarioparameterwertes PV_i sich von 40 km/h bis 70 km/h erstrecken.

[0061] Ein parametrisiertes Szenario SZ_p umfasst eine zeitliche Folge von Zeitintervallen $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, in denen jeweils verschiedene Szenen und Ereignisse stattfinden. Ein parametrisiertes Szenario SZ_p beginnt mit einer Startszene und entwickelt sich dann durch auftretende Ereignisse weiter, aus denen im zeitlichen Verlauf neue Folgeszenen entstehen. Die Startszene wird somit durch ein oder mehrere Ereignisse verändert. Bei einem Ereignis kann es sich sowohl um eine von einem Verkehrsteilnehmer aktiv ausgelöste Reaktion wie eine Beschleunigung handeln als auch um ein Ereignis, das zyklisch wiederkehrt, wie beispielsweise die Schaltvorgänge einer Ampel. Die Startszene und die einzelnen Folgeszenen umfassen somit jeweils nur ein kleines Zeitintervall Δt bzw. eine Momentaufnahme, während ein parametrisiertes Szenario SZ_p eine längere Zeitspanne umfasst. Eine mögliche Veranschaulichung eines Szenarios SZ_p ist eine Graphendarstellung, bei der die Ereignisse als Kanten und die einzelnen Szenen als Knoten eines Graphen dargestellt werden.

[0062] Bei einem parametrisierten oder logischen Szenario SZ_p sind sowohl die Szenarioparameter P_i als auch die zugehörigen Szenarioparameterwerte PV_i nicht alle festgelegt. Als ein konkretes Szenario SZ_c wird ein Szenario SZ bezeichnet, bei dem die konkreten Szenarioparameter P_c und die zugehörigen konkreten Szenarioparameterwerte PV_c bzw. Wertebereiche der konkreten Szenarioparameter-

werte PVC_i festgelegt sind. Bei beiden Szenarien, sowohl dem parametrisierten Szenario SZp als auch dem konkreten Szenario SZc, handelt es sich jeweils um Szenarien, die insbesondere in einem maschinenlesbaren Code bzw. Skript geschrieben sind.

[0063] Die Softwareapplikation 450 erstellt aus den Datensätzen 320 parametrisierte Szenarien SZp. So kann mittels der Softwareapplikation 450 aus einem oder mehreren Datensätzen 320 für einen bestimmten geographischen Ort ein jeweils passendes parametrisiertes Szenario SZp_i abgeleitet werden. Die Softwareapplikation 450 verwendet insbesondere Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz zur Identifikation und Klassifikation der parametrisierten Szenarien SZp_i. Bei den Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz kann es sich um Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte, Lookup Tabellen, Modelle zu Erwartungswerten, lineare Regressionsverfahren, Gauß-Prozesse, Fast Fourier Transformationen, Integral- und Differentialrechnungen, Markov-Verfahren, Wahrscheinlichkeitsverfahren wie Monte Carlo-Verfahren, Temporal Difference Learning, erweiterte Kalman-Filter, radiale Basisfunktionen, Datenfelder, konvergente neuronale Netzwerke, tiefe neuronale Netzwerke, rückgekoppelte neuronale Netzwerke, und/oder gefaltete neuronale Netzwerke handeln. Insbesondere können die Algorithmen der künstlichen Intelligenz als Encoder und Decoder mit neuronalen Netzwerken und/oder um zumindest einen Lernverstärkungs-Agenten (Reinforcement Learning Agent, LV) ausgebildet sein.

[0064] Ein neuronales Netzwerk besteht aus Neuronen, die in mehreren Schichten angeordnet und unterschiedlich miteinander verbunden sind. Ein Neuron ist in der Lage, an seinem Eingang Informationen von außerhalb oder von einem anderen Neuron entgegenzunehmen, die Information in einer bestimmten Art zu bewerten und sie in veränderter Form am Neuronen-Ausgang an ein weiteres Neuron weiterzuleiten oder als Endergebnis auszugeben. Hidden-Neuronen sind zwischen den Input-Neuronen und Output-Neuronen angeordnet. Je nach Netzwerktyp können mehrere Schichten von Hidden-Neuronen vorhanden sein. Sie sorgen für die Weiterleitung und Verarbeitung der Informationen. Output-Neuronen liefern schließlich ein Ergebnis und geben dieses an die Außenwelt aus. Neuronale Netzwerke lassen sich durch unbeaufsichtigtes oder überwachtes Lernen trainieren.

[0065] Durch die unterschiedliche Anordnung und Verknüpfung der Neuronen entstehen verschiedene Typen von neuronalen Netzwerken wie insbesondere ein vorwärtsgerichtetes Netzwerk (engl. Feedforward Neural Network, FNN), ein rückgekoppeltes Netzwerk (engl. Recurrent Neural Network, RNN)

oder ein gefaltetes neuronales Netzwerk (engl. Convolutional Neural Network, CNN). Ein gefaltetes neuronales Netzwerk besitzt mehrere Faltungsschichten und ist für maschinelles Lernen und Anwendungen im Bereich der Mustererkennung und Bilderkennung sehr gut geeignet. Da ein großer Teil der von den Sensoren aufgenommenen Daten als Bilder vorliegen, werden insbesondere gefaltete neuronale Netzwerke (CNN) verwendet.

[0066] Das Convolutional Neural Network (CNN) ist für maschinelles Lernen und Anwendungen mit Künstlicher Intelligenz (KI) im Bereich der Bild- und Spracherkennung besonders gut geeignet, da es mehrere Faltungsschichten aufweist. Die Funktionsweise eines Convolutional Neural Networks ist in einer gewissen Weise biologischen Vorgängen nachempfunden und der Aufbau ist vergleichbar der Sehrinde des Gehirns. Herkömmliche neuronale Netzwerke bestehen aus voll- oder teilverknüpften Neuronen in mehreren Ebenen und diese Strukturen stoßen bei der Verarbeitung von Bildern an ihre Grenzen, da eine der Pixelanzahl entsprechende Zahl an Eingängen vorhanden sein müsste. Das Convolutional Neural Network setzt sich aus verschiedenen Schichten zusammen und ist vom Grundprinzip ein zum Teil lokal verknüpftes neuronales Feedforward-Netzwerk. Die einzelnen Schichten des CNN sind die Convolutional-Schicht, die Pooling-Schicht und die vollständig verknüpfte Schicht. Das Convolutional Neural Network (CNN) eignet sich daher für maschinelles Lernen und Anwendungen der Künstlichen Intelligenz mit großen Mengen an Eingabedaten wie in der Bilderkennung. Das Netzwerk arbeitet zuverlässig und ist gegenüber Verzerrungen oder anderen optischen Veränderungen unempfindlich. Das CNN kann unter verschiedenen Lichtverhältnissen und in unterschiedlichen Perspektiven aufgenommene Bilder verarbeiten. Es erkennt dennoch die typischen Merkmale eines Bildes. Da das CNN mehrere lokale teilverknüpfte Schichten umfasst, hat es einen wesentlich geringeren Speicherplatzbedarf als vollverknüpfte neuronale Netze, da durch die Faltungsschichten die Speicheranforderungen erheblich reduziert werden. Zudem verkürzt sich hierdurch die Trainingszeit eines CNN, insbesondere bei der Verwendung von modernen Grafikprozessoren.

[0067] Die von der Softwareapplikation 450 identifizierten und klassifizierten Szenarien SZp_i werden direkt an das Szenarien-Synthesemodul 700 weitergegeben oder sie werden in einer Datenbank, insbesondere in der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 gespeichert, aus der sie für eine Weiterverarbeitung von dem Szenarien-Synthesemodul 700 abgerufen werden können. Insbesondere sind sowohl das Szenarien-Analysemodul 400 als auch das Szenarien-Synthesemodul 700 in der Cloud-Computing-Infra-

struktur 250 integriert. Dies gilt auch für das Metadaten-Analysemodul 500.

[0068] In dem Metadaten-Analysemodul 500 werden die Datensätze 320 in Metadaten 570 konvertiert und klassifiziert (gelabelt). Hierzu verwendet das Metadaten-Analysemodul 500 eine Softwareapplikation 550, die gleichfalls verschiedene Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz wie insbesondere Deep Learning mit beispielsweise zumindest einem gefalteten neuronalen Netzwerk (CNN) und/oder zumindest einem Lernverstärkungs-Agenten (Reinforcement Learning Agent, LV) verwenden kann. Bei den Metadaten 570 handelt es sich beispielsweise um einen Indexwert zur Kritikalität eines Szenarios, eine Identifikation eines Straßentyps wie einer Autobahn, einer Landstraße oder einer Straße in einer Ortschaft wie einer Stadt oder einem Dorf, eine spezifische Kreuzungsanordnung, ein spezifisches Straßenschild, eine spezifische Brücken- oder Tunnelkonstruktion, eine Tageszeitangabe wie vormittags oder nachmittags, einen bestimmten Sonneneinstrahlungswert, eine bestimmte Wittersituation wie ein leichtes Regenschauer oder ein heftiges Gewitter, eine länderspezifische Kennzeichnung wie beispielsweise Deutschland oder die Schweiz, länderspezifische Eigenschaften der Verkehrsschilder, etc. Die klassifizierten Metadaten 570 werden dann an das Szenarien-Synthesemodul 700 weitergeleitet oder sie werden in einer Datenbank, insbesondere in der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 gespeichert, aus der sie für eine Weiterverarbeitung von dem Szenarien-Synthesemodul 700 abgerufen werden können.

[0069] Das Szenarien-Synthesemodul 700 weist eine Softwareapplikation 750 auf, die durch eine Verknüpfung der Metadaten 570 mit den bereits generierten Szenarien SZ_{p_i} die Menge der verfügbaren Szenarien erweitert. Ein Beispiel für ein Szenario SZ_{p_i} stellt ein Überholmanöver, ein sogenanntes Cut-in-Szenario dar. Die Szenarioparameter P_i des Szenarios SZ_{p_i} beziehen sich jedoch in erster Linie auf die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs 10, die Geschwindigkeit des von dem Ego-Fahrzeug 10 überholten Target-Fahrzeugs, den Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen, eine notwendige Beschleunigung zur Durchführung des Überholmanövers, etc. Die weiteren Rahmenbedingungen des Überholmanövers, wie beispielsweise ein Überholmanöver auf einer Autobahn, werden in dem aus den realen Sensordaten 220 generierten Szenario SZ_{p_i} als gegeben hingenommen und stellen einen integralen Bestandteil des Szenarios SZ_{p_i} dar. Durch die Verknüpfung eines solchen Szenarios SZ_{p_i} mit weiteren Metadaten 570, wie beispielsweise einer Landstraße anstelle einer Autobahn, können weitere Szenarien SZ_{p_k} generiert werden, wodurch die Menge von verfügbaren parametrisierten virtuellen Szenarien SZ_{p_i} ; SZ_{p_k} vergrößert wird. Die auf diese Weise erstellte

erweiterte Menge von parametrisierten virtuellen Szenarien SZ_{p_i} ; SZ_{p_k} wird in einer Szenariendatenbank 770, die insbesondere in der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 angeordnet ist, gespeichert.

[0070] Für die Erstellung von Testfällen T_i , die für die Verifizierung, Kalibrierung und/oder Validierung von ADAS/ADS-Systemen von Interesse sind, wählt ein Testagent 850 des Testfallmoduls 800 in der Szenariendatenbank 770 aus der erweiterten Menge von parametrisierten virtuellen Szenarien SZ_{p_i} ; SZ_{p_k} passende parametrisierte Szenarien SZ_{p_i} ; SZ_{p_k} und konkrete Szenarioparameter P_{c_i} ; P_{c_k} aus. Zudem können von dem Testagenten 850 aus weiteren Datenbanken weitere Parameter, wie beispielsweise Kalibrierungsparameter ausgewählt werden. Die erstellten Testfälle T_i werden in einer Testfalldatenbank 870 gespeichert. Diese von dem Testagenten 850 erstellten relevanten Testfälle T_i decken die in der „Operational Design Domain“ (ODD) festgelegten relevanten Verkehrssituationen ab, die von einem ADAS/ADS-System beherrscht werden müssen. Bei einem Testfall T_i handelt es sich somit um ein relevantes konkretes Szenario SZ_{p_i} durch die Festlegung von konkreten Szenarioparametern P_{c_i} und gegebenenfalls weiteren Parametern. Insbesondere erstellt der Testagent 850 mittels einer Softwareapplikation eine Mehrzahl von Testfällen T_i für eine oder mehrere Fahraufgaben. Die jeweilige Fahraufgabe wird vor dem Starten einer Simulation formuliert, beispielsweise von einem Experten wie einem Ingenieur. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass eine Liste von Fahraufgaben von einer Softwareapplikation generiert wird. Eine beispielhafte Fahraufgabe ist ein Spurwechsel auf einer Autobahn.

[0071] Für die Auswahl und die Gestaltung der Testfälle T_i ist insbesondere eine Teststrategie vorgesehen, die vorgibt, wie der Testagent 850 die Testfälle T_i erstellt. Für die Festlegung der Teststrategie können verschiedene Berechnungsverfahren und Algorithmen, insbesondere Algorithmen der künstlichen Intelligenz vorgesehen sein.

[0072] Die Teststrategie des Testagenten 850 entscheidet somit über die Konfiguration der Testfälle T_i durch die Auswahl von passenden parametrisierten Szenarien aus der erweiterten Menge von Szenarien SZ_{p_i} ; SZ_{p_k} und konkreten Szenarioparametern P_{c_i} ; P_{c_k} sowie gegebenenfalls weiteren Parametern. Die verwendete Teststrategie wird durch den Zweck der Simulation vorgegeben, d.h. welche Erkenntnisse über das Verhalten eines ADAS/ADS-Systems bzw. einer bestimmten Fahrfunktion bei der Durchführung einer festgelegten Fahraufgabe durch eine Simulation gewonnen werden sollen. Beispielsweise können für die virtuelle Validierung eines ADAS/ADS-Systems verschiedene parametrisierte Szenarien SZ_{p_i} und Kombinationen von konkreten Szenarioparametern mittels eines

kombinatorischen Verfahrens erstellt werden. Darüber hinaus kann eine iterative Strategie auf der Grundlage mathematischer Optimierer implementiert werden.

[0073] In der Testfalldatenbank 870 können für die Testfälle T_i noch weitere Textnachrichten, Videosequenzen und oder Audiosequenzen, etc. mit weiteren Informationen gespeichert werden, die für eine Erprobung der Testfälle T_i in einer Simulationsumgebung 940 relevant sein können.

[0074] Für die Erstellung der Simulationsumgebung 940 für die Durchführung eines virtuellen Tests und Trainings eines ADAS/ADS-Systems übergibt der Testagent 850 einen Testfall T_i oder mehrere Testfälle T_i an das Simulationsmodul 900. Zudem kann das Simulationsmodul 900 zusätzliche Informationen aus einer weiteren Datenbank 970 abrufen, die für die Erstellung der Simulationsumgebung 940 wichtig sind. Diese Datenbank 970 kann wiederum in der Cloud-Computing-Infrastruktur 250 integriert sein. In der Datenbank 970 können insbesondere weitere historische Daten in Form von Bildern, Graphiken, Zeitreihen, Kenngrößen, etc. gespeichert sein. So können beispielsweise Zielgrößen und Zielwerte in der Datenbank 970 abgelegt sein, die einen Sicherheitsstandard für das ADAS/ADS-System definieren, der bei der Simulation des Verhaltens des ADAS/ADS-Systems in der jeweiligen durch Testfall T_i oder die Testfälle T_i bestimmte Simulationsumgebung eingehalten werden muss.

[0075] Darüber hinaus können weitere Datenquellen beziehungsweise Datenbanken für die Erstellung der Simulationsumgebung 940 verwendet werden. Hierzu zählen insbesondere Datenbanken, die Daten über das Straßennetz mit Straßenspezifikationen wie beispielsweise Fahrspuren und Brücken, die Straßeninfrastruktur wie beispielsweise den Straßenbelag, die Randbebauung, die Straßenführung, etc. beinhalten und von Behörden zur Verfügung gestellt werden.

[0076] Zudem sind Daten über Verkehrszahlen wie das reale stündliche Verkehrsaufkommen an einem bestimmten Verkehrsschauplatz für bestimmte Szenarien-Typen, wie beispielsweise ein Stau, von Interesse. Eine weitere Datenquelle bilden Luftbilddaufnahmen beispielsweise von Google Maps. Für Straßenbilder kann aber auch Mapillary verwendet werden. Mapillary sammelt benutzergenerierte Straßenbilder mit Geo-Tags, die von Dashcams und Smartphones aufgezeichnet wurden. Diese Bilder stehen unter einer Open-Source-Lizenz zur Verfügung. Da auch die Wetterverhältnisse für eine Simulationsumgebung 940 wichtig sind, stellen Wetterdaten eine weitere Datenquelle dar. Dabei umfassen Wetterdaten historische Wettermessungen und zukünftige Wettervorhersagen.

[0077] Die Berechnung und Speicherung der geografischen Koordinaten der erfassten Objekte erfolgt vorzugsweise im EPSG 25832-Koordinatensystem (Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 32N). Dieses System wird auch von Behörden in Deutschland eingesetzt. Die laterale und die longitudinale Position werden in Metern dargestellt. Darüber hinaus können globale Referenzsysteme wie das „World Geodetic System 1984 (WGS 84)“ verwendet werden, das auch in GPS-Empfängern (Global Positioning System) Verwendung findet. So kann beispielsweise der gesamte Karteninhalt von Deutschland importiert werden.

[0078] Das Simulationsmodul 900 weist eine Softwareapplikation 950 auf für die Erstellung der Simulationsumgebung 940 aus einem oder mehreren Testfällen T_i , wobei die Testfälle T_i erfindungsgemäß auf einer Re-Simulation der aus realen Sensordaten 220 abgeleiteten parametrisierten Szenarien SZ_p durch eine Variation mittels Metadaten beruhen. Eine definierte Fahraufgabe für ein ADAS/ADS-System und/oder eine bestimmte Fahrfunktion kann in der jeweiligen durch einen oder mehrere Testfälle T_i bestimmten Simulationsumgebung 940 virtuell getestet werden bzw. simuliert werden. Die simulierten Testergebnisse bzw. Trainingsergebnisse können nun beispielsweise an ein Bewertungsmodul übergeben werden, das mit unterschiedlichen Metriken, insbesondere in Form von Leistungsindikatoren (KPIs), die simulierten Testergebnisse bzw. Trainingsergebnisse hinsichtlich der Leistungs- und Funktionsfähigkeit von ein oder mehreren Funktionen bzw. der Gesamtpformance eines ADAS/ADS-Systems bzw. einer Fahrfunktion bewertet. Zudem kann die Qualität des durchgeführten Simulationsverfahrens bewertet insbesondere in Form von Simulationsqualitätskriterien (SQCs). Aus diesen Bewertungen kann das Bewertungsmodul Bewertungsergebnisse erstellen.

[0079] KPIs dienen zur Beschreibung der Leistung eines zu testenden ADAS/ADS-Systems, wobei für verschiedene Bewertungskategorien wie Komfort, Sicherheit, Natürlichkeit des Fahrens und Effizienz unterschiedliche KPIs festgelegt werden. Zusätzlich können weitere KPIs implementiert werden, um die korrekte Funktionalität des zu testenden ADAS/ADS-Systems zu verifizieren. Ein Beispiel für ein KPI ist die Bewertung einer minimalen Distanz zu anderem Fahrzeug oder einer mittleren Beschleunigung bei einem Verzögerungsszenario. Auf Basis einer Bewertungsmetrik lassen sich somit die Ergebnisse für einen simulierten Testfall T_i durch Zahlenwerte bzw. boolesche Werte darstellen.

[0080] In Fig. 2 sind die Verfahrensschritte zum Testen und Trainieren eines ADAS/ADS-System und/oder einer Fahrfunktion für eine festgelegte Fahraufgabe in zumindest einem Szenario SZ_i dargestellt.

[0081] In einem Schritt S10 werden Sensordaten 220 durch Sensoren 210 zumindest einer Sensoreinrichtung 200, die mit zumindest einem sich bewegenden Objekt 10 verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken erfasst, wobei die Sensoren 210 die Sensordaten 220 von der Umgebung des sich bewegenden Objekts 10 aufnehmen.

[0082] In einem Schritt S20 wird eine Mehrzahl von Datensätzen 320 zumindest aus den Sensordaten 220 von einem Eingabemodul 300 generiert.

[0083] In einem Schritt S30 werden parametrisierte Szenarien SZp_i aus den Datensätzen 320 von einem Szenarien-Analysemodul 400 identifiziert und klassifiziert.

[0084] In einem Schritt S40 werden Metadaten 570 aus den Datensätzen 320 von einem Metadaten-Analysemodul 500 identifiziert und klassifiziert.

[0085] In einem Schritt S50 werden die Metadaten 570 mit den parametrisierten Szenarien SZp_i von einem Szenarien-Synthesemodul 700 verknüpft und integriert, um weitere parametrisierte Szenarien SZp_k zu generieren und damit die Menge von parametrisierten Szenarien Sz_{p_i} ; SZp_k zu vergrößern.

[0086] In einem Schritt S60 werden ein oder mehrere Testfälle T_i durch Auswählen von parametrisierten Szenarien SZp_i ; SZp_k aus der erweiterten Menge und von konkreten Szenarioparametern Pc_i ; Pc_k von einem Testagenten 850 mittels einer Teststrategie für die Fahraufgabe erstellt.

[0087] In einem Schritt S70 wird eine Simulationsumgebung 940 mittels des einen oder mehrerer Testfälle T_i von einem Simulationsmodul 900 erstellt.

[0088] In einem Schritt S80 wird eine Simulation des Verhaltens eines ADAS/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung 940 für die festgelegte Fahraufgabe durchgeführt.

[0089] Fig. 3 stellt schematisch ein Computerprogrammprodukt 1000 dar, das einen ausführbaren Programmcode 1050 umfasst, der konfiguriert ist, das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung auszuführen.

[0090] Durch die vorliegende Erfindung kann eine optimale Menge an virtuellen parametrisierten Szenarien generiert werden durch die Verknüpfung von bereits vorliegenden, auf realen Sensordaten basierenden Szenarien mit Metadaten, die gleichfalls auf realen Sensordaten basieren. Durch die Vergrößerung der Menge von zur Verfügung stehenden virtuellen Szenarien können verbesserte Simulationsumgebungen für das Testen und Trainieren eines ADAS/ADS-Systems und/oder einer Fahrfunktion

insbesondere für Verifizierungs-, Kalibrierungs- und Validierungszwecke erstellt werden. Hierdurch kann die Sicherheit und Funktionsfähigkeit eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für eine bestimmte Fahraufgabe mit einer hohen Zuverlässigkeit genauer und präziser abgeschätzt werden. Insgesamt können Ressourcen eingespart werden, da sowohl das reale Abfahren von Teststrecken mit Standardverkehrssituationen als auch mit spezifischen Corner-Cases reduziert werden kann. Beispielsweise können selten auftretende Verkehrssituationen, wie beispielsweise, dass in einem Bausektorenbereich ein vorausfahrendes Fahrzeug eine Warnbake umfährt, die auf die Fahrspur des Ego-Fahrzeugs fällt, simuliert und für die Funktionsvalidierung in der virtuellen Simulationsumgebung verwendet werden. Zudem können aus den Testfällen wiederum Trainingsdaten für die KI-Algorithmen der verschiedenen Softwareapplikationen in den Modulen generiert werden, so dass das gesamte Simulationssystem sich durch selbstlernende Effekte selbstständig fortlaufend verbessert.

	Bezugszeichen
10	sich bewegendes Objekt
100	System
200	Sensoreinrichtung
210	Sensoren
220	Sensordaten
250	Cloud-Computing-Infrastruktur
270	Datenbank
300	Eingabemodul
320	Datensatz
350	Benutzerschnittstelle
400	Szenarien-Analysemodul
450	Softwareapplikation
500	Metadaten-Analysemodul
550	Softwareapplikation
570	Metadaten
700	Szenarien-Synthesemodul
750	Softwareapplikation
770	Szenariendatenbank
800	Testfallmodul
850	Testagent
870	Testfalldatenbank
900	Simulationsmodul
940	Simulationsumgebung

950	Softwareapplikation
970	Datenbank
1000	Computerprogrammprodukt
1050	Programmcode

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

- US 8862346 B2 [0008]
- US 9361650 B2 [0009]
- US 10026130 B1 [0010]
- US 10789650 B1 [0011]
- US 2022048536 A1 [0012]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für zumindest eine festgelegte Fahraufgabe in zumindest einem Szenario (SZ_i), wobei ein Szenario (SZ_i) ein Verkehrsgeschehen in einer zeitlichen Sequenz darstellt und durch eine Auswahl von Szenarioparametern (P₁, P₂, ... , P_n) und zugehörigen Szenarioparameterwerten (PV₁, PV₂, ..., PV_n) definiert ist, und wobei bei einem parametrisierten Szenario (SZ_{p_i}) die Szenarioparameter (P₁, P₂, ... , P_n) und zugehörigen Szenarioparameterwerte (PV₁, PV₂, ..., PV_n) frei wählbar sind, und bei einem konkreten Szenario (SZ_c) die konkreten Szenarioparameter (P_{c1}, P_{c2}, ..., P_{cn}) und zugehörigen konkreten Szenarioparameterwerte (PVC₁, PVC₂, ..., PVC_n) festgelegt sind, umfassend:

- Erfassen (S10) von Sensordaten (220) durch Sensoren (210) zumindest einer Sensoreinrichtung (200), die mit zumindest einem sich bewegenden Objekt (10) verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken, wobei die Sensoren (210) die Sensordaten (220) von der Umgebung des sich bewegenden Objekts (10) aufnehmen;
- Generieren (S20) einer Mehrzahl von Datensätzen (320) zumindest aus den Sensordaten (220) von einem Eingabemodul (300);
- Identifizieren und Klassifizieren (S30) von parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}) aus den Datensätzen (320) von einem Szenarien-Analysemodul (400);
- Identifizieren und Klassifizieren (S40) von Metadaten (570) aus den Datensätzen (320) von einem Metadaten-Analysemodul (500);
- Verknüpfen und Integrieren (S50) der Metadaten (570) mit den parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}) von einem Szenarien-Synthesemodul (700), um weitere parametrisierte Szenarien (SZ_{p_k}) zu generieren und damit die Menge von parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}; SZ_{p_k}) zu vergrößern;
- Erstellen (S60) von einem oder mehreren Testfällen (T_i) durch Auswählen von parametrisierten Szenarien (SZ_{p_i}; SZ_{p_k}) aus der erweiterten Menge und von konkreten Szenarioparametern (P_{c_i}; P_{c_k}) von einem Testagenten (850) mittels einer Teststrategie für die Fahraufgabe;
- Erstellen (S70) einer Simulationsumgebung (940) mittels des einen oder mehrerer Testfälle (T_i) von einem Simulationsmodul (900);
- Durchführen (S80) einer Simulation des Verhaltens eines ADAS/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung (940) für die festgelegte Fahraufgabe.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Szenarien-Analysemodul (400) eine Softwareapplikation (450) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet, wobei das Metadaten-Analysemodul (500) eine

Softwareapplikation (550) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; wobei das Szenarien-Synthesemodul (700) eine Softwareapplikation (750) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; wobei der Testagent (850) eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und wobei das Simulationsmodul (900) eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz als Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte, Lookup Tabellen, Modelle zu Erwartungswerten, lineare Regressionsverfahren, Gauß-Prozesse, Fast Fourier Transformationen, Integral- und Differentialrechnungen, Markov-Verfahren, Wahrscheinlichkeitsverfahren wie Monte Carlo-Verfahren, Temporal Difference Learning, erweiterte Kalman-Filter, radiale Basisfunktionen, Datenfelder, konvergente neuronale Netzwerke, tiefe neuronale Netzwerke, rückgekoppelte neuronale Netzwerke, und/oder gefaltete neuronale Netzwerke ausgebildet sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei ein Parameter (P_i) eine physikalische Größe, eine chemische Größe, ein Drehmoment, eine Drehzahl, eine Spannung, eine Stromstärke, eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, einen Bremswert, eine Richtung, einen Winkel, einen Radius, einen Ort, eine Zahl, ein bewegliches Objekt wie ein Kraftfahrzeug, eine Person oder einen Radfahrer, ein unbewegliches Objekt wie ein Gebäude oder einen Baum, eine Straßenkonfiguration wie eine Autobahn, ein Straßenschild, eine Ampel, einen Tunnel, einen Kreisverkehr, eine Abbiegespur, ein Verkehrsaufkommen, eine topographische Struktur wie eine Steigung, eine Uhrzeit, eine Temperatur, einen Niederschlagswert, eine Witterung und/oder eine Jahreszeit darstellt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Sensoren (210) als Radarsysteme, LIDAR-Systeme zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, bildaufnehmende 2D/3D-Kameras im sichtbaren, IR- und/oder UV-Bereich, GPS-Systeme, Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Spannungssensoren, Drehmomentsensoren, Drehzahlsensoren, Niederschlagsensoren und/oder Temperatursensoren ausgebildet sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei es sich bei den Metadaten (570) um einen

Indexwert zur Kritikalität eines Szenarios, eine Identifikation eines Straßentyps wie einer Autobahn, einer Landstraße oder einer Straße in einer Ortschaft wie einer Stadt oder einem Dorf, eine spezifische Kreuzungsanordnung, ein spezifisches Straßenschild, eine spezifische Brücken- oder Tunnelkonstruktion, eine Tageszeitangabe wie vormittags oder nachmittags, einen bestimmten Sonneneinstrahlungswert, eine bestimmte Wettersituation wie ein leichtes Regenschauer oder ein heftiges Gewitter, eine länderspezifische Kennzeichnung, und/oder länderspezifische Eigenschaften der Verkehrsschilder handelt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Szenarien-Analysemodul (400), das Metadaten-Analysemodul (500), das Szenarien-Synthesemodul (700), der Testagent (850) und/oder das Simulationsmodul (900) in einer Cloud-Computing-Infrastruktur (250) integriert sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Sensoreinrichtung (200) und/oder das Eingabemodul (300) mit Mobilfunkmodulen des 5G oder 6G-Mobilfunkstandards zum Senden und Empfangen von Daten ausgestattet ist/sind.

9. System (100) zum Testen und Trainieren eines Fahrerassistenzsystems (ADAS) und/oder eines automatisierten Fahrsystems (ADS) und/oder einer Fahrfunktion für eine festgelegte Fahraufgabe in zumindest einem Szenario (SZ_i), wobei ein Szenario (SZ_i) ein Verkehrsgeschehen in einer zeitlichen Sequenz darstellt und durch eine Auswahl von Parametern (P_1, P_2, \dots, P_n) und zugehörigen Parameterwerten (PV_1, PV_2, \dots, PV_n) definiert ist, und wobei bei einem parametrisierten Szenario (SZp_i) die Parameter (P_1, P_2, \dots, P_n) und zugehörigen Parameterwerte (PV_1, PV_2, \dots, PV_n) frei wählbar sind, und bei einem konkreten Szenario (SZc_i) die Parameter ($P_{c1}, P_{c2}, \dots, P_{cn}$) und zugehörigen Parameterwerte ($PV_{c1}, PV_{c2}, \dots, P_{vcn}$) festgelegt sind, umfassend eine Sensoreinrichtung (200), ein Eingabemodul (300), ein Szenario-Analysemodul (400), ein Metadaten-Analysemodul (500), ein Szenarien-Synthesemodul (700), ein Testfallmodul (800) mit einem Testagenten (850) und ein Simulationsmodul (900); wobei das Eingabemodul (300) ausgebildet ist, Sensordaten (220) durch Sensoren (210) zumindest einer Sensoreinrichtung (200), die mit zumindest einem sich bewegenden Objekt (10) verbunden ist, beim Befahren einer oder mehrerer Fahrstrecken zu erfassen, wobei die Sensoren (210) die Sensordaten (220) von der Umgebung des sich bewegenden Objekts (10) aufnehmen, und eine Mehrzahl von Datensätzen (320) zumindest aus den Sensordaten (220) zu generieren; wobei der Szenarien-Analysemodul (400) ausgebildet ist, parametrisierte Szenarien (SZp_i) aus den Datensätzen (320) von einem Szenarien-Analysemodul (400)

zu identifizieren und zu klassifizieren; wobei das Metadaten-Analysemodul (500) ausgebildet ist, Metadaten (570) aus den Datensätzen (320) zu identifizieren und zu klassifizieren; wobei das Szenarien-Synthesemodul (700) ausgebildet ist, die Metadaten (570) mit den parametrisierten Szenarien (SZp_i) zu verknüpfen und zu integrieren, um weitere parametrisierte Szenarien (SZp_k) zu generieren und damit die Menge von parametrisierten Szenarien (SZp_i, SZp_k) zu vergrößern; wobei der Testagent (850) ausgebildet ist, einen oder mehrere Testfälle (T_i) durch Auswählen von parametrisierten Szenarien (SZp_i, SZp_k) aus der erweiterten Menge und von konkreten Szenarioparametern (P_{c_i}, P_{c_k}) von mittels einer Teststrategie für die Fahraufgabe zu erstellen; wobei das Simulationsmodul (900) ausgebildet ist, eine Simulationsumgebung (940) mittels des einen oder mehrerer Testfälle (T_i) zu erstellen und eine Simulation des Verhaltens eines ADA-S/ADS-Systems oder einer Fahrfunktion in der Simulationsumgebung (940) für die festgelegte Fahraufgabe durchzuführen.

10. System (100) nach Anspruch 9, wobei das Szenarien-Analysemodul (400) eine Softwareapplikation (450) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet, wobei das Metadaten-Analysemodul (500) eine Softwareapplikation (550) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; wobei das Szenarien-Synthesemodul (700) eine Softwareapplikation (750) umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; wobei der Testagent (850) eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet; und wobei das Simulationsmodul (900) eine Softwareapplikation umfasst, die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz verwendet.

11. System (100) nach Anspruch 10, wobei die Berechnungsverfahren und/oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz als Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte, Lookup Tabellen, Modelle zu Erwartungswerten, lineare Regressionsverfahren, Gauß-Prozesse, Fast Fourier Transformationen, Integral- und Differentialrechnungen, Markov-Verfahren, Wahrscheinlichkeitsverfahren wie Monte Carlo-Verfahren, Temporal Difference Learning, erweiterte Kalman-Filter, radiale Basisfunktionen, Datenfelder, konvergente neuronale Netzwerke, tiefe neuronale Netzwerke, rückgekoppelte neuronale Netzwerke, und/oder gefaltete neuronale Netzwerke ausgebildet sind.

12. System (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei ein Parameter (P_i) eine physikalische Größe, eine chemische Größe, ein Drehmoment,

eine Drehzahl, eine Spannung, eine Stromstärke, eine Beschleunigung, eine Geschwindigkeit, einen Bremswert, eine Richtung, einen Winkel, einen Radius, einen Ort, eine Zahl, ein bewegliches Objekt wie ein Kraftfahrzeug, eine Person oder einen Radfahrer, ein unbewegliches Objekt wie ein Gebäude oder einen Baum, eine Straßenkonfiguration wie eine Autobahn, ein Straßenschild, eine Ampel, einen Tunnel, einen Kreisverkehr, eine Abbiegespur, ein Verkehrsaufkommen, eine topographische Struktur wie eine Steigung, eine Uhrzeit, eine Temperatur, einen Niederschlagswert, eine Witterung und/oder eine Jahreszeit darstellt; und wobei es sich bei den Metadaten (570) um einen Indexwert zur Kritikalität eines Szenarios, eine Identifikation eines Straßentyps wie einer Autobahn, einer Landstraße oder einer Straße in einer Ortschaft wie einer Stadt oder einem Dorf, eine spezifische Kreuzungsanordnung, ein spezifisches Straßenschild, eine spezifische Brücken- oder Tunnelkonstruktion, eine Tageszeitangabe wie vormittags oder nachmittags, einen bestimmten Sonneneinstrahlungswert, eine bestimmte Wettersituation wie ein leichtes Regenschauer oder ein heftiges Gewitter, eine länderspezifische Kennzeichnung und/oder eine länderspezifische Eigenschaften der Verkehrsschilder handelt.

13. System (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die Sensoren (210) als Radarsysteme, LIDAR-Systeme zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, bildaufnehmende 2D/3D-Kameras im sichtbaren, IR- und/oder UV-Bereich, GPS-Systeme, Beschleunigungssensoren, Geschwindigkeitssensoren, kapazitive Sensoren, induktive Sensoren, Spannungssensoren, Drehmomentsensoren, Drehzahlsensoren, Niederschlagsensoren und/oder Temperatursensoren ausgebildet sind.

14. System (100) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, wobei das Szenarien-Analysemodul (400), das Metadaten-Analysemodul (500), das Szenarien-Synthesemodul (700), der Testagent (850) und/oder das Simulationsmodul (900) in einer Cloud-Computing-Infrastruktur (250) integriert sind, und wobei die Sensoreinrichtung (200) und/oder das Eingabemodul (300) mit Mobilfunkmodulen des 5G oder 6G-Mobilfunkstandards zum Senden und Empfangen von Daten ausgestattet ist/sind.

15. Computerprogrammprodukt (1000), umfassend einen ausführbaren Programmcode (1050), der so konfiguriert ist, dass er bei seiner Ausführung das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausführt.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

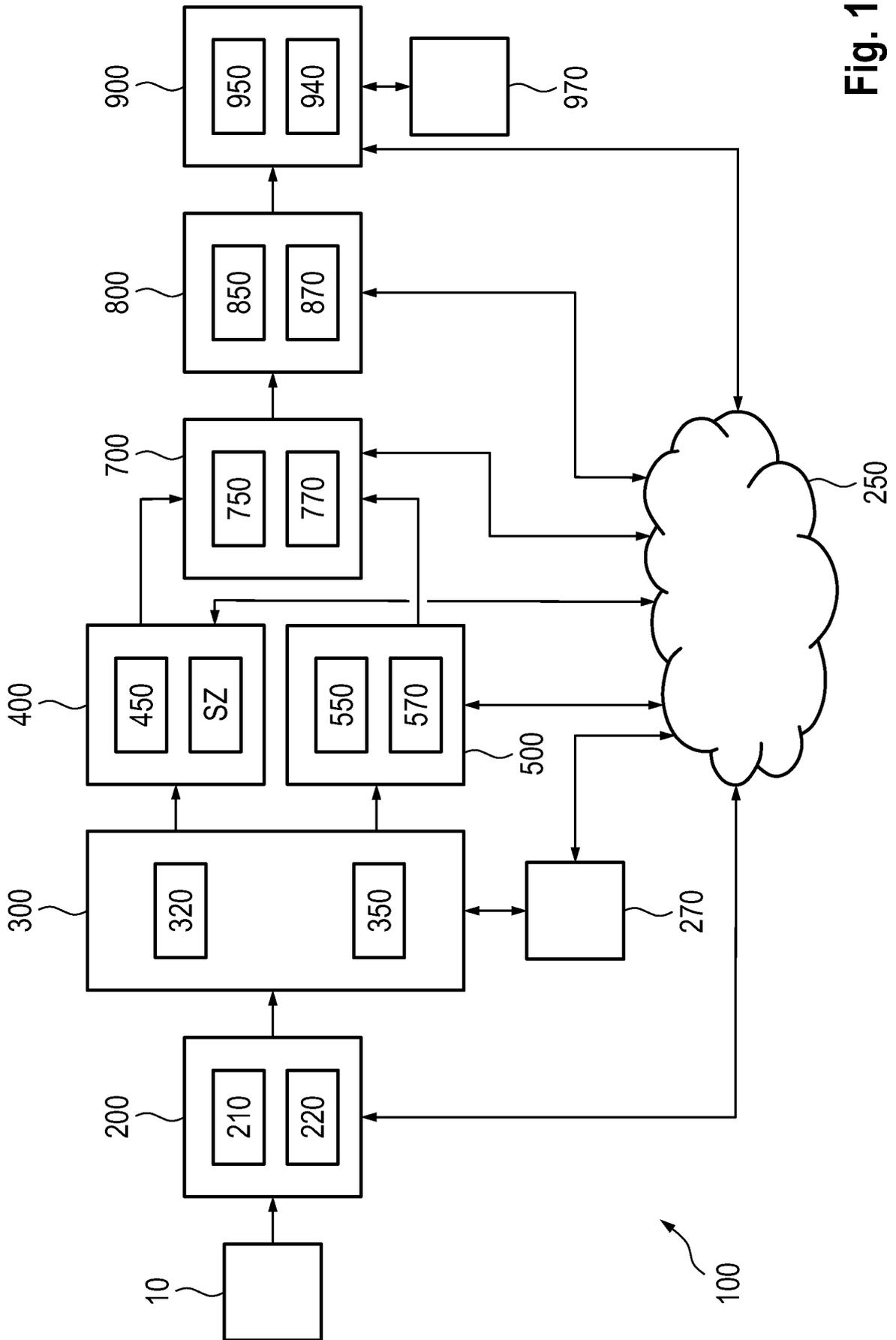


Fig. 1

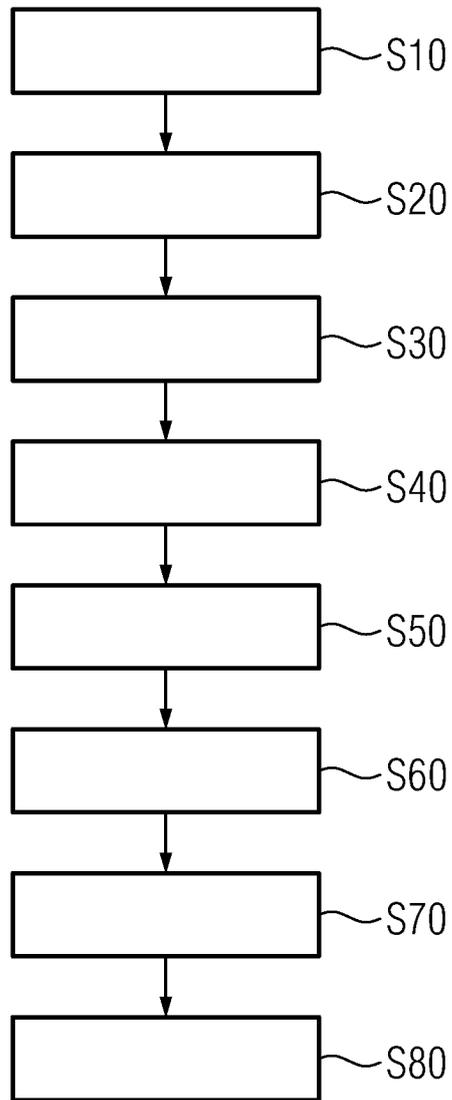


Fig. 2

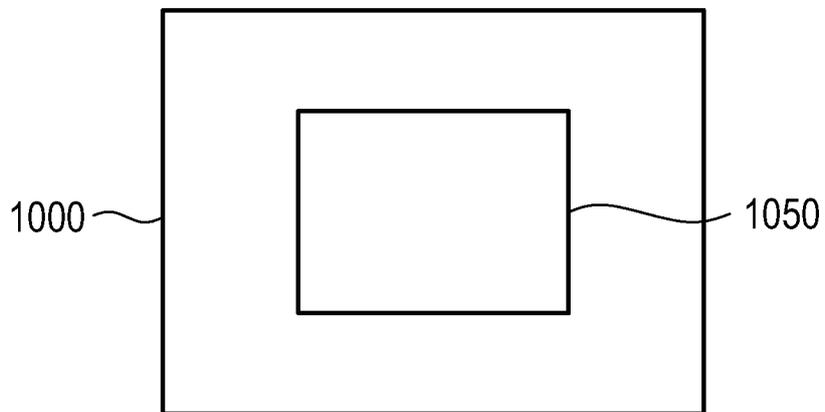


Fig. 3