



(10) **DE 10 2019 123 746 A1** 2020.03.12

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 123 746.7**

(22) Anmeldetag: **04.09.2019**

(43) Offenlegungstag: **12.03.2020**

(51) Int Cl.: **B60W 50/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

16/123,905 06.09.2018 US

(71) Anmelder:

**Ford Global Technologies, LLC, Dearborn, Mich.,
US**

(74) Vertreter:

**Bonsmann · Bonsmann · Frank Patentanwälte,
41063 Mönchengladbach, DE**

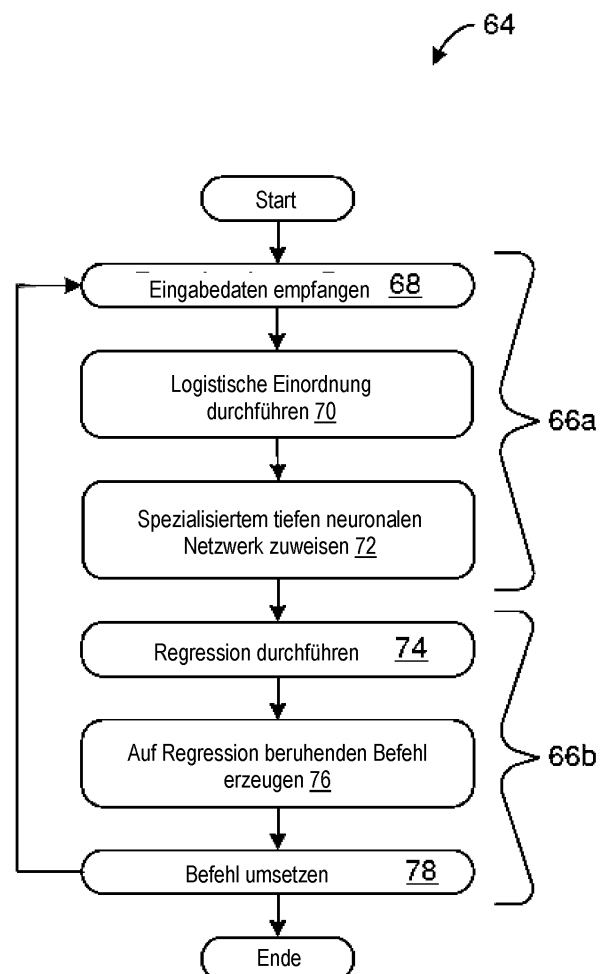
(72) Erfinder:

**Charette, Francois, Dearborn, Mich., US;
Solomon, Jose, Dearborn, MI, US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **MEHRSTUFIGES NETZWERK FÜR AUFGABENORIENTIERTES TIEFES NEURONALES NETZWERK**

(57) Zusammenfassung: Diese Offenbarung stellt ein mehrstufiges Netzwerk für ein aufgabenorientiertes tiefes neuronales Netzwerk bereit. Ein Verfahren zum Steuern eines autonomen Fahrzeugs wird offenbart. Das Verfahren kann ein Empfangen von Bilddaten beinhalten. Die Bilddaten können durch ein erstes neuronales Netzwerk logistisch als einer Situation aus einer Vielzahl von Situationen zugehörig eingeordnet werden. Auf Grundlage dieser logistischen Einordnung können die Bilddaten einem zweiten neuronalen Netzwerk zugewiesen werden, das speziell dafür geschult ist, die eine Situation anzugehen. Das zweite neuronale Netzwerk kann eine Regression der Bilddaten durchführen. Anschließend kann das Fahrzeug mithilfe eines auf der Regression beruhenden Befehls gesteuert werden.



Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Diese Erfindung betrifft autonome Systeme und insbesondere Systeme und Verfahren für autonomes Fahren.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Derzeitige autonome Fahrzeugfahrtechniken nach dem Stand der Technik sind regelbasierte Algorithmen. Sie erfordern, dass alle neuen Situationen oder Bedingungen antizipiert, in den Algorithmus „eingebaut“ und in die Software hartcodiert werden. Infolgedessen sind regelbasierte Algorithmen schwer zu skalieren. Des Weiteren steigt bei zunehmender Größe des regelbasierten Algorithmus die Gefahr, dass es zu Programmfehlern und widersprüchlichen Bedingungen kommt, die zu Fehlerzuständen führen können. Dementsprechend werden bessere Systeme und Verfahren für autonomes Fahren benötigt.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0003] Angesichts des Vorstehenden werden gemäß der Erfindung, wie in dieser Schrift umgesetzt und grob beschrieben, in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung offenbart, die beinhalten, dass ein autonomes Fahrzeug „End-to-end“-Fahren bereitstellt. Ein derartiges Fahrzeug kann ein tiefes neuronales Netzwerk (deep neural network - DNN) beinhalten, das Bilddaten (z. B. Bilder einer Stereokamera) empfängt und Fahrsteuerungen (d. h. Lenk- und/oder Drosselbefehle) ausgibt. Unter Umständen werden keine anderen Sensoren benötigt. Sobald es mit ausreichend Daten geschult wurde, die einen erheblichen Bereich von Situationen oder Bedingungen abdecken, kann das DNN, wenn es sich einer neuen Bedingung ausgesetzt sieht, die ihm völlig unbekannt ist, die neue Bedingung automatisch interpolieren und in annehmbarer Weise damit umgehen.

Figurenliste

[0004] Damit die Vorteile der Erfindung ohne Weiteres verstanden werden, erfolgt durch Bezugnahme auf konkrete Ausführungsformen, die in den beigefügten Zeichnungen veranschaulicht sind, eine genauere Beschreibung der Erfindung. Unter der Annahme, dass diese Zeichnungen lediglich typische Ausführungsformen der Erfindung abbilden und daher nicht als den Umfang einschränkend aufzufassen sind, wird die Erfindung mit zusätzlicher Genauigkeit und Ausführlichkeit durch Verwendung der beigefügten Zeichnungen beschrieben und erläutert, in denen Folgendes gilt:

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die eine Ausführungsform des technologischen Kontextes veranschaulicht, in dem ein System und Verfahren für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung arbeiten kann;

Fig. 2 ist eine schematische Darstellung, die mehrere typische Lenksituationen veranschaulicht, mit denen ein autonomes Fahrzeug konfrontiert sein kann, das Systeme und Verfahren für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet;

Fig. 3 ist ein Bild, das einer der in **Fig. 2** gezeigten typischen Lenksituationen entspricht;

Fig. 4 ist ein Bild, das einer anderen Situation der in **Fig. 2** gezeigten typischen Lenksituationen entspricht;

Fig. 5 ist ein schematisches Blockdiagramm, das eine Ausführungsform eines Systems für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 6 ist ein schematisches Blockdiagramm einer Ausführungsform eines zweistufigen Verfahrens für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 ist ein schematisches Blockdiagramm einer alternativen Ausführungsform eines zweistufigen Verfahrens für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung, und

Fig. 8 ist ein schematisches Blockdiagramm einer weiteren alternativen Ausführungsform eines zweistufigen Verfahrens für autonome Steuerung gemäß der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0005] Es versteht sich ohne Weiteres, dass die Komponenten der vorliegenden Erfindung, wie sie hier allgemein beschrieben und in den Figuren veranschaulicht sind, in einer großen Vielzahl unterschiedlicher Konfigurationen angeordnet und ausgestaltet sein könnten. Somit soll die folgende ausführlichere Beschreibung der Ausführungsformen der Erfindung, wie sie in den Figuren dargestellt sind, nicht den Umfang der beanspruchten Erfindung einschränken, sondern ist rein repräsentativ für bestimmte Beispiele für vorliegend in Erwägung gezogene Ausführungsformen gemäß der Erfindung. Die vorliegend beschriebenen Ausführungsformen sind am besten durch Bezugnahme auf die Zeichnungen verständlich, in denen gleiche Teile durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet sind.

[0006] Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** können autonome Fahrzeuge **10** gemäß der vorliegenden Erfindung „End-to-end“-Fahren bereitstellen. Derartige Fahrzeuge **10** können ein tiefes neuronales Netzwerk (DNN) verwenden, das Bilddaten (z. B. Bilder einer

Stereokamera) empfängt und Fahrsteuerungen (d. h. Lenk- und/oder Drosselbefehle) ausgibt. Unter Umständen werden keine anderen Sensoren benötigt. Zusätzliche Mischungen oder Varianten von Algorithmen werden unter Umständen ebenfalls nicht benötigt.

[0007] Eine Herausforderung beim Verwenden eines DNN zum Steuern eines autonomen Fahrzeugs **10** besteht darin, dass unter Umständen eine riesige Menge an Daten benötigt wird, um das DNN zu schulen. Einer der wichtigsten Vorteile der Verwendung eines DNN besteht darin, dass das DNN, sobald es mit ausreichend Daten geschult wurde, die einen erheblichen Bereich von Situationen oder Bedingungen abdecken, wenn es sich einer neuen Bedingung ausgesetzt sieht, die ihm völlig unbekannt ist, die neue Bedingung automatisch interpolieren und in annehmbarer Weise damit umgehen kann. Nur wenn die neue Bedingung außerhalb des Bereichs vorheriger Bedingungen liegt, für den das DNN geschult wurde, kann es möglicherweise zu Störungen kommen.

[0008] Dementsprechend liegt der Hauptvorteil eines DNN im Vergleich zu einem klassischen, regelbasierten Algorithmus darin, dass zum Einbeziehen einer neuen Bedingung einfach Datenaufzeichnungen, welche die neue Bedingung wiedergeben, zu den Schulungsdaten hinzugefügt werden müssen und das DNN, sobald es neu geschult wurde, in der Lage ist, in angemessener Weise mit der neuen Bedingung umzugehen. Es wird keine Änderung der DNN-Architektur (d. h. Algorithmen) benötigt, sondern es müssen einfach die Daten dem Schulungssatz hinzugefügt und eine Neuschulung durchgeführt werden. Durch diesen Ansatz wird Skalierbarkeit sehr viel realistischer. Es ist unter Umständen sehr wenig technische Arbeit vonnöten, um ein autonomes System **10** zu warten und zu skalieren, das ein DNN verwendet. Darüber hinaus kann sich die Leistung eines DNN im Laufe der Zeit kontinuierlich verbessern und dabei immer weniger Hinzufügen neuer Daten und Neuschulen erfordern. Nach einer bestimmten Zeitspanne kann ein DNN so zuverlässig sein, dass sehr wenig oder keine technische Überwachung benötigt wird.

[0009] In ausgewählten Ausführungsformen kann ein autonomes Fahrzeug **10** gemäß der vorliegenden Erfindung ein computerisiertes System **12** und eine Vielzahl von Sensoren **14** umfassen. Ein System **12** kann die Ausgaben von einem oder mehreren solcher Sensoren **14** verwenden, um zu bestimmen, wie verschiedene Funktionen oder Vorgänge des entsprechenden autonomen Fahrzeugs **10** am besten gesteuert werden können. Die Sensoren **14**, die in einem autonomen Fahrzeug **10** enthalten sind, können jede beliebige geeignete Form annehmen. Zum Beispiel können ein oder mehrere Sensoren **14** Kameras, Lidarvorrichtungen, Radar-

vorrichtungen, Ultraschallwandler, Beschleunigungsmesser, Gyroskope, Geschwindigkeitsmesser, Thermometer, Antriebsstrangsensoren (z. B. Vorrichtungen zum Erfassen von U/min eines Motors, Radschlupf oder dergleichen), Vorrichtungen eines globalen Positionsbestimmungssystems (global positioning system - GPS) oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon umfassen.

[0010] In bestimmten Ausführungsformen kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung eine oder mehrere Kernfunktionen eines autonomen Fahrzeugs **10** steuern (d. h. Funktionen, die für das Fahren des autonomen Fahrzeugs **10** wesentlich sind). Zum Beispiel kann ein System **12** die Lenkung und/oder Geschwindigkeit eines Fahrzeugs **10** autonom steuern. Daher kann ein System **12** eine Sammlung von Komponenten, Verbindungen, Aktoren oder dergleichen, die den Kurs beeinflusst, den das Fahrzeug **10** einschlägt, eine Drosseleinstellung eines Motors, das Bremsen oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon steuern.

[0011] In ausgewählten Ausführungsformen können einer oder mehrere Sensoren **14** gemäß der vorliegenden Erfindung nach vorne gerichtete Sensoren **14a** (z. B. Kameras, Stereobilder aufzeichnende Kameras oder dergleichen, die auf einen Bereich vor einem Fahrzeug **10** gerichtet sind), Blickwinkelsensoren **14b** (z. B. Kameras, Stereobilder aufzeichnende Kameras oder dergleichen, die einen Blickwinkel eines Insassen durch eine Windschutzscheibe aufzeichnen), nach hinten gerichtete Sensoren **14c** (z. B. Rückfahrkameras) oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon sein.

[0012] In ausgewählten Ausführungsformen können Informationen, die durch ein System **12** (oder Teile eines Systems **12**) an Bord eines autonomen Fahrzeugs **10** empfangen, gesammelt oder erzeugt werden, an Hardware kommuniziert werden, die sich außerhalb des autonomen Fahrzeugs **10** befindet. Das heißt, solche Informationen können Fahrzeug-zu-Infrastruktur (V2I) weitergegeben werden. Zum Beispiel können die Informationen, die durch ein System **12**, das einem autonomen Fahrzeug **10a** entspricht, empfangen, gesammelt oder erzeugt werden, durch ein Kommunikationssystem **16** an ein oder mehrere andere autonome Fahrzeuge **10b** weitergegeben werden. Dementsprechend können die Informationen, die durch ein System **12**, das einem autonomen Fahrzeug **10a** entspricht, empfangen, gesammelt oder erzeugt werden, durch Systeme **12**, die einem oder mehreren anderen autonomen Fahrzeugen **10b** entsprechen, verwendet (z. B. vollständig übernommen oder berücksichtigt) werden.

[0013] In ausgewählten Ausführungsformen können ausgewählte Informationen durch ein System **12** in ein Kommunikationssystem **16** weitergegeben wer-

den, das stationäre Telekommunikationsinfrastruktur umfasst. Zum Beispiel kann ein System **12** ausgewählte Informationen durch Senden eines oder mehrerer Signale an einen nahegelegenen Mobilfunkmast **20a** in ein Mobilfunknetzwerk einspeisen **18**. In ausgewählten Ausführungsformen können Informationen, die von einem System **12** eingespeist **18** werden, durch ein Kommunikationssystem **16** geleitet und entsprechenden Systemen **12** eines oder mehrerer anderer Fahrzeuge **10b** zugeführt **22** werden. Alternativ können Informationen, die von einem System **12** in ein Kommunikationssystem **16** eingespeist **18** werden, einem Computersystem **26** zugeführt **24**, durch das Computersystem **26** verarbeitet und durch das Kommunikationssystem **16** eingespeist **28** sowie den entsprechenden Systemen **12** eines oder mehrerer anderer Fahrzeuge **10b** zugeführt **22** werden.

[0014] Zum Beispiel kann ein Kommunikationssystem **16** in ausgewählten Ausführungsformen ein Mobilfunknetz beinhalten, das einen ersten Mobilfunkmast **20a**, der sich nahe einem ersten autonomen Fahrzeug **10a** befindet, einen zweiten Mobilfunkmast **20b**, der sich nahe einem zweiten autonomen Fahrzeug **10b** befindet, und ein Netzwerk **30**, das den ersten Mobilfunkmast **20a** mit dem zweiten Mobilfunkmast **20b** verbindet, umfasst. Ein Computersystem **26** kann ebenfalls mit dem Netzwerk **30** verbunden sein. Dementsprechend können Informationen, die von einem System **12**, das dem ersten Fahrzeug **10a** entspricht, in das Mobilfunknetz eingespeist **18** werden, durch das Computersystem **26** empfangen werden, sodass sie aufgezeichnet und/oder verarbeitet und an ein oder mehrere andere Fahrzeuge **10b** oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon verteilt werden können.

[0015] In bestimmten Ausführungsformen können Informationen von oben nach unten weitergegeben werden, anstatt Peer-to-Peer. Beispielsweise können Informationen von einem Computersystem **26**, das mit einem Netzwerk **30** verbunden ist, an ein oder mehrere autonome Fahrzeuge **10a**, **10b** weitergegeben werden. Von oben nach unten weitergegebene Informationen können Softwareaktualisierungen, ein neugeschultes DNN oder dergleichen beinhalten.

[0016] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2** kann ein autonomes Fahrzeug **10** gemäß der vorliegenden Erfindung, während es eine Straße entlangfährt, nacheinander mit einer Reihe unterschiedlicher Lenksituationen **32** konfrontiert sein. Obgleich die Anzahl unterschiedlicher Lenksituationen **32**, mit denen ein Fahrzeug **10** konfrontiert sein kann, im Wesentlichen unbegrenzt ist, können sie in einen endlichen Artensatz unterteilt werden. Beispielsweise kann in bestimmten Ausführungsformen ein endlicher Satz von sieben typischen Lenksituationen **32** die meisten, wenn nicht alle, der unterschiedlichen Lenksituationen **32** abde-

cken, mit denen ein Fahrzeug **10** konfrontiert sein kann.

[0017] In bestimmten Ausführungsformen können die sieben typischen Lenksituationen **32** folgende beinhalten: (1) eine erste typische Lenksituation **32a**, bei der eine Straße ohne andere Optionen (z. B. ohne Abbiegeoptionen) geradeaus verläuft; (2) eine zweite typische Lenksituation **32b**, bei der eine Straße ohne andere Optionen nach rechts abbiegt; (3) eine dritte typische Lenksituation **32c**, bei der eine Straße ohne anderen Optionen nach links abbiegt; (4) eine vierte typische Lenksituation **32d**, bei der eine Straße geradeaus führt, aber zusätzlich eine andere Option beinhaltet und zwar eine Linksabbiegung; (5) eine fünfte typische Lenksituation **32e**, bei der eine Straße geradeaus führt, aber zusätzlich eine andere Option beinhaltet und zwar eine Rechtsabbiegung; (6) eine sechste typische Lenksituation **32f**, bei der eine Straße nur zwei Optionen bietet und zwar eine Linksabbiegung und eine Rechtsabbiegung; und (7) eine siebte typische Lenksituation **32g**, bei der eine Straße geradeaus führt, aber zusätzlich zwei andere Optionen beinhaltet und zwar eine Linksabbiegung und eine Rechtsabbiegung. In ausgewählten Ausführungsformen können nach Wunsch oder Bedarf eine oder mehrere andere typische Lenksituationen **32h** definiert und zu diesen sieben hinzugefügt werden.

[0018] Trotz der Anzahl unterschiedlicher Lenksituationen **32**, mit denen ein autonomes Fahrzeug **10** konfrontiert sein kann, können die durch ein Computersystem **12** ausgegebenen Lenkbefehle einer von drei Aufgaben entsprechen und zwar Linksabbiegen, Geradeausfahren und Rechtsabbiegen. Dementsprechend kann ein Computersystem **12** ein erstes DNN, das der Aufgabe des Geradeausfahrens entspricht, ein zweites DNN, das der Aufgabe des Rechtsabbiegens entspricht, und ein drittes DNN, das der Aufgabe des Linksabbiegens entspricht, beinhalten. Jedes dieser DNNs kann eine eigene Architektur aufweisen, die auf Grundlage der Komplexität der entsprechenden Aufgabe optimiert ist. Des Weiteren kann jedes dieser DNNs unter Verwendung vielfältiger Daten speziell für die entsprechende Aufgabe separat geschult werden. Dadurch wird die Schulung insgesamt überschaubarer und präziser. Beispielsweise kann, wenn Neuschulung erforderlich ist, nur das DNN, das neu geschult werden muss, betroffen sein. Die anderen DNNs können unberührt bleiben.

[0019] Dementsprechend kann, wenn ein autonomes Fahrzeug **10** mit einer Situation **32** konfrontiert ist, die in den Bereich der ersten typischen Lenksituation **32a** fällt, das Computersystem **12** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls dem ersten DNN zuweisen. Wenn ein autonomes Fahrzeug **10** mit einer Situation **32** konfrontiert ist, die in den Bereich der zweiten typischen Lenksituation **32b**

fällt, kann das Computersystem **12** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls dem zweiten DNN zuweisen. Wenn ein autonomes Fahrzeug **10** mit einer Situation **32** konfrontiert ist, die in den Bereich der dritten typischen Lenksituation **32c** fällt, kann das Computersystem **12** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls dem dritten DNN zuweisen.

[0020] Wenn ein autonomes Fahrzeug **10** mit einer Situation **32** konfrontiert ist, die in den Bereich einer der anderen typischen Lenksituationen **32d**, **32e**, **32f**, **32g** fällt, muss das Computersystem **12** unter Umständen bestimmen, welche der mehreren verfügbaren Lenkoptionen gewählt werden soll. Diese Bestimmung kann gemäß einer Standardvorgabe (z. B. einer universellen Standardvorgabe, einer durch eine Routenabbildungs-Software vorgegebenen situationsspezifischen Standardvorgabe oder dergleichen), einer von einem „Fahrer“ oder Fahrgast des Fahrzeugs **10** empfangenen Benutzerpräferenz oder -auswahl oder dergleichen erfolgen. Sobald die konkrete Lenkoption ermittelt wurde, die umgesetzt werden soll, kann ein Computersystem **12** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls entsprechend dem ersten DNN, dem zweiten DNN oder dem dritten DNN zuweisen.

[0021] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 3** und **Fig. 4** kann in ausgewählten Ausführungsformen die Aufgabe des Bestimmens, welche der verschiedenen typischen Lenksituationen **32a**, **32b**, **32c**, **32d**, **32e**, **32f**, **32g**, **32h** vorliegt, einem DNN zugewiesen sein. Beispielsweise kann ein Computersystem **12** zusätzlich zum ersten, zweiten und dritten DNN ein Kontroll-DNN beinhalten. Ein Kontroll-DNN kann eine DNN-basierte Einordnungsvorrichtung sein, die dafür geschult ist, die aktuelle Aufgabe auf Grundlage der Straßengeometrie zu ermitteln. Beispielsweise kann ein Kontroll-DNN eingehende Daten **34** (z. B. Stereobilder **34** oder von zwei oder mehr Kameras **14** aufgezeichnete Einzelbilder **34**) analysieren, um zu bestimmen, welche der verschiedenen typischen Lenksituationen **32a**, **32b**, **32c**, **32d**, **32e**, **32f**, **32g**, **32h** vorliegt.

[0022] Wenn ein Kontroll-DNN bestimmt, dass die eingehenden Daten **34** der ersten, zweiten oder dritten typischen Lenksituation **32a**, **32b**, **32c** entsprechen, kann ein Computersystem **12** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls jeweils dem ersten, zweiten bzw. dritten DNN zuweisen. Beispielsweise kann, wenn es sich bei konkreten eingehenden Daten **34a** um ein Bild einer Straße handelt, die ohne Abbiegeoptionen geradeaus verläuft, ein Kontroll-DNN ermitteln, dass die Situation **32** in den Bereich der ersten typischen Lenksituation **32a** fällt, und kann das Computersystem **12** das Erzeugen eines passenden Lenkbefehls dem ersten DNN zuweisen. Im Gegensatz dazu kann, wenn es sich bei kon-

kreten eingehenden Daten **34b** um ein Bild einer „T“-Kreuzung handelt, an der eine Straße nur zwei Optionen bietet und zwar eine Linksabbiegung und eine Rechtsabbiegung, ein Kontroll-DNN ermitteln, dass die Situation **32** in den Bereich der sechsten typischen Lenksituation **32f** fällt. Anschließend kann das Computersystem **12** bestimmen, ob nach rechts oder links abgebogen werden soll, und das Erzeugen eines passenden Lenkbefehls jeweils dem zweiten bzw. dritten DNN zuweisen.

[0023] In ausgewählten Ausführungsformen kann ein Netzwerk eines ersten, zweiten und dritten Kontroll-DNN auf das Erzeugen von Lenkbefehlen ausgerichtet sein (z. B. ausschließlich darauf ausgerichtet sein). In derartigen Ausführungsformen können Drosselbefehle durch ein oder mehrere separate DNNs erzeugt werden, die parallel zu den DNNs laufen, die sich um Lenkbefehle kümmern. Alternativ können die Drosselbefehle durch das erste, zweite und dritte DNN erzeugt werden. Beispielsweise kann ein zweites DNN sowohl einen Lenkbefehl als auch einen Drosselbefehl ausgeben, die passend für ein Navigieren einer in den eingehenden Daten **34** abgebildeten Rechtsabbiegung sind, wobei die Daten **34** Bilder der Straße vor dem Fahrzeug, Daten, welche die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs **10** angeben, und beliebige andere Daten, die zum Erzeugen dieser Befehle benötigt werden, beinhalten können. Dementsprechend kann ein Computersystem **12** ein End-to-end-System sein, da es Stereobilder verwenden kann, um direkt Lenk- und/oder Drosselbefehle auszugeben. Dabei kann es sich um ein End-to-end-System handeln, dass zudem Benutzerangaben handhaben kann, um eine Wegauswahl zu ermöglichen.

[0024] Ein Computersystem **12** mit unabhängig arbeitendem ersten, zweiten und dritten Kontroll-DNN kann den Vorteil aufweisen, dass es sehr modular ist. Es kann jedoch rechenintensiv sein, da in jedem aufgabenspezifischen DNN Faltungsschichten zum Verarbeiten der eingehenden Daten **34** benötigt werden können. Beispielsweise können in ausgewählten Ausführungsformen mindestens zwei Faltungsvorgänge erforderlich sein, eine für die Einordnungsvorrichtung (das Kontroll-DNN) und eine für die Aufgabe selbst (die von dem ersten, zweiten oder dritten DNN durchgeführte Befehlerzeugungsaufgabe). Je nach Umfang der eingehenden Daten **34** (z. B. der Größe des eingehenden Bildes), Anzahl an Faltungsschichten und anderen Parametern (d. h. Größe des Systemkerns, Fortschritt, Anzahl an Filtern usw.) kann es zu gewissen Rechenverzögerungen kommen.

[0025] In ausgewählten Ausführungsformen kann die Architektur eines Computersystems **12** so ausgewählt und/oder ausgestaltet werden, dass etwaige unvermeidbare Rechenverzögerungen bei der konkre-

ten vorliegenden Anwendung vermieden oder abgemildert werden. Alternativ kann ein Computersystem **12** so angeordnet sein, dass die Anzahl an erforderlichen Faltungsvorgängen reduziert ist.

[0026] Beispielsweise können, anstatt, dass die eingehenden Daten **34** (z. B. Bilder) direkt an das jeweilige Aufgabenmodul (z. B. das erste, zweite oder dritte DNN) weitergegeben werden, die eingehenden Daten **34** unter Verwendung eines Faltungsvorgangs (einer oder mehreren Faltungsschichten) verarbeitet werden und kann anschließend die Ausgabe dieses Faltungsvorgangs an eines der verschiedenen Aufgabenmodule weitergegeben werden. Dadurch können alle der Module (z. B. Kontroll-, erstes, zweites und drittes DNN) im Netzwerk miteinander gekoppelt sein, da sie alle über den gleichen Faltungsvorgang in dieser Architektur verfügen. Der Hauptvorteil dieser Architektur besteht darin, dass unter Umständen nur ein Faltungsvorgang benötigt wird, was die Ableitungsgeschwindigkeit verbessern kann. Allerdings können alle der Module gekoppelt sein, sodass unter Umständen alle Module gleichzeitig geschult werden müssen.

[0027] Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung in beliebiger geeigneter Weise arbeiten, um ein End-end-Fahrerlebnis gemäß der vorliegenden Erfindung zu unterstützen. Zum Beispiel kann ein System **12** als Hardware, Software oder eine Kombination davon umgesetzt sein.

[0028] In ausgewählten Ausführungsformen kann ein System **12** Computerhardware und Computersoftware beinhalten. Die Computerhardware eines Systems **12** kann einen oder mehrere Prozessoren **36**, einen Speicher **38**, eine oder mehrere Benutzerschnittstellen **40**, andere Hardware **42** oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon beinhalten. In bestimmten Ausführungsformen können die gesamte oder ein bestimmter Teilsatz dieser Computerhardware Hardware sein, die bereits als Teil eines Fahrzeugs **10** beinhaltet ist. Das heißt, die gesamte oder ein bestimmter Teil der Computerhardware kann multifunktionell sein und kann Aufgaben durchführen, die bereits dem Betrieb des Fahrzeugs **10** zugeordnet sind. Alternativ kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung ausschließlich dem Ermöglichen, Unterstützen und/oder Bereitstellen von autonomem Fahren gewidmet sein.

[0029] Der Speicher **38** eines Systems **12** gemäß der vorliegenden Erfindung kann mit dem einen oder den mehreren Prozessoren **36** wirkverbunden sein und die Computersoftware speichern. Dies kann den einen oder die mehreren Prozessoren **36** dazu befähigen, die Computersoftware auszuführen. Daher kann ein System **12** die Funktionalität oder die Merkmale eines Fahrzeugs **10** durch Hinzufügen und/oder

Modifizieren von Software, Hinzufügen zusätzlicher Hardware zu dem Fahrzeug **10** oder eine Kombination davon erweitern.

[0030] Eine Benutzerschnittstelle **40** eines Systems **12** kann es einem Ingenieur, einem Techniker, einem Insassen (z. B. einem Fahrgast) oder dergleichen ermöglichen, verschiedene Aspekte eines Systems **12** auszuführen, anzupassen, zu steuern oder mit ihnen zu interagieren. Eine Benutzerschnittstelle **40** kann es einem Benutzer ermöglichen, einen oder mehrere Vorgänge eines Fahrzeugs **10** manuell zu steuern (z. B. auszuwählen, einzutippen, durch Berühren einer Schaltfläche oder Drehen eines Knopfes stufenweise zu erhöhen oder abzusenken) und/oder mündlich zu steuern (z. B. unter Verwendung der Stimme eine/n oder mehrere Befehle oder Anforderungen auszugeben) oder ein autonomes Fahrerlebnis an eigene Wünsche anzupassen. In ausgewählten Ausführungsformen kann eine Benutzerschnittstelle **40** eines Systems **12** einen/eine/ein oder mehrere Schaltflächen, Schalter, Knöpfe, Tastenfelder, Tastaturen, Touchscreens, Zeigevorrichtungen, Mikrofone, Lautsprecher oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon beinhalten. Alternativ oder zusätzlich kann eine Benutzerschnittstelle **40** einen oder mehrere Kommunikationsanschlüsse (z. B. Steckanschlüsse, drahtlose Kommunikationsanschlüsse usw.) umfassen, durch die ein/e oder mehrere externe Computer oder Vorrichtungen mit einem System **12** oder einer oder mehreren Komponenten davon kommunizieren kann.

[0031] In ausgewählten Ausführungsformen kann der Speicher **38** eines Systems **12** Sensordaten **44** (z. B. ein oder mehrere Segmente einer Signalausgabe von einem oder mehreren an Bord eines Fahrzeugs **12** befindlichen Sensoren **14**), ein Video **46** (z.B. eine oder mehrere Videodateien **46**), das von einer oder mehreren an Bord eines Fahrzeugs **12** befindlichen Kameras **14** erfasst oder aufgezeichnet wurde, eine oder mehrere Bilddateien **48**, die ein oder mehrere Bilder beinhalten, definieren oder diesen entsprechen, die durch eine oder mehrere Kameras **14** aufgezeichnet wurden oder aus einem durch eine oder mehrere Kameras **14** erfassten oder aufgezeichneten Video extrahiert wurden, oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon (zumindest vorübergehend) speichern.

[0032] Zusätzlich kann der Speicher **38** ein oder mehrere Softwaremodule speichern. Zum Beispiel kann der Speicher **38** ein Kommunikationsmodul **50**, ein Spracherkennungsmodul **52**, ein Bildextraktionsmodul **54**, ein Einordnungsmodul **56**, mehrere Aufgabenmodule **58**, ein Steuermodul **60** andere Daten oder Software **62** oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon speichern. Alternativ können eines oder mehrere des Kommunikationsmoduls **50**, des Spracherkennungsmoduls

52, des Bildextraktionsmoduls **54**, des Einordnungsmoduls **56**, der mehreren Aufgabenmodule **58** und des Steuermoduls **60** als Hardware umgesetzt sein oder Hardwarekomponenten umfassen. Wenngleich **Fig. 5** das Kommunikationsmodul **50**, das Spracherkennungsmodul **52**, das Bildextraktionsmodul **54**, das Einordnungsmodul **56**, die mehreren Aufgabenmodule **58** und das Steuermodul **60** als reine Softwaremodule zeigt, die im Speicher **38** gespeichert sind, können in Wirklichkeit eines oder mehrere dieser Module **50**, **52**, **54**, **56**, **58**, **60** Hardware, Software oder eine Kombination davon umfassen.

[0033] Ein Kommunikationsmodul **50** kann ein Weitergeben von Daten, wie etwa Segmenten von Sensordaten **44**, Videodateien **46**, Bilddateien **48**, Softwarekomponenten (z. B. eines oder mehrerer Module **50**, **52**, **54**, **56**, **58**, **60** oder Aktualisierungen für diese) oder dergleichen oder Kombinationen oder Teilkombinationen davon in ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung oder aus diesem heraus ermöglichen. Zum Beispiel kann ein Kommunikationsmodul **50**, das einen Teil eines an Bord eines Fahrzeugs **10** befindlichen Systems **12** bildet, das System **12** dazu befähigen, eine Aktualisierung für dessen Einordnungsmodul **56**, eines seiner Aufgabenmodule **58** oder dergleichen zu empfangen. Dementsprechend können Verbesserungen, die außerhalb eines Fahrzeugs **10** entwickelt wurden, nach Wunsch oder Bedarf an Bord gebracht werden.

[0034] Ein Spracherkennungsmodul **52** kann es einem System **12** ermöglichen, Informationen, Befehle, Anforderungen oder dergleichen zu erkennen und zu verstehen, die durch einen Insassen unter Verwendung der Stimme bereitgestellt werden. Dementsprechend kann ein Spracherkennungsmodul **52** in ausgewählten Ausführungsformen bestimmte Funktionen in Bezug auf automatische Spracherkennung (automatic speech recognition - ASR) und Verstehen natürlicher Sprache (natural language understanding - NLU) bereitstellen, ermöglichen oder unterstützen. Durch das Nutzen solcher Technologien kann ein Spracherkennungsmodul **52** ermöglichen, dass ein/eine oder mehrere Sprachbefehle oder -anforderungen (z. B. Wörter oder Phrasen, die durch einen oder mehrere Insassen eines autonomen Fahrzeugs **10** an das autonome Fahrzeug **10** oder ein oder mehrere Systeme **12** davon gesprochen werden) richtig interpretiert werden.

[0035] Ein Bildextraktionsmodul **52** kann ein oder mehrere Bilder **34** aus einem von einer oder mehreren Kameras **14** aufgezeichneten Video extrahieren. Zum Beispiel kann ein Bildextraktionsmodul **52** ein oder mehrere Bilder **34** aus einer Videodatei **46**, die in einem Speicher **38** gespeichert ist, einem Video, das von einer Kamera **14** ausgegeben wird, oder dergleichen extrahieren. In ausgewählten Ausführungsformen kann ein Bildextraktionsmodul **52** ein oder meh-

rere Bilder **34**, die durch dieses extrahiert wurden, als Bilddateien **48** im Speicher **38** speichern.

[0036] Ein Einordnungsmodul **56** kann ein Kontroll-DNN gemäß der vorliegenden Erfindung sein oder bereitstellen. Dementsprechend kann ein Einordnungsmodul **56** ein künstliches neuronales Netzwerk sein, beinhalten oder unterstützen, das zum Durchführen oder Anwenden von Tiefenlernen programmiert ist. In bestimmten Ausführungsformen kann ein Einordnungsmodul **56** bei Betrieb eingehende Daten **34** (z. B. Stereobilder **34** oder von zwei oder mehr Kameras **14** aufgezeichnete Einzelbilder **34**) analysieren, um zu bestimmen, welche der verschiedenen typischen Lenksituationen **32a**, **32b**, **32c**, **32d**, **32e**, **32f**, **32g**, **32h** vorliegt. Demnach kann man sagen, dass ein Einordnungsmodul **56** eine logistische Einordnung durchführt.

[0037] Das von dem Einordnungsmodul **56** durchgeführte oder angewendete Tiefenlernen kann einen oder mehrere Algorithmen verwenden, um Abstraktionen auf höherer Ebene in Daten zu modellieren, die einem oder mehreren Abschnitten von einem oder mehreren Bildern **34** entsprechen, die von der einen oder den mehreren mit einem System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung verbundenen Kameras **14** erfasst wurden. In ausgewählten Ausführungsformen kann dies durch Verwendung von mehreren Verarbeitungsschichten, die mehrere nicht lineare Transformationen umfassen, erreicht werden.

[0038] Zum Beispiel kann ein Kontroll-DNN, das einem Einordnungsmodul **56** entspricht, vorwärtsgekoppelte Computerdiagramme mit Eingangsknoten, verdeckten Schichten und Ausgangsknoten umfassen. Für Einordnungen, die Bilder betreffen, können Pixelwerte eines Eingabebildes, das einen Teil der Einordnung bildet, Eingangsknoten zugewiesen werden und dann durch das Netzwerk gespeist werden, wobei sie eine Reihe nicht linearer Transformationen durchlaufen. Am Ende der Berechnung kann der Ausgangsknoten einen Wert ergeben, welcher der Klasse entspricht, die durch das Kontroll-DNN abgeleitet wurde.

[0039] Damit ein Kontroll-DNN, das einem Einordnungsmodul **56** entspricht, dazu in der Lage ist, unterschiedliche Klassen auseinanderzuhalten, muss es auf Grundlage von Beispielen geschult werden. Dementsprechend muss, um ein Kontroll-DNN zu schaffen, das in der Lage ist, eine Vielzahl unterschiedlicher Lenksituationen **32** einzuordnen, eine große Sammlung von Beispielbildern **34** (z. B. hunderte bis tausende für jede Art), die bekannte (z. B. gekennzeichnete) Eigenschaften aufweisen, als Schuldaten verwendet werden. Daher kann ein neuronales Kontroll-Netzwerk unter Verwendung von Rückwärtsvermittlung geschult werden.

[0040] Ein Kontroll-DNN, das einem Einordnungsmodul **56** entspricht, kann geschult werden, während es innerhalb oder auf der Hardware eines nicht produktiven Systems **12** betrieben wird. Zum Beispiel kann ein Kontroll-DNN auf einem außerhalb des Fahrzeugs liegenden System **12** in einem Computelabor, in einem nicht produktiven System **12**, das sich speziell für die Schulungszwecke in einem Testfahrzeug **10** befindet, oder dergleichen geschult werden. Sobald es geschult ist, kann ein Kontroll-DNN „geklont“ oder anderweitig in ein Produktionssystem **12**, das einen Teil eines Produktionsfahrzeugs **10** bildet, kopiert oder importiert werden.

[0041] Wenn es geschult ist, kann ein Kontroll-DNN, das einem Einordnungsmodul **56** entspricht, eine oder mehrere Eingaben (z. B. ein oder mehrere von einer oder mehreren Kameras **14** aufgezeichnete Bilder **34**) empfangen und diese Eingaben als eine bestimmte numerische Affinität (z. B. „Prozentwertung“) für jede Klasse, für die das Kontroll-DNN geschult wurde, aufweisend einordnen. Dementsprechend kann, wenn ein Kontroll-DNN für zehn unterschiedliche Klassen geschult wurde, das Kontroll-DNN für eine oder mehrere Eingaben zehn numerische Bewertungen ausgeben. Jede derartige Bewertung kann die Affinität der einen oder der mehreren Eingaben (oder der physischen Realität, die durch die eine oder die mehreren Eingaben widergespiegelt wird) für eine andere Klasse angeben.

[0042] Bei einer eindeutigen oder klaren Einordnung können die eine oder die mehreren Eingaben eine starke Affinität für eine Klasse und eine schwache Affinität für alle anderen Klassen zeigen. Bei einer uneindeutigen oder unklaren Einordnung können die eine oder die mehreren Eingaben keine bevorzugte Affinität für eine bestimmte Klasse zeigen. Zum Beispiel kann es eine „beste“ Bewertung für eine bestimmte Klasse geben, doch diese Bewertung kann nah bei anderen Bewertungen für andere Klassen liegen.

[0043] Dementsprechend kann ein Einordnungsmodul **56** in ausgewählten Ausführungsformen einen oder mehrere Schwellenwertvergleiche oder Tests anwenden, um zu bestimmen, ob eine bestimmte Einordnung ausreichend eindeutig oder klar ist, um daraufhin zu handeln oder sich darauf zu verlassen (z. B. ob die Einordnung ausreichend eindeutig oder klar ist, um eine Änderung am Betrieb eines Fahrzeugs **10** zu rechtfertigen). Zum Beispiel kann ein Einordnungsmodul **40** eine Einordnung testen, um zu sehen, ob der Abstand zwischen einer besten Bewertung und allen anderen Bewertungen einen bestimmten Abstandsschwellenwert erreicht oder erfüllt.

[0044] Ein Kontroll-DNN gemäß der vorliegenden Erfindung kann dafür geschult werden, einen bestimmten, vorher festgelegten Satz von Klassen zu erkennen (z. B. Affinitätsbewertungen dafür zu erzeugen).

Die Anzahl an Klassen innerhalb eines derartigen Satzes kann je nach Ausführungsform variieren. In bestimmten Ausführungsformen kann die Anzahl an Klassen der Anzahl typischer Lenksituationen **32** entsprechen, mit denen ein entsprechendes Fahrzeug **12** voraussichtlich konfrontiert sein wird. Beispielsweise kann die Anzahl an Klassen sieben betragen, wenn ein Fahrzeug **12** voraussichtlich nur mit sieben typischen Lenksituationen **32a, 32b, 32c, 32d, 32e, 32f, 32g** konfrontiert sein wird.

[0045] Ein Aufgabenmodul **58** kann ein DNN sein oder bereitstellen, das einer bestimmten Aufgabe entspricht. Unterschiedliche Aufgabenmodule **58** können unterschiedliche DNNs sein oder bereitstellen, die unterschiedlichen Aufgaben entsprechen. Ein jeweiliges Aufgabenmodul **58** und das entsprechende DNN können eine eigene Architektur aufweisen, die auf Grundlage der Komplexität der entsprechenden Aufgabe optimiert ist. In ausgewählten Ausführungsformen kann ein erstes Aufgabenmodul **58a** ein erstes DNN sein oder bereitstellen, das der Aufgabe des Geradeausfahrens entspricht, kann ein zweites Aufgabenmodul **58b** ein zweites DNN sein oder bereitstellen, das der Aufgabe des Rechtsabbiegens entspricht, und kann ein drittes Aufgabenmodul **58c** ein drittes DNN sein oder bereitstellen, das der Aufgabe des Linksabbiegens entspricht.

[0046] Jedes Aufgabenmodul **58** kann ein künstliches neuronales Netzwerk sein, beinhalten oder unterstützen, das zum Durchführen oder Anwenden von Tiefenlernen programmiert ist. Dementsprechend können die den verschiedenen Aufgabenmodulen **58** entsprechenden DNNs so konfiguriert, hergestellt, geklont usw. werden, wie vorstehend in Verbindung mit dem DNN beschrieben, das dem Einordnungsmodul **56** entspricht. Der Hauptunterschied zwischen den DNNs, die den verschiedenen Aufgabenmodulen **58** entsprechen, und dem DNN, das dem Einordnungsmodul **56** entspricht, besteht darin, dass die den verschiedenen Aufgabenmodulen **58** entsprechenden DNNs eine Regression anstelle einer logistischen Einordnung durchführen. Demnach kann in bestimmten Ausführungsformen jedes Aufgabenmodul **58** eingehende Daten **34** analysieren, die ihm zugewiesen werden (z. B. Stereobilder **34** oder Einzelbilder **34**, die als dem konkreten Aufgabenmodul **58** zugehörig eingeordnet werden), und einen numerischen Fahrzeugsteuerbefehl (z. B. eine Gleitkommazahl) erzeugen, der eine Situation **32**, der das entsprechende Fahrzeug **10** ausgesetzt ist, in angemessener Weise löst.

[0047] Ein Steuermodul **60** kann dazu programmiert sein, eine oder mehrere Aktionen oder Funktionen auf Grundlage von ausgewählten Sensordaten **44**, den durch ein Einordnungsmodul **56** bestimmten Einordnungen, den durch ein oder mehrere Aufgabenmodule **58** erzeugten numerischen Fahrzeugsteuerbefehlen zu handeln.

erbefehlen oder dergleichen oder einer Kombination davon anzufordern, einzuleiten oder umzusetzen. Beispielsweise kann, wenn ein Steuermodul **60** anhand eines Einordnungsmodul **56** bestimmt, dass sich ein Fahrzeug **10** einer „T“-Kreuzung annähert, und anhand eines Spracherkennungsmoduls **52** bestimmt, dass ein Insasse des Fahrzeugs einen gültigen Befehl zum Rechtsabbiegen erteilt hat, das Steuermodul **60** die Aufgabe des Erzeugens eines passenden Lenkbefehls einem zweiten Aufgabenmodul **58b** zuweisen und sicherstellen, dass der so erzeugte Lenkbefehl ordnungsgemäß ausgeführt wird. In bestimmten Ausführungsformen kann ein Steuermodul **60** die Ausführung mehrerer numerischer Fahrzeugsteuerbefehle, die von mehreren Aufgabenmodulen **58** erzeugt wurden, koordinieren. Beispielsweise kann ein Steuermodul **60** die Ausführung (z. B. gleichzeitige Ausführung) eines numerischen Lenkbefehls, eines numerischen Drosselbefehls und eines numerischen Bremsbefehls, die durch drei unterschiedliche Aufgabenmodule **58** erzeugt wurden, koordinieren.

[0048] Unter Bezugnahme auf **Fig. 6** kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung in ausgewählten Ausführungsformen ein zweistufiges Befehlserzeugungsverfahren **64** durchführen. In diesem Verfahren **64** werden in einer ersten Stufe **66a** verschiedene Schritte durchgeführt, die einer ersten, allgemeinen Einordnung (z. B. der durch ein Einordnungsmodul **56** durchgeführten Arbeit) entsprechen, während in einer zweiten Stufe **66b** verschiedene Schritte durchgeführt werden, die einer zweiten, spezialisierten Einordnung (z. B. der durch ein oder mehrere Aufgabenmodule **58** durchgeführten Arbeit) entsprechen.

[0049] Beispielsweise kann in einer ersten Stufe **66a** ein System **12** Eingabedaten (z. B. Sensordaten **44**, Bilddaten **34** in der Form einer oder mehrerer Video- oder Bilddateien **46**, **48** oder dergleichen oder eine Kombination oder Teilkombination davon) empfangen **68**, eine logistische Einordnung durchführen **70**, um zu bestimmen, welche Art von Situation **32** vorliegt, und dann die Aufgabe des Erzeugens eines Steuerbefehls einem spezialisierten tiefen neuronalen Netzwerk zuweisen **72**, das speziell dafür geschult ist, diese Art von Situation **32** anzugehen. Anschließend kann in einer zweiten Stufe **66b** das System **12** das spezialisierte tiefe neuronale Netzwerk verwenden, um eine Regression durchzuführen **74**, auf Grundlage der Regression einen Steuerbefehl zu erzeugen **76** und dann den Steuerbefehl umzusetzen **78**, um die konkreten Details der vorliegenden Situation **32** angemessen anzugehen.

[0050] Ein zweistufiges Befehlserzeugungsverfahren **64** gemäß der vorliegenden Erfindung kann wiederholt werden (z. B. mehrmals pro Sekunde wiederholt werden), um einen stetigen Strom an Steuerbe-

fehlen zu erzeugen. Dadurch kann ein Fahrzeug **10** über den angemessensten Ansatz zum Angehen einer aktuell vorliegenden Situation **32** auf dem Laufenden halten, wobei sich die Situation **32** immer wieder ändern kann.

[0051] Unter Bezugnahme auf **Fig. 7** kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung in ausgewählten Ausführungsformen ein zweistufiges Befehlserzeugungsverfahren **64a** durchführen, das dazu ausgelegt ist, Benutzerpräferenzen oder -auswahlen einzubeziehen oder zu respektieren. In diesem Verfahren **64a** kann nachdem eine logistische Einordnung durchgeführt **70** wurde, eine erste Bestimmung **80** darüber getroffen werden, ob eine vorgeschriebene Reaktion auf die Art von Situation **32** vorliegt, die in der logistischen Einordnung ermittelt wurde. Wenn eine vorgeschriebene Reaktion vorliegt, müssen keine Benutzerpräferenzen oder -auswahlen einbezogen oder respektiert werden. Dementsprechend kann, wenn eine vorgeschriebene Reaktion vorliegt, ein System **12** die Aufgabe des Erzeugens eines Steuerbefehls einem spezialisierten tiefen neuronalen Netzwerk zuweisen **72**, das speziell dafür geschult ist, diese Art von Situation **32** anzugehen.

[0052] Beispielsweise bestünde, wenn die logistische Einordnung angibt, dass es sich bei einer Situation **32**, mit der ein Fahrzeug **10** konfrontiert ist, um eine erste typische Lenksituation **32a** handelt, bei der eine Straße ohne andere Optionen (z. B. ohne Abbiegeoptionen) geradeaus verläuft, die einzige angemessene Reaktion darin, geradeaus zu fahren. Gleichmaßen bestünde, wenn die logistische Einordnung angibt, dass es sich bei einer Situation **32**, mit der ein Fahrzeug **10** konfrontiert ist, um eine zweite typische Lenksituation **32b** handelt, bei der eine Straße ohne andere Optionen nach rechts abbiegt, die einzige angemessene Reaktion darin, nach rechts abzubiegen. Demnach müssen in Situationen **32**, in denen es eine vorgeschriebene Reaktion gibt, keine Benutzerpräferenzen oder -auswahlen berücksichtigt werden.

[0053] Wenn es jedoch keine vorgeschriebene Reaktion gibt, können Benutzerpräferenzen oder -auswahlen berücksichtigt werden. Beispielsweise können, wenn die logistische Einordnung angibt, dass es sich bei einer Situation **32**, mit der ein Fahrzeug **10** konfrontiert ist, um eine vierte typische Lenksituation **32d** handelt, bei der eine Straße geradeaus führt, aber zusätzlich eine andere Option beinhaltet und zwar eine Linksabbiegung, beim Bestimmen, ob geradeaus oder nach links gefahren werden soll, Benutzerpräferenzen oder -auswahlen berücksichtigt werden.

[0054] Dementsprechend kann, wenn es keine vorgeschriebene Reaktion gibt, eine zweite Bestimmung **82** darüber getroffen werden, ob eine Benutzeraus-

wahl empfangen wurde. Wenn keine Benutzerauswahl empfangen wurde, kann ein System **12** eine Standardvorgabe anwenden **84** und gemäß dieser Standardvorgabe ein passendes spezialisiertes tiefes neuronales Netzwerk anweisen **72**. In bestimmten Situationen **32** oder Ausführungsformen kann eine Standardvorgabe darin bestehen, einen durch eine Routenabbildungs-Software vorgeschriebenen Weg einzuschlagen. Beispielsweise kann, wenn es sich bei der aktuellen Situation **32** um eine vierte typische Lenksituation **32d** handelt, bei der eine Straße geradeaus führt, aber zusätzlich eine andere Option beinhaltet und zwar eine Linksabbiegung, und eine Routenabbildungs-Software angibt, das Geradeaus die beste Option ist, das System **12** das Geradeausfahren als situationsspezifische Standardvorgabe verwenden und die Aufgabe des Erzeugens eines Lenkbefehls einem ersten Aufgabenmodul **58a** zuweisen **72**.

[0055] Alternativ oder in anderen Situationen **32** kann ein System **12** eine universellere Standardvorgabe verwenden. Beispielsweise kann ein System **12** so programmiert sein, dass, wenn keine Benutzerauswahl empfangen wurde und Geradeausfahren eine Option ist, das System **12** Geradeaus als universelle Standardvorgabe verwenden und die Aufgabe des Erzeugens eines Lenkbefehls einem ersten Aufgabenmodul **58a** zuweisen **72** kann.

[0056] Wenn eine Benutzerauswahl empfangen wurde, kann eine dritte Bestimmung **86** darüber getroffen werden, ob die Benutzerauswahl zulässig ist. Wenn die Benutzerauswahl nicht zulässig ist, kann ein System **12** eine Standardvorgabe anwenden **84**, wie vorstehend erläutert. Alternativ kann ein System **12**, wenn die Benutzerauswahl zulässig ist, die Benutzerauswahl anwenden **88** und gemäß dieser Auswahl ein passendes spezialisiertes tiefes neuronales Netzwerk anweisen **72**.

[0057] Beispielsweise kann, wenn es sich bei der aktuellen Situation **32** um eine sechste typische Lenksituation **32f** handelt, bei der eine Straße nur zwei Optionen bietet und zwar eine Linksabbiegung und eine Rechtsabbiegung, und ein System **12** eine Benutzerauswahl zum Geradeausfahren empfängt oder vor Kurzem empfangen hat, das System **12** bestimmen **86**, dass die Benutzerauswahl unzulässig ist, und eine Standardvorgabe anwenden **84**. Wenn ein System **12** hingegen eine Benutzerauswahl zum Linksabbiegen empfängt oder vor Kurzem empfangen hat, kann das System **12** bestimmen **86**, dass die Benutzerauswahl zulässig ist, und die Aufgabe des Erzeugens eines Lenkbefehls einem dritten Aufgabenmodul **58c** zuweisen **72**.

[0058] In ausgewählten Ausführungsformen können die zweite und die dritte Bestimmung **82**, **86** gemäß der vorliegenden Erfindung eine Zeitkomponente be-

inhalten. Dies kann es einem System **12** ermöglichen, ein typisch menschliches Verhalten zu zeigen. Beispielsweise muss das System **12**, wenn ein Fahrzeug **10** eine Straße entlangfährt und ein System **10** davon einen Benutzersprachbefehl zum „Linksabbiegen“ empfängt, nicht die Zulässigkeit dieser Auswahl in einer aktuellen Situation **32** bestimmen **86**, sondern kann dies eine Zeit lang „in Erinnerung behalten“. Dementsprechend kann das System **10**, wenn das Fahrzeug **10** innerhalb eines bestimmten Zeitraums nach Empfang des Sprachbefehls mit einer Situation **32** konfrontiert wird, in der ein Linksabbiegen angemessen wäre, diese Auswahl zu diesem Zeitpunkt anwenden **88**.

[0059] Die Länge dieser Zeitdauer, während der ein System **12** eine bestimmte Benutzerauswahl in Erinnerung behält, kann je nach Ausführungsform und je nach Fahrzeug, Geschwindigkeit, Benutzerauswahl oder dergleichen variieren. Beispielsweise kann die Zeitdauer, die einer Benutzerauswahl zum „Linksabbiegen“ entspricht, kürzer sein als die Zeitdauer, die einer Benutzerauswahl zum „Fahren nach links an der nächsten Abzweigung“ oder „Fahren nach links an der Abzweigung da vorne“ entspricht. Die Zeitdauer kann jedoch in bestimmten Ausführungsformen alles von einer Sekunde oder zwei bis zu etwa 30 Sekunden betragen.

[0060] Unter Bezugnahme auf **Fig. 8** kann ein System **12** gemäß der vorliegenden Erfindung in ausgewählten Ausführungsformen ein zweistufiges Befehlserzeugungsverfahren **64b** durchführen, das dazu ausgelegt ist, bestimmte Effizienzsteigerungen für die Berechnung bereitzustellen. In diesem Verfahren **64b** können, anstatt, dass eingehende Daten **34** direkt sowohl an das Einordnungsmodul **56** als auch das zugewiesene Aufgabenmodul **58** weitergegeben werden, die eingehenden Daten **34** zunächst unter Verwendung eines Faltungsvorgangs (einer oder mehrerer Faltungsschichten) verarbeitet werden. Das heißt, es kann ein Faltungsvorgang an den eingehenden Daten durchgeführt **90** werden. Anschließend müssen das Einordnungsmodul **56** und das zugewiesene Aufgabenmodul **58** diesen Faltungsvorgang nicht wiederholen. Stattdessen können sie die Verarbeitung von diesem übernehmen und einfach die verbleibende Arbeit **92**, **94** abschließen, die zum Erhalten oder Durchführen der logistischen Einordnung bzw. Regression benötigt wird.

[0061] Vorstehend wurden in dieser Schrift Systeme **12** und Verfahren **64** hauptsächlich auf die Aufgabe des Erzeugens von Lenkbefehlen für autonome Fahrzeuge **10** angewendet. Wenngleich diese Systeme **12** und Verfahren **64** für diese konkrete Anwendung gut geeignet sind, versteht es sich, dass die Systeme **12** und Verfahren **64** gemäß der vorliegenden Erfindung auf beliebige Robotersituationen angewendet werden können, in denen eine zweistufige Analyse (z.

B. eine erste, allgemeine Einordnung gefolgt von einer zweiten, spezialisierten Einordnung) von Nutzen sein könnte.

[0062] Die Ablaufdiagramme in den Fig. 6-8 veranschaulichen die Architektur, die Funktionalität und den Betrieb von möglichen Umsetzungen von Systemen, Verfahren und Computerprogrammprodukten gemäß verschiedenen Ausführungsformen in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung. In dieser Hinsicht kann jeder Block in den Ablaufdiagrammen ein Modul, ein Segment oder einen Abschnitt eines Codes darstellen, das/der eine oder mehrere ausführbare Anweisungen zum Umsetzen der spezifizierten logischen Funktion(en) umfasst. Es ist zudem anzumerken, dass jeder Block und/oder Kombinationen der Blöcke von hardwarebasierten Systemen für spezielle Zwecke, welche die spezifizierten Funktionen oder Aktionen ausführen, oder Kombinationen aus Hardware für spezielle Zwecke und Computeranweisungen umgesetzt werden können.

[0063] Außerdem ist anzumerken, dass in einigen alternativen Umsetzungen die in den Blöcken vermerkten Funktionen in einer anderen als der in den Figuren dargestellten Reihenfolge auftreten können. In bestimmten Ausführungsformen können zwei Blöcke, die aufeinanderfolgend gezeigt sind, tatsächlich im Wesentlichen gleichzeitig ausgeführt werden, oder die Blöcke können manchmal in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden, je nach der beteiligten Funktionalität. Alternativ oder zusätzlich können bestimmte Schritte oder Funktionen weggelassen werden, wenn sie nicht benötigt werden.

[0064] In der vorstehenden Offenbarung wurde auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen, die einen Teil hiervon bilden und in denen zur Veranschaulichung konkrete Umsetzungen gezeigt sind, in denen die Offenbarung ausgeführt sein kann. Es versteht sich, dass andere Umsetzungen verwendet werden können und strukturelle Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen. Bezugnahmen in der Patentschrift auf „eine Ausführungsform“, „ein Ausführungsbeispiel“, „ausgewählte Ausführungsformen“, „bestimmte Ausführungsformen“ usw. geben an, dass die beschriebene Ausführungsform oder die beschriebenen Ausführungsformen ein(e) bestimmte(s) Merkmal, Struktur oder Eigenschaft beinhalten kann bzw. können; nicht jede Ausführungsform muss jedoch notwendigerweise diese(s) bestimmte Merkmal, Struktur oder Eigenschaft beinhalten. Darüber hinaus beziehen sich derartige Formulierungen nicht unbedingt auf dieselbe Ausführungsform. Ferner sei darauf hingewiesen, dass, wenn ein(e) bestimmte(s) Eigenschaft, Struktur oder Merkmal in Verbindung mit einer Ausführungsform beschrieben ist, es im Bereich des Fachwissens des Fachmanns liegt, ein(e) derartige(s) Eigenschaft, Struktur oder Merkmal in Verbin-

dung mit anderen Ausführungsformen umzusetzen, ob dies nun ausdrücklich beschrieben ist oder nicht.

[0065] Umsetzungen der hier offenbarten Systeme, Vorrichtungen und Verfahren können einen Spezial- oder Universalcomputer umfassen oder verwenden, der Computerhardware beinhaltet, wie zum Beispiel einen oder mehrere Prozessoren und Systemspeicher, wie sie hier erörtert sind. Umsetzungen innerhalb des Umfangs der vorliegenden Offenbarung können zudem physische und andere computerlesbare Medien zum Transportieren oder Speichern von computerausführbaren Anweisungen und/oder Datenstrukturen beinhalten. Bei derartigen computerlesbaren Medien kann es sich um beliebige verfügbare Medien handeln, auf die durch ein Universal- oder Spezialcomputersystem zugegriffen werden kann. Bei computerlesbaren Medien, auf denen computerausführbare Anweisungen gespeichert sind, handelt es sich um Computerspeichermedien (-vorrichtungen). Bei computerlesbaren Medien, die computerausführbare Anweisungen transportieren, handelt es sich um Übertragungsmedien. Somit können Umsetzungen der Offenbarung beispielsweise und nicht einschränkend mindestens zwei deutlich unterschiedliche Arten von computerlesbaren Medien umfassen: Computerspeichermedien (-vorrichtungen) und Übertragungsmedien.

[0066] Computerspeichermedien (-vorrichtungen) beinhalten RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM, Festkörperlaufwerke (solid state drives - „SSDs“) (z. B. auf Grundlage von RAM), Flash-Speicher, Phasenwechselspeicher (phase-change memory - „PCM“), andere Speicherarten, andere optische Plattenspeicher, Magnetplattenspeicher oder andere magnetische Speichervorrichtungen oder ein beliebiges anderes Medium, das dazu verwendet werden kann, gewünschte Programmcodemittel in Form von computerausführbaren Anweisungen oder Datenstrukturen zu speichern, und auf das durch einen Universal- oder Spezialcomputer zugegriffen werden kann.

[0067] Eine Umsetzung der in dieser Schrift offenbarten Vorrichtungen, Systeme und Verfahren kann über ein Computernetzwerk kommunizieren. Ein „Netzwerk“ ist als eine oder mehrere Datenverbindungen definiert, die den Transport elektronischer Daten zwischen Computersystemen und/oder Modulen und/oder anderen elektronischen Vorrichtungen ermöglichen. Wenn Informationen über ein Netzwerk oder eine andere (entweder festverdrahtete, drahtlose oder eine Kombination aus festverdrahteter oder drahtloser) Kommunikationsverbindung an einen Computer übertragen oder diesem bereitgestellt werden, sieht der Computer die Verbindung korrekt als Übertragungsmedium an. Übertragungsmedien können ein Netzwerk und/oder Datenverbindungen beinhalten, die dazu verwendet werden können, gewünschte Programmcodemittel in Form von com-

puterausführbaren Anweisungen oder Datenstrukturen zu transportieren, und auf die durch einen Universal- oder Spezialcomputer zugegriffen werden kann. Kombinationen aus dem Vorstehenden sollen ebenfalls im Umfang computerlesbarer Medien enthalten sein.

[0068] Computerausführbare Anweisungen umfassen zum Beispiel Anweisungen und Daten, die bei Ausführung auf einem Prozessor bewirken, dass ein Universalcomputer, ein Spezialcomputer oder eine Spezialverarbeitungsvorrichtung eine bestimmte Funktion oder Gruppe von Funktionen durchführt. Die computerausführbaren Anweisungen können zum Beispiel Binärdateien, Anweisungen in einem Zwischenformat, wie etwa Assemblersprache, oder sogar Quellcode sein. Obwohl der Gegenstand in für Strukturmerkmale und/oder methodische Handlungen spezifischer Sprache beschrieben worden ist, versteht es sich, dass der in den beigefügten Patentansprüchen definierte Gegenstand nicht zwingend auf die vorstehend beschriebenen Merkmale oder Handlungen beschränkt ist. Die beschriebenen Merkmale und Handlungen sind vielmehr als beispielhafte Umsetzungsformen der Patentansprüche offenbart.

[0069] Der Fachmann wird verstehen, dass die Offenbarung in Network-Computing-Umgebungen mit vielen Arten von Computersystemkonfigurationen umgesetzt werden kann, zu denen ein Armaturenbrett-Fahrzeugcomputer, Personal Computer, Desktop-Computer, Laptop-Computer, Nachrichtenprozessoren, Handheld-Vorrichtungen, Multiprozessorsysteme, Unterhaltungselektronik auf Mikroprozessorbasis oder programmierbare Unterhaltungselektronik, Netz-PCs, Minicomputer, Mainframe-Computer, Mobiltelefone, PDAs, Tablets, Pager, Router, Switches, verschiedene Speichervorrichtungen und dergleichen gehören. Die Offenbarung kann zudem in verteilten Systemumgebungen umgesetzt werden, in denen sowohl lokale Computersysteme als auch Remote-Computersysteme, die durch ein Netzwerk (entweder durch festverdrahtete Datenverbindungen, drahtlose Datenverbindungen oder durch eine Kombination aus festverdrahteten und drahtlosen Datenverbindungen) verbunden sind, Aufgaben ausführen. In einer verteilten Systemumgebung können sich Programmmodule sowohl in lokalen Speichervorrichtungen als auch in Remote-Speichervorrichtungen befinden.

[0070] Ferner können die hierin beschriebenen Funktionen gegebenenfalls in einem oder mehreren des Folgenden durchgeführt werden: Hardware, Software, Firmware, digitalen Komponenten oder analogen Komponenten. Eine oder mehrere anwendungsspezifische integrierte Schaltungen (application specific integrated circuits - ASICs) können zum Beispiel so programmiert sein, dass sie eines bzw. einen oder mehrere der hierin beschriebenen Systeme und Pro-

zedesse ausführen. Bestimmte Ausdrücke werden in der gesamten Beschreibung und den Patentansprüchen verwendet, um auf bestimmte Systemkomponenten Bezug zu nehmen. Der Fachmann wird verstehen, dass auf Komponenten mit unterschiedlichen Bezeichnungen Bezug genommen werden kann. In dieser Schrift soll nicht zwischen Komponenten unterschieden werden, die sich dem Namen nach unterscheiden, nicht jedoch der Funktion nach.

[0071] Es ist anzumerken, dass die vorstehend erörterten Sensorausführungsformen Computerhardware, -software, -firmware oder eine beliebige Kombination daraus umfassen können, um zumindest einen Teil ihrer Funktionen durchzuführen. Ein Sensor kann zum Beispiel Computercode beinhalten, der dazu konfiguriert ist, in einem oder mehreren Prozessoren ausgeführt zu werden, und kann Hardware-Logikschaltungen/elektrische Schaltungen beinhalten, die durch den Computercode gesteuert werden. Diese beispielhaften Vorrichtungen sind hierin zum Zwecke der Veranschaulichung bereitgestellt und sollen nicht der Einschränkung dienen. Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung können in weiteren Arten von Vorrichtungen umgesetzt werden, wie es dem einschlägigen Fachmann bekannt ist.

[0072] Zumindest einige Ausführungsformen der Offenbarung sind auf Computerprogrammprodukte ausgerichtet, die eine derartige Logik (z. B. in Form von Software) umfassen, die auf einem beliebigen computernutzbaren Medium gespeichert ist. Derartige Software bewirkt bei Ausführung in einer oder mehreren Datenverarbeitungsvorrichtungen, dass eine Vorrichtung wie hier beschrieben arbeitet.

[0073] Wenngleich vorstehend verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese lediglich als Beispiele dienen und nicht zur Einschränkung. Der einschlägige Fachmann wird erkennen, dass verschiedene Änderungen bezüglich Form und Detail daran vorgenommen werden können, ohne vom Wesen und Umfang der Offenbarung abzuweichen. Somit sollten die Breite und der Umfang der vorliegenden Offenbarung durch keine der vorstehend beschriebenen beispielhaften Ausführungsformen eingeschränkt werden, sondern sollen lediglich gemäß den folgenden Patentansprüchen und ihren Äquivalenten definiert sein. Die vorstehende Beschreibung wurde zum Zwecke der Veranschaulichung und Beschreibung dargelegt. Sie erhebt keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit und soll die Offenbarung nicht auf die genaue offenbarte Form beschränken. Viele Modifikationen und Variationen sind in Anbetracht der vorstehenden Lehren möglich. Ferner ist anzumerken, dass beliebige oder alle der vorstehend genannten alternativen Umsetzungen in einer beliebigen gewünschten Kombination verwendet werden können,

um zusätzliche Hybridumsetzungen der Offenbarung zu bilden.

[0074] Gemäß der vorliegenden Erfindung beinhaltet ein Verfahren Folgendes: Empfangen von Bilddaten durch ein Computersystem; logistisches Einordnen der Bilddaten als einer Situation aus einer Vielzahl von Situationen zugehörig durch das Computersystem; Zuweisen der Bilddaten zu einem neuronalen Netzwerk des Computersystems, das speziell dafür geschult ist, die eine Situation anzugehen; Durchführen einer Regression der Bilddaten durch das neuronale Netzwerk; und Umsetzen eines auf der Regression beruhenden Befehls durch das Computersystem.

[0075] Gemäß einer Ausführungsform befindet sich das Computersystem an Bord eines Fahrzeugs.

[0076] Gemäß einer Ausführungsform handelt es sich bei dem Befehl um einen Lenkbefehl für das Fahrzeug.

[0077] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl von Situationen eine Situation mit Geradeausfahren, eine Situation mit Linksabbiegen und eine Situation mit Rechtsabbiegen.

[0078] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Computersystem eine Vielzahl neuronaler Netzwerke.

[0079] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl neuronaler Netzwerke ein erstes neuronales Netzwerk, das dafür geschult ist, Bilder in Bezug auf die Vielzahl von Situationen logistisch einzuordnen.

[0080] Gemäß einer Ausführungsform führt das erste neuronale Netzwerk das logistische Einordnen der Bilddaten durch.

[0081] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl neuronaler Netzwerke ferner Folgendes: ein zweites neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Geradeausfahren zugehörig eingeordnet wurden; ein drittes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Linksabbiegen zugehörig eingeordnet wurden; und ein viertes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Rechtsabbiegen zugehörig eingeordnet wurden.

[0082] Gemäß einer Ausführungsform ist die eine Situation aus der Gruppe bestehend aus der Situation mit Geradeausfahren, der Situation mit Linksabbiegen und der Situation mit Rechtsabbiegen ausgewählt.

[0083] Gemäß einer Ausführungsform ist die vorstehende Erfindung ferner dadurch gekennzeichnet, dass eines des zweiten, dritten oder vierten neuronalen Netzwerks die Regression der Bilddaten durchführt.

[0084] Gemäß der vorliegenden Erfindung beinhaltet ein mehrstufiges Verfahren Bilddaten zum Durchführen von autonomen Fahren eines Fahrzeugs, wobei das Verfahren Folgendes beinhaltet: Aufzeichnen mindestens eines Bildes eines Bereichs vor dem Fahrzeug durch eine an Bord eines Fahrzeugs befindliche Kamera; logistisches Einordnen des mindestens einen Bildes als einer Situation aus einer Vielzahl von Situationen zugehörig durch ein erstes neuronales Netzwerk, das auf an Bord des Fahrzeugs befindlicher Hardware läuft; Zuweisen des mindestens einen Bildes zu einem zweiten neuronalen Netzwerk, das auf an Bord des Fahrzeugs befindlicher Hardware läuft, durch ein an Bord des Fahrzeugs befindliches Computersystem, wobei das zweite neuronale Netzwerk speziell dafür geschult ist, die eine Situation anzugehen; Durchführen einer Regression des mindestens einen Bildes durch das zweite neuronale Netzwerk; und Umsetzen eines auf der Regression beruhenden Befehls durch das Computersystem, wobei der Befehl das Fahren des Fahrzeug beeinflusst.

[0085] Gemäß einer Ausführungsform handelt es sich bei dem Befehl um einen Lenkbefehl für das Fahrzeug.

[0086] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl von Situationen eine Situation mit Geradeausfahren, eine Situation mit Linksabbiegen und eine Situation mit Rechtsabbiegen.

[0087] Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Computersystem eine Vielzahl neuronaler Netzwerke und handelt es sich bei dem ersten und zweiten neuronalen Netzwerk jeweils um ein neuronales Netzwerk der Vielzahl neuronaler Netzwerke.

[0088] Gemäß einer Ausführungsform ist das zweite neuronale Netzwerk speziell dafür geschult, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Geradeausfahren zugehörig eingeordnet wurden.

[0089] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl neuronaler Netzwerke ferner Folgendes: ein drittes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Linksabbiegen zugehörig eingeordnet wurden; und ein viertes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Rechtsabbiegen zugehörig eingeordnet wurden.

[0090] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein System bereitgestellt, das Folgendes aufweist: mindestens einen Prozessor, der sich an Bord eines autonomen Fahrzeugs befindet; und einen ersten Speicher, der mit dem mindestens einen Prozessor verbunden ist, wobei der erste Speicher Software speichert, die dazu programmiert ist, ein erstes neuronales Netzwerk bereitzustellen, das dafür geschult ist, Bilder logistisch als einer Situation aus einer Vielzahl von Situationen zugehörig einzuordnen, eine Vielzahl anderer neuronaler Netzwerke bereitzustellen, wobei jedes der anderen neuronalen Netzwerke speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die einer anderen Situation der Vielzahl von Situationen zugehörig sind, Bilddaten zu empfangen, die Bilddaten in das erste neuronale Netzwerk einzuspeisen, die Bilddaten auf Grundlage der logistischen Einordnung, die durch das erste neuronale Netzwerk an den Bilddaten durchgeführt wurde, in ein spezifisches neuronales Netzwerk der Vielzahl anderer neuronaler Netzwerke einzuspeisen und den Betrieb des autonomen Fahrzeugs gemäß der durch das spezifische neuronale Netzwerk an den Bilddaten durchgeführten Regression zu steuern.

[0091] Gemäß einer Ausführungsform speichert der erste Speicher Software, die dazu programmiert ist, das autonome Fahrzeug gemäß der durch das spezifische neuronale Netzwerk an den Bilddaten durchgeführten Regression zu lenken.

[0092] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl von Situationen eine Situation mit Geradeausfahren, eine Situation mit Linksabbiegen und eine Situation mit Rechtsabbiegen.

[0093] Gemäß einer Ausführungsform umfasst die Vielzahl anderer neuronaler Netzwerke ferner Folgendes: ein zweites neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Geradeausfahren zugehörig eingeordnet wurden; ein drittes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Linksabbiegen zugehörig eingeordnet wurden; und ein viertes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Rechtsabbiegen zugehörig eingeordnet wurden.

Patentansprüche

1. Verfahren, umfassend:
Empfangen von Bilddaten durch ein Computersystem;
logistisches Einordnen der Bilddaten als einer Situation aus einer Vielzahl von Situationen zugehörig durch das Computersystem;

Zuweisen der Bilddaten zu einem neuronalen Netzwerk des Computersystems, das speziell dafür geschult ist, die eine Situation anzugehen;
Durchführen einer Regression der Bilddaten durch das neuronale Netzwerk; und
Umsetzen eines auf der Regression beruhenden Befehls durch das Computersystem.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei sich das Computersystem an Bord eines Fahrzeugs befindet.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei es sich bei dem Befehl um einen Lenkbefehl für das Fahrzeug handelt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Vielzahl von Situationen eine Situation mit Geradeausfahren, eine Situation mit Linksabbiegen und eine Situation mit Rechtsabbiegen umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Computersystem eine Vielzahl neuronaler Netzwerke umfasst.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Vielzahl neuronaler Netzwerke ein erstes neuronales Netzwerk umfasst, das dafür geschult ist, Bilder logistisch in Bezug auf die Vielzahl von Situationen einzuordnen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei das erste neuronale Netzwerk das logistische Einordnen der Bilddaten durchführt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Vielzahl neuronaler Netzwerke ferner Folgendes umfasst:
ein zweites neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Geradeausfahren zugehörig eingeordnet wurden;
ein drittes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Linksabbiegen zugehörig eingeordnet wurden; und
ein viertes neuronales Netzwerk, das speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Rechtsabbiegen zugehörig eingeordnet wurden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei die eine Situation aus der Gruppe bestehend aus der Situation mit Geradeausfahren, der Situation mit Linksabbiegen und der Situation mit Rechtsabbiegen ausgewählt ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei eines des zweiten, dritten oder vierten neuronalen Netzwerks die Regression der Bilddaten durchführt.

11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:

das neuronale Netzwerk ein erstes neuronales Netzwerk ist, das auf Hardware läuft, die sich an Bord eines Fahrzeugs befindet und speziell dafür geschult ist, die eine Situation anzugehen;
 das Empfangen der Bilddaten ein Aufzeichnen mindestens eines Bildes eines Bereichs vor dem Fahrzeug durch eine an Bord des Fahrzeugs befindliche Kamera umfasst;
 das Einordnen ein logistisches Einordnen des mindestens einen Bildes als der einen Situation aus der Vielzahl von Situationen zugehörig durch ein zweites neuronales Netzwerk, das auf an Bord des Fahrzeugs befindlicher Hardware läuft, umfasst;
 das Zuweisen ein Zuweisen des mindestens einen Bildes zum ersten neuronalen Netzwerk durch das Computersystem umfasst;
 das Durchführen ein Durchführen einer Regression des mindestens einen Bildes durch das erste neuronale Netzwerk umfasst; und
 der Befehl das Fahren des Fahrzeugs beeinflusst.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei es sich bei dem Befehl um einen Lenkbefehl für das Fahrzeug handelt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Vielzahl von Situationen eine Situation mit Geradeausfahren, eine Situation mit Linksabbiegen und eine Situation mit Rechtsabbiegen umfasst.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Computersystem eine Vielzahl neuronaler Netzwerke umfasst und es sich bei dem ersten und zweiten neuronalen Netzwerk jeweils um ein Netzwerk der Vielzahl neuronaler Netzwerke handelt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das erste neuronale Netzwerk speziell dafür geschult ist, eine Regression von Bildern durchzuführen, die logistisch als der Situation mit Geradeausfahren zugehörig eingeordnet wurden.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

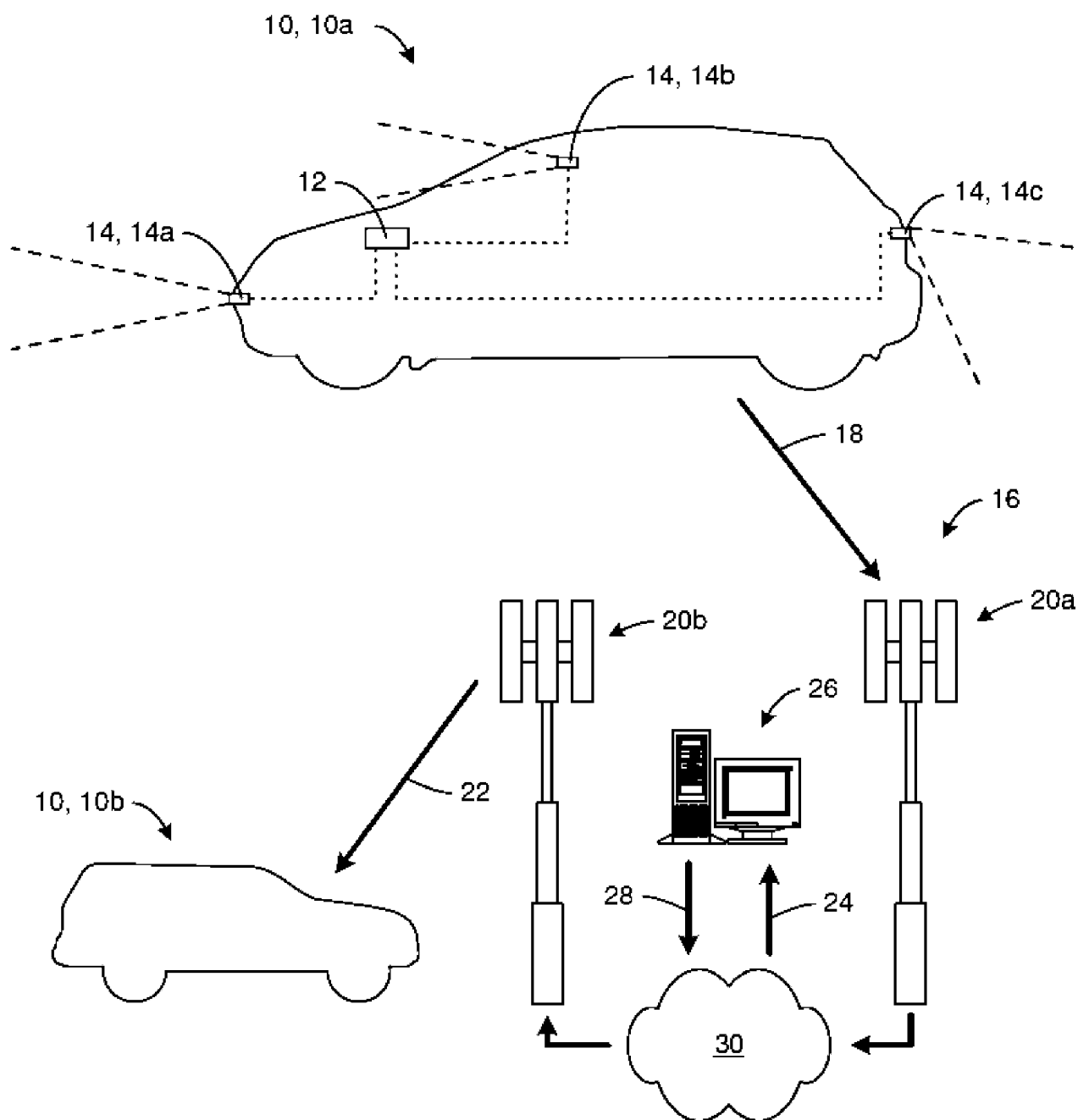


FIG. 1

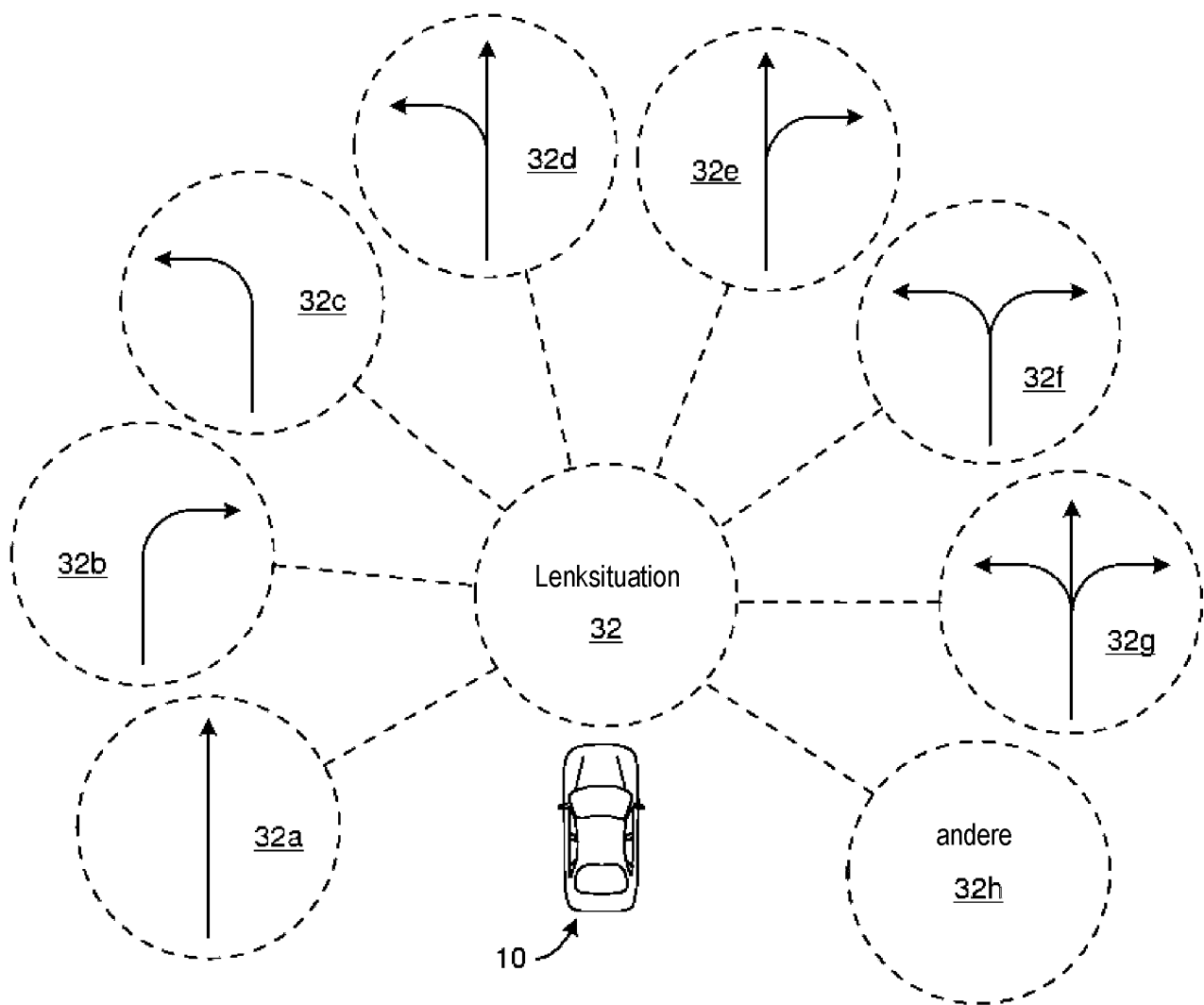


FIG. 2

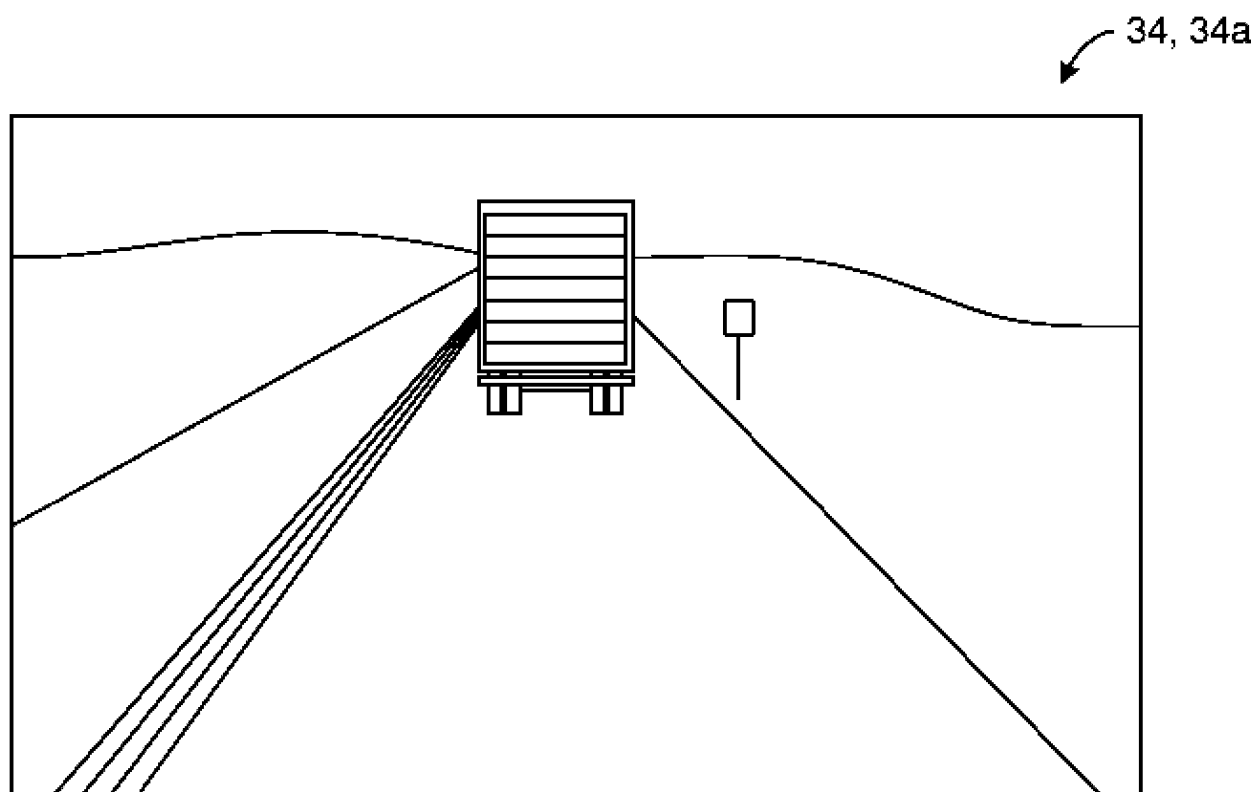


FIG. 3

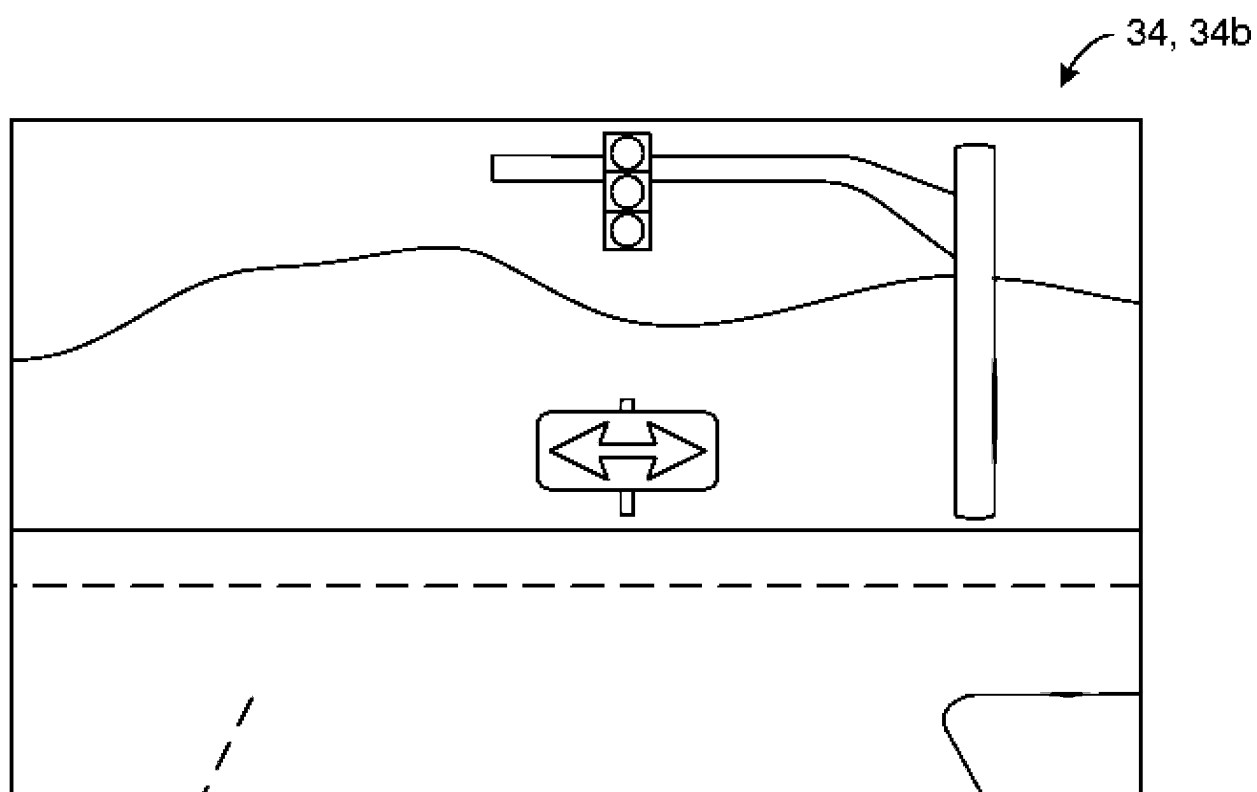


FIG. 4

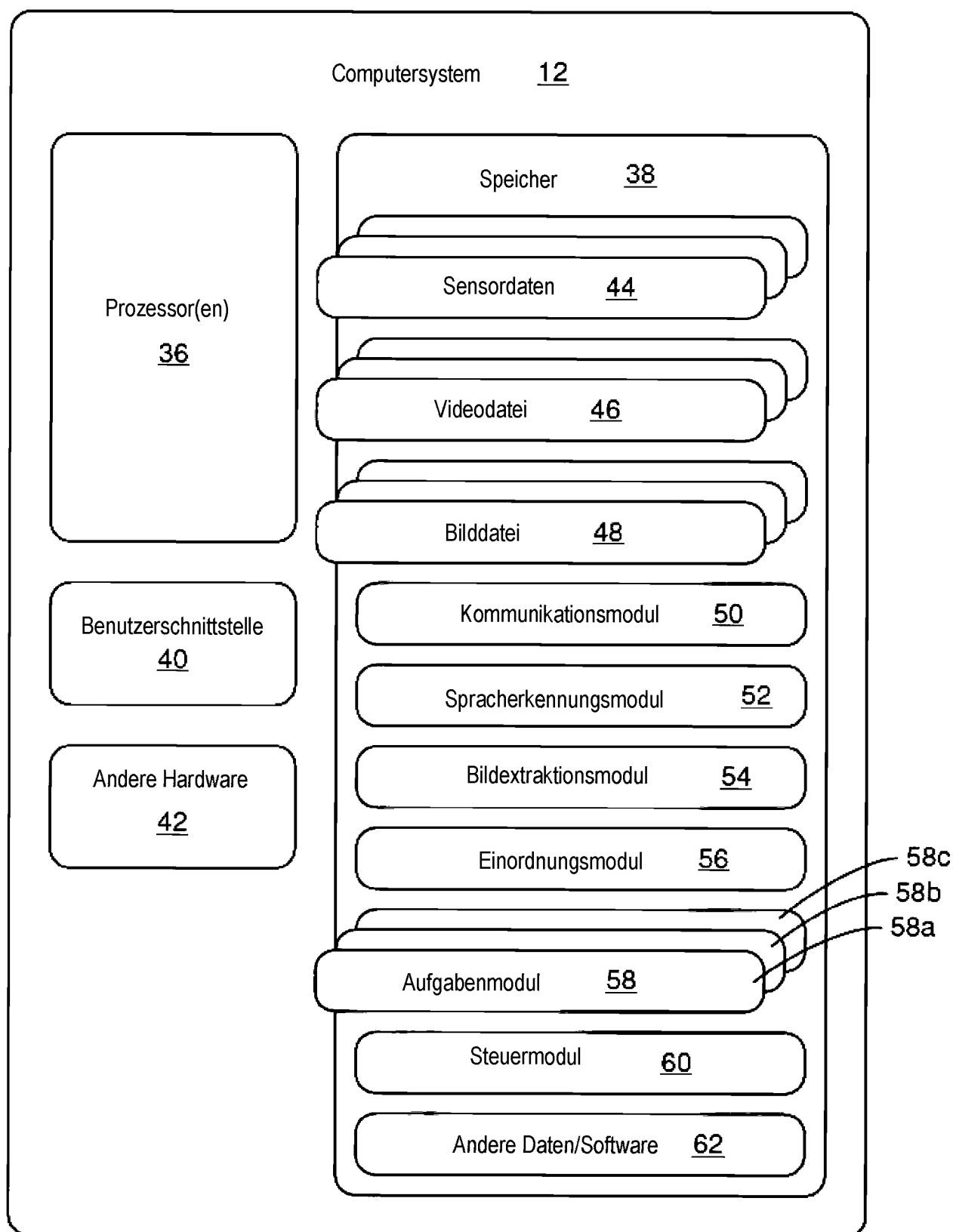


FIG. 5

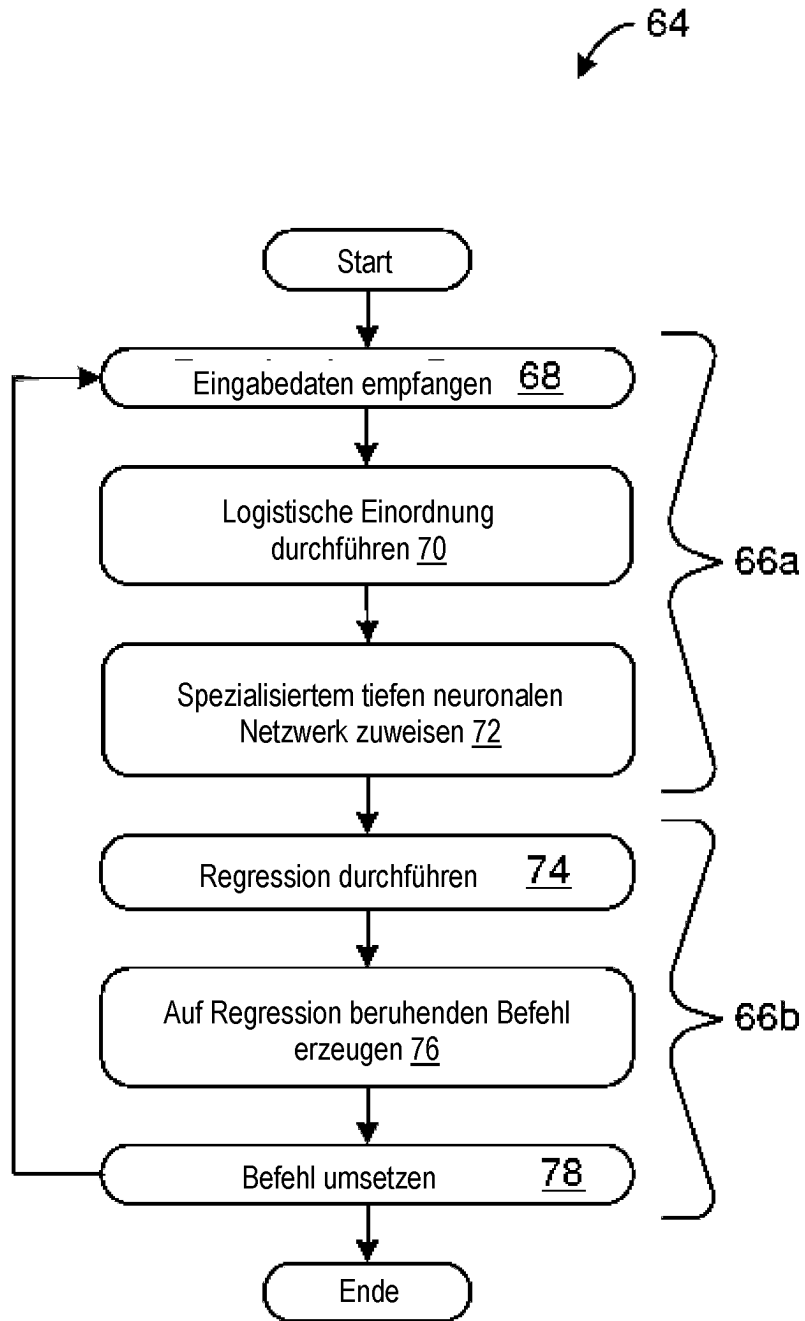


FIG. 6

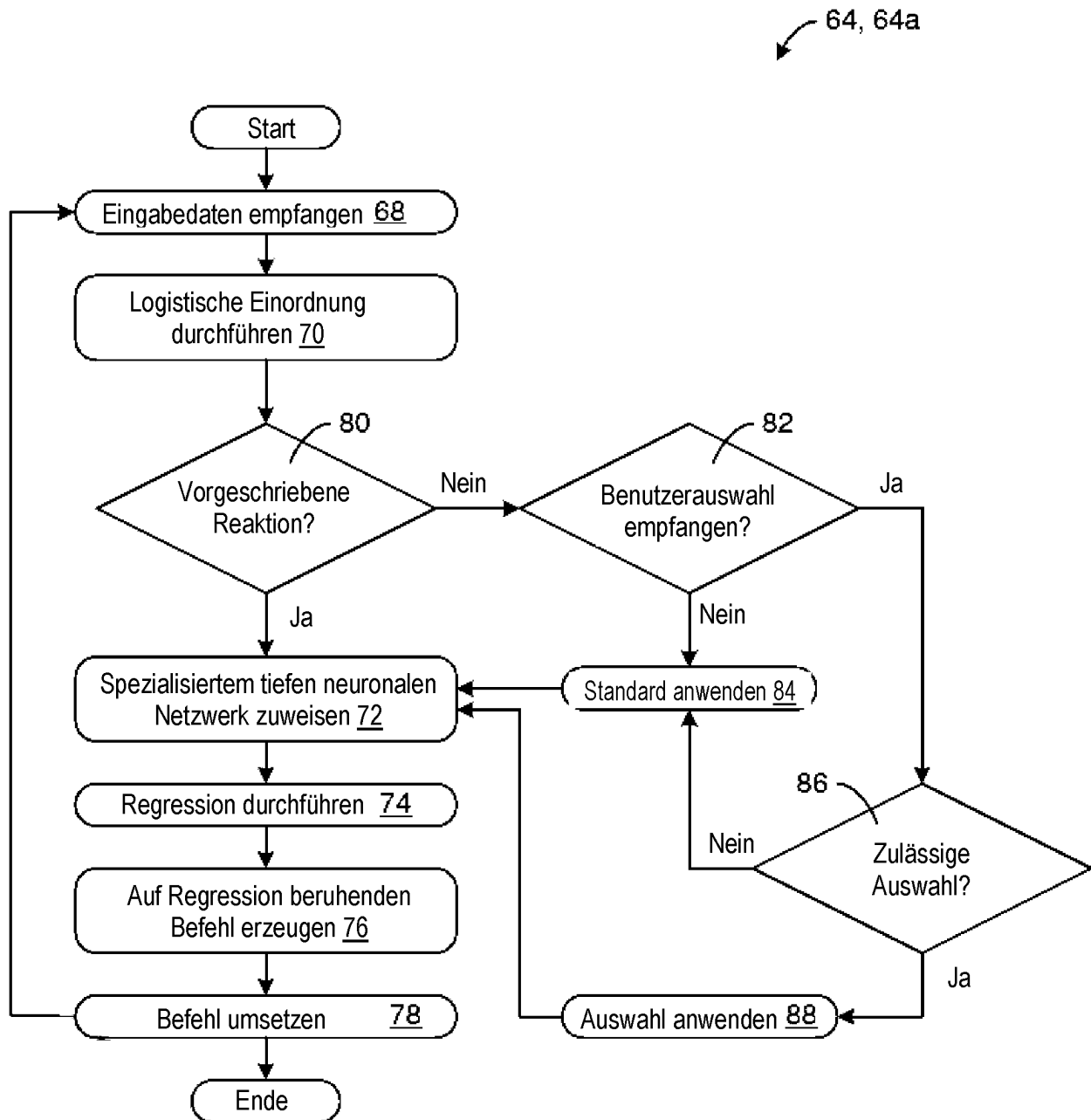


FIG. 7

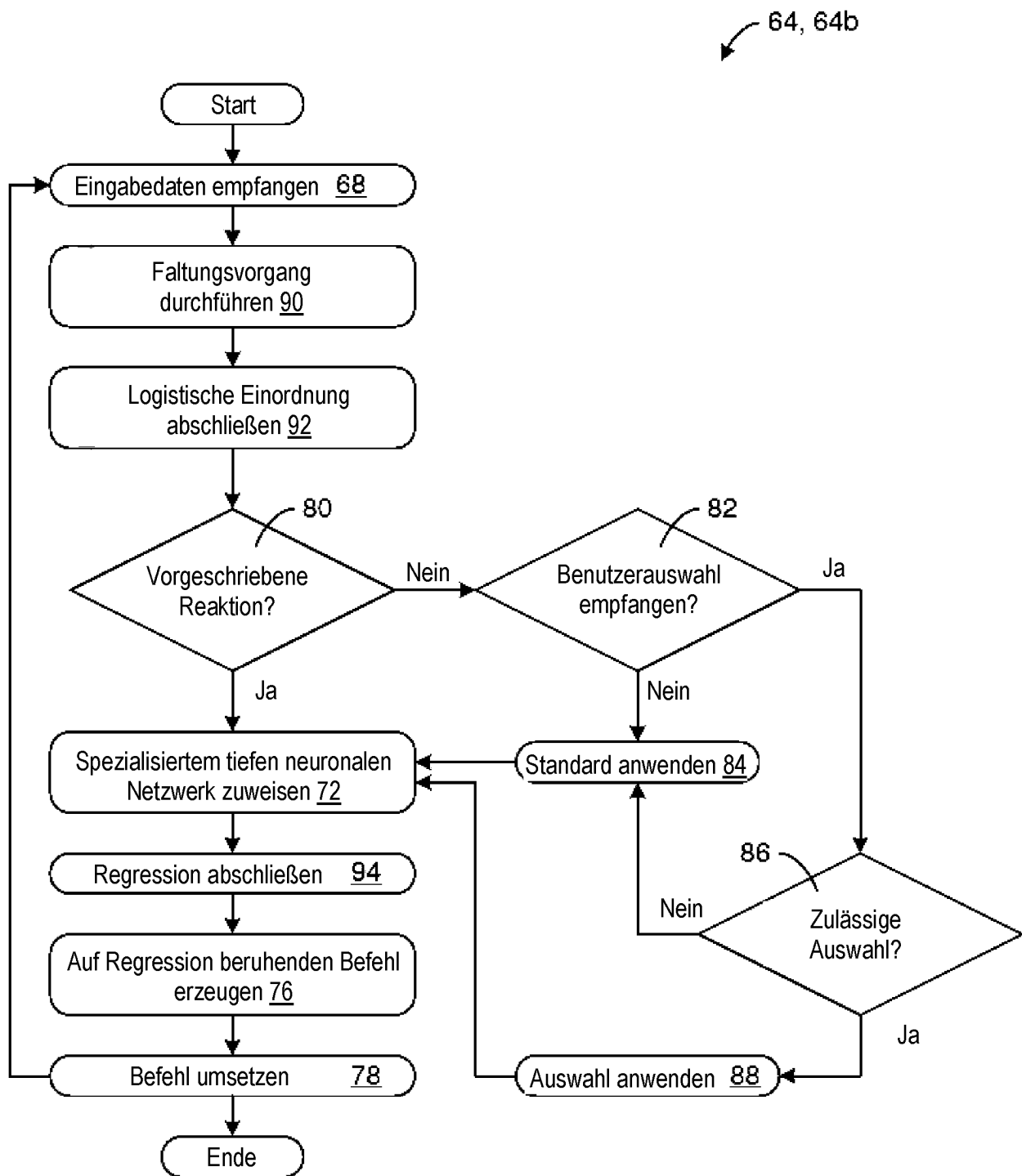


FIG. 8