



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 203 998.2**

(22) Anmeldetag: **28.04.2023**

(43) Offenlegungstag: **31.10.2024**

(51) Int Cl.: **G06N 20/00 (2019.01)**

(71) Anmelder:
**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
**Beggel, Laura, 70188 Stuttgart, DE; Ngo, Thi
Phuong Nhung, 76137 Karlsruhe, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

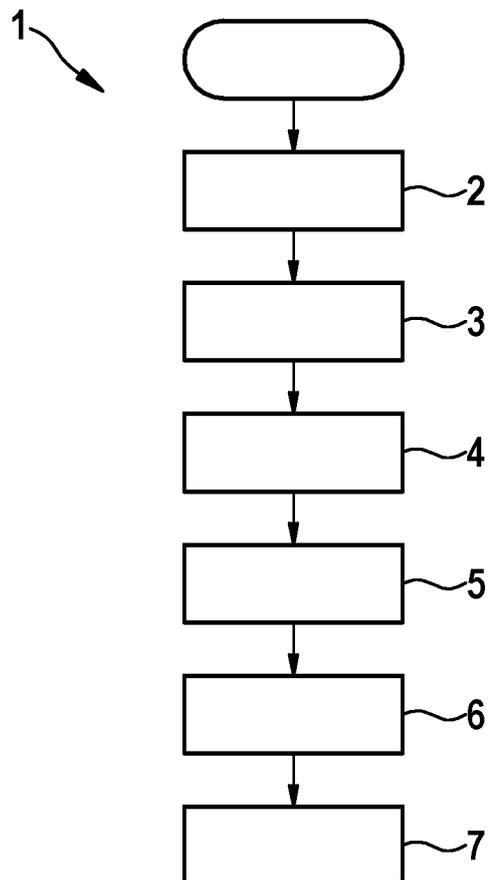
US 2021 / 0 256 319 A1
US 2021 / 0 295 204 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das Verfahren (1) folgende Schritte aufweist: Bereitstellen von mehreren Testdatensätzen zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist (2); Für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweils Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz (3); Für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweils Erzeugen eines Testergebnisses durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes (4); Verifizieren des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen (5); und Bereitstellen der Verifizierungsergebnisse (6).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, mit welchem auf einfache Art und Weise und mit vergleichsweise wenig Ressourcen ein Generalisierungsgrad eines durch ein tiefes Lernverfahren beziehungsweise ein Deep-Learning Verfahren trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens ermittelt werden kann.

[0002] Algorithmen des maschinellen Lernens basieren darauf, dass Verfahren der Statistik verwendet werden, um eine Datenverarbeitungsanlage derart zu trainieren, dass diese eine bestimmte Aufgabe ausführen kann, ohne dass diese ursprünglich explizit hierzu programmiert wurde. Das Ziel des maschinellen Lernens besteht dabei darin, Algorithmen zu konstruieren, die aus Daten lernen und Vorhersagen treffen können. Diese Algorithmen erstellen mathematische Modelle, mit denen beispielsweise Daten klassifiziert werden können.

[0003] Unter einem durch ein tiefes Lernverfahren beziehungsweise ein Deep-Learning-Verfahren trainierter Algorithmus des maschinellen Lernens wird weiter ein basierend auf einem gelabelten Trainingsdatensatz beziehungsweise einem mit Ground Truth Informationen versehenen Trainingsdatensatz trainierter Algorithmus des maschinellen Lernens verstanden.

[0004] Alternativ kann das Modell beispielsweise unbeaufsichtigt trainiert werden (d. h. ohne Labels).

[0005] Als nachteilig erweist sich bei derartigen tiefen Lernverfahren jedoch, dass es zu einem Overfitting kommen kann, das auftritt, wenn der entsprechende Algorithmus des maschinellen Lernens genaue Vorhersagen für Trainingsdaten liefert, nicht jedoch für neue Daten. Folglich besteht Bedarf an Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung beziehungsweise Skalierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, um sicherzustellen, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor ein entsprechendes Trainingsverfahren abbricht.

[0006] Jedoch basieren gewöhnliche Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens auf komplexen Algorithmen, wobei große Datenmengen erforderlich sind und die Verarbeitung der großen Datenmengen mit einem hohen Ressourcenverbrauch, beispielsweise einem hohen Verbrauch an Speicher- und/oder Prozessorkapazitäten, verbunden ist.

[0007] Aus der Druckschrift DE 10 2017 212 328 A1 ist ein Verfahren zum Trainieren eines Künstliche-Intelligenz-Moduls, welches Eingangsgrößen durch

eine parametrisierte interne Verarbeitungskette in Ausgangsgrößen übersetzt, bekannt, wobei die Parameter der Verarbeitungskette dergestalt ermittelt werden, dass Lern-Werte der Eingangsgrößen auf die hierzu passenden Lern-Werte der Ausgangsgrößen übersetzt werden, wobei die Lern-Werte der Eingangsgrößen mit einem vorgegebenen Test-Muster überlagert werden und eine Reaktion ermittelt wird, die das Test-Muster in den von der internen Verarbeitungskette gelieferten Werten der Ausgangsgrößen hervorruft.

[0008] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens anzugeben.

[0009] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1.

[0010] Die Aufgabe wird zudem auch gelöst durch ein System zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 7.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das Verfahren ein Bereitstellen von mehreren Testdatensätzen zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils ein Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils ein Erzeugen eines Testergebnisses durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes, ein Verifizieren des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen, und ein Bereitstellen der Verifizierungsergebnisse aufweist.

[0012] Trainingsdaten sind dabei Instanzen beziehungsweise Daten, die dazu dienen, den Lernalgorithmus zu trainieren, das heißt, ein Modell beziehungsweise einen Algorithmus des maschinellen Lernens zu erlernen. Die Testdaten hingegen werden nicht zum Erlernen des Modells herangezogen, sondern dienen dazu, die Qualität des Modells zu messen.

[0013] Dass keiner der Testdatensätze in gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, bedeutet dabei, dass es sich jeweils um disjunkte Mengen handelt, beziehungsweise um Held-out Testdatensätze.

[0014] Unter einem Wert der Ähnlichkeit wird weiter ein Maß beziehungsweise ein Wert, welches beziehungsweise welcher die Ähnlichkeit zwischen einem Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz beschreibt beziehungsweise repräsentiert, verstanden.

[0015] Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann anschließend auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden.

[0016] Insbesondere kann das Verfahren dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden.

[0017] Insgesamt wird somit ein verbessertes Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben.

[0018] Der Schritt des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz kann dabei jeweils ein Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes aufweisen.

[0019] Dass eine durchschnittliche Ähnlichkeit ermittelt wird, bedeutet dabei, dass für je eine Kombination aus einem Element des entsprechenden Testdatensatzes und des Trainingsdatensatzes jeweils ein Ähnlichkeitswert ermittelt und anschließend ein Durchschnitt aus den ermittelten Ähnlichkeitswerten ermittelt wird.

[0020] Somit kann der Wert der Ähnlichkeit jeweils basierend auf einfachen Algorithmen ermittelt werden, ohne dass hierzu aufwendige und ressourcenintensive Algorithmen vonnöten wären.

[0021] Insbesondere kann Schritt des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz kann dabei jeweils ein labelweises Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprech-

enden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes aufweisen

[0022] Als Label werden dabei die Kategorien von Daten bezeichnet, in die die Datensätze eingeordnet werden sollen. Das labelweise eine durchschnittliche Ähnlichkeit ermittelt wird bedeutet dabei, dass für jedes Label jeweils eine eigene durchschnittliche Ähnlichkeit ermittelt wird.

[0023] Hierdurch können die Verifizierungsergebnisse beziehungsweise die Informationen über die Generalisierung noch weiter spezifiziert beziehungsweise verfeinert werden.

[0024] Zudem können der Trainingsdatensatz und/oder die mehreren Testdatensätze Sensordaten aufweisen.

[0025] Ein Sensor, welcher auch als Detektor, (Messgrößen- oder Mess-)Aufnehmer oder (Mess-)Fühler bezeichnet wird, ist ferner ein technisches Bauteil, das bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften und/oder die stoffliche Beschaffenheit seiner Umgebung qualitativ oder als Messgröße quantitativ erfassen kann.

[0026] Somit können auch Informationen außerhalb der Datenverarbeitungsanlage, auf welcher das Verfahren ausgeführt wird, einfließen und zur Ermittlung der Verifizierungsergebnisse herangezogen werden.

[0027] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird auch ein Verfahren zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben, wobei das Verfahren ein Bereitstellen von Trainingsdaten zum Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens, ein Bereitstellen von Verifizierungsergebnissen, wobei die Verifizierungsergebnisse durch ein obenstehend beschriebenes Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens erzeugt wurden, ein Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Trainingsdaten und den Verifizierungsergebnissen, und ein Bereitstellen des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens aufweist.

[0028] Somit wird ein Verfahren zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben, welches auf einem verbesserten Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens basiert. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann die Erzeugung von Verifizierungsergebnissen dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise

wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden. Basierend auf den Verifizierungsergebnissen kann zudem beispielsweise sichergestellt werden, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor das Trainingsverfahren abbricht.

[0029] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird weiter auch ein Verfahren zum Klassifizieren von Bilddaten angegeben, wobei Bilddaten unter Verwendung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, welcher trainiert ist, Bilddaten zu klassifizieren, klassifiziert werden, und wobei der Algorithmus des maschinellen Lernens unter Verwendung eines obenstehend beschriebenen Verfahrens zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens trainiert wurde.

[0030] Insbesondere kann das Verfahren dabei verwendet werden, Bilddaten, insbesondere digitale Bilddaten auf der Grundlage von Low-level-Merkmalen, beispielsweise Kanten oder Pixelattributen, zu klassifizieren. Dabei kann weiter ein Bildverarbeitungsalgorithmus verwendet werden, um ein Klassifizierungsergebnis, welches sich auf entsprechende Low-level Merkmale konzentriert, zu analysieren.

[0031] Somit wird ein Verfahren zum Klassifizieren von Bilddaten angegeben, welches auf einem, basierend auf einem verbesserten Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens basiert. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann die Erzeugung von Verifizierungsergebnissen dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden. Basierend auf den Verifizierungsergebnissen kann zudem beispielsweise sichergestellt werden, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor das Trainingsverfahren abbricht.

[0032] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird weiter auch ein System zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben, wobei das System eine erste Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, mehrere Testdatensätze zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, eine Ermittlungs-

einheit, welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils einen Wert der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz zu ermitteln, eine Erzeugungseinheit, welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils ein Testergebnis durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes zu erzeugen, eine Verifizierungseinheit, welche ausgebildet ist, den Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze zu verifizieren, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen, und eine zweite Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, die Verifizierungsergebnisse bereitzustellen, aufweist.

[0033] Somit wird ein verbessertes System zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann das Verifizieren dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden.

[0034] Dabei kann die Ermittlungseinheit ausgebildet sein, jeweils eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln. Somit kann der Wert der Ähnlichkeit jeweils basierend auf einfachen Algorithmen ermittelt werden, ohne dass hierzu aufwendige und ressourcenintensive Algorithmen vonnöten wären.

[0035] Insbesondere kann die Ermittlungseinheit ausgebildet sein, jeweils labelweise eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln. Hierdurch können die Verifizierungsergebnisse beziehungsweise die Informationen über die Generalisierung noch weiter spezifiziert beziehungsweise verfeinert werden.

[0036] Zudem können der Trainingsdatensatz und/oder die mehreren Testdatensätze wiederum Sensordaten aufweisen. Somit können auch Informationen außerhalb der Datenverarbeitungsanlage, auf welcher die Verifizierung ausgeführt wird, einfließen und zur Ermittlung der Verifizierungsergebnisse herangezogen werden.

[0037] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird zudem auch ein System zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben, wobei das System eine erste Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, Trainingsdaten zum Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, eine zweite Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, Verifizierungsergebnisse bereitzustellen, wobei die Verifizierungsergebnisse durch ein obenstehend beschriebenes System zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens erzeugt wurden, eine Trainingseinheit, welche ausgebildet ist, den Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Trainingsdaten und den Verifizierungsergebnissen zu trainieren, und eine dritte Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, den trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, aufweist.

[0038] Somit wird ein System zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben, welches auf einem verbesserten System zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens basiert. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann die Erzeugung von Verifizierungsergebnissen dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden. Basierend auf den Verifizierungsergebnissen kann zudem beispielsweise sichergestellt werden, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor das Trainingsverfahren abbricht.

[0039] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird außerdem auch ein System zum Klassifizieren von Bilddaten angegeben, wobei Bilddaten unter Verwendung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, welcher trainiert ist, Bilddaten zu klassifizieren, klassifiziert werden, und wobei der Algorithmus des maschinellen Lernens unter Verwendung eines obenstehend beschriebenen Systems zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens trainiert wurde.

[0040] Insbesondere kann das System dabei verwendet werden, Bilddaten, insbesondere digitale Bilddaten auf der Grundlage von Low-level-Merkmalen, beispielsweise Kanten oder Pixelattributen, zu klassifizieren. Dabei kann weiter ein Bildverarbeitungsalgorithmus verwendet werden, um ein Klassifizierungsergebnis, welches sich auf entsprechende Low-level Merkmale konzentriert, zu analysieren.

[0041] Somit wird ein System zum Klassifizieren von Bilddaten angegeben, welches auf einem, basierend auf einem verbesserten System zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens basiert. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann die Erzeugung von Verifizierungsergebnissen dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden. Basierend auf den Verifizierungsergebnissen kann zudem beispielsweise sichergestellt werden, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor das Trainingsverfahren abbricht.

[0042] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird außerdem auch ein Computerprogramm mit Programmcode, um ein obenstehend beschriebenes Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird, angegeben.

[0043] Mit einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird außerdem auch ein computerlesbarer Datenträger mit Programmcode eines Computerprogramms, um ein obenstehend beschriebenes Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird, angegeben.

[0044] Das Computerprogramm und der computerlesbare Datenträger haben dabei jeweils den Vorteil, dass diese jeweils ausgebildet sind, ein verbessertes Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens auszuführen. Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann das Verifizieren dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden.

[0045] Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens angegeben wird, mit welchem auf einfache Art und Weise und mit vergleichsweise wenig Ressourcen

ein Generalisierungsgrad eines durch ein tiefes Lernverfahren beziehungsweise ein Deep-Learning Verfahren trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens ermittelt werden kann.

[0046] Die beschriebenen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich beliebig miteinander kombinieren.

[0047] Weitere mögliche Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich der Ausführungsbeispiele beschriebenen Merkmalen der Erfindung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0048] Die beiliegenden Zeichnungen sollen ein weiteres Verständnis der Ausführungsformen der Erfindung vermitteln. Sie veranschaulichen Ausführungsformen und dienen im Zusammenhang mit der Beschreibung der Erklärung von Prinzipien und Konzepten der Erfindung.

[0049] Andere Ausführungsformen und viele der genannten Vorteile ergeben sich im Hinblick auf die Zeichnungen. Die dargestellten Elemente der Zeichnungen sind nicht notwendigerweise maßstabsgetreu zueinander gezeigt.

[0050] Es zeigen:

Fig. 1 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens gemäß Ausführungsformen der Erfindung; und

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild eines Systems zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

[0051] In den Figuren der Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Elemente, Bauteile oder Komponenten, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

[0052] **Fig. 1** zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens 1 gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

[0053] Als nachteilig erweist sich bei tiefen Lernverfahren von Algorithmen des maschinellen Lernens, dass es zu einem Overfitting kommen kann, das auftritt, wenn der entsprechende Algorithmus des maschinellen Lernens genaue Vorhersagen für Trainingsdaten liefert, nicht jedoch für neue Daten. Folglich besteht Bedarf an Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung beziehungsweise Skalierung

eines Algorithmus des maschinellen Lernens, um sicherzustellen, dass eine Generalisierung eines trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens möglichst optimal ist, bevor ein entsprechendes Trainingsverfahren abbricht.

[0054] Jedoch basieren gewöhnliche Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens auf komplexen Algorithmen, wobei große Datenmengen erforderlich sind und die Verarbeitung der großen Datenmengen mit einem hohen Ressourcenverbrauch, beispielsweise einem hohen Verbrauch an Speicher- und/oder Prozessorkapazitäten verbunden ist.

[0055] **Fig. 1** zeigt dabei ein Verfahren 1, welches einen Schritt 2 eines Bereitstellens von mehreren Testdatensätzen zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, einen Schritt 3 eines, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz, einen Schritt 4 eines, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Erzeugens eines Testergebnisses durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes, einen Schritt 6 eines Verifizierens des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen, und einen Schritt 7 eines Bereitstellens der Verifizierungsergebnisse aufweist.

[0056] Basierend auf den Werten der Ähnlichkeit und den entsprechenden Testergebnissen kann dabei anschließend auf einfache Art und Weise und mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch auf den Grad einer Generalisierung des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens geschlossen werden. Insbesondere kann das Verfahren 1 dabei auch auf Steuereinheiten, welche vergleichsweise wenig Ressourcen aufweisen, beispielsweise Steuergeräten eines Kraftfahrzeuges, ausgeführt werden.

[0057] Insgesamt wird somit ein verbessertes Verfahren zum Überprüfen einer Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens 1 angegeben.

[0058] **Fig. 1** zeigt somit ein Verfahren 1 zum Testen der Generalisierung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, insbesondere eines durch ein tiefes Lernverfahren trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens.

[0059] Bei dem Algorithmus des maschinellen Lernens kann es sich beispielsweise um ein tiefes neuronales Netz handeln.

[0060] Die in dem Trainingsdatensatz enthaltenen Trainingsdaten und die in den Testdatensätzen enthaltenen Testdaten können ferner jeweils beispielsweise Bilddaten aufweisen, insbesondere Bilddaten, welche ein durch einen Fertigungsprozess hergestelltes Produkt, beispielsweise einen Halbleiterwafer repräsentieren.

[0061] Der Schritt 6 des Verifizierens beziehungsweise das Auswerten der Werte der Ähnlichkeit und der Testergebnisse kann weiter ein Anwenden einer Pearson Korrelation aufweisen.

[0062] Die Pearson Korrelation ist eine einfache Möglichkeit, den linearen Zusammenhang zweier Variablen zu bestimmen. Dabei dient der Korrelationskoeffizient nach Pearson als Maßzahl für die Stärke der Korrelation der intervallskalierten Merkmale und nimmt für gewöhnlich Werte zwischen -1 und 1 an. Insbesondere ist der Korrelationskoeffizient nach Pearson dabei ein quantitatives Maß zur Beurteilung der Stärke der Beziehung zwischen zwei stetigen Merkmalen. So sollten die Testergebnisse für gewöhnlich umso schlechter sein, je weiter die entsprechenden Testdaten von dem Trainingsdatensatz entfernt sind.

[0063] Die Werte der Ähnlichkeit können dabei jeweils basierend auf Vektordistanzen ermittelt werden.

[0064] Gemäß den Ausführungsformen der **Fig. 1** weist der Schritt 3 des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz jeweils ein Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes auf.

[0065] Gemäß den Ausführungsformen der **Fig. 1** weist der Schritt des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz jeweils ein labelweises Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes auf.

[0066] Der Trainingsdatensatz die mehreren Testdatensätze weisen ferner jeweils Sensordaten auf, beispielsweise durch wenigstens einen optischen Sensor während oder nach Beendigung eines Fertigungsprozesses erfasste Daten, welche ein durch

den Fertigungsprozess hergestelltes Produkt repräsentieren.

[0067] Die entsprechenden Verifizierungsergebnisse können anschließend beispielsweise dazu verwendet werden, das Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens zu optimieren. Ein entsprechend optimierter Algorithmus des maschinellen Lernens kann anschließend beispielsweise zur Bildklassifizierung verwendet werden, beispielsweise im Rahmen einer automatischen optischen Inspektion während und/oder nach der Herstellung von Produkten durch einen Fertigungsprozess, wobei als fehlerhaft erkannte Produkte anschließend beispielsweise automatisch verworfen werden können.

[0068] **Fig. 2** zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Systems zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens 10 gemäß Ausführungsformen der Erfindung.

[0069] Wie **Fig. 2** zeigt, weist das System 10 dabei eine erste Bereitstellungseinheit 11, welche ausgebildet ist, mehrere Testdatensätze zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, eine Ermittlungseinheit 12, welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils einen Wert der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz zu ermitteln, eine Erzeugungseinheit 13, welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils ein Testergebnis durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes zu erzeugen, eine Verifizierungseinheit 14, welche ausgebildet ist, den Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze zu verifizieren, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen, und eine zweite Bereitstellungseinheit 15, welche ausgebildet ist, die Verifizierungsergebnisse bereitzustellen, auf.

[0070] Bei der ersten Bereitstellungseinheit kann es sich dabei insbesondere um einen Empfänger handeln, welcher ausgebildet ist, entsprechende Daten, beispielsweise Sensordaten zu empfangen. Bei der zweiten Bereitstellungseinheit kann es sich insbesondere um einen Sender handeln, welcher ausgebildet ist, entsprechende Daten zu senden beziehungsweise zu übertragen. Die erste Bereitstellungseinheit und die zweite Bereitstellungseinheit können dabei auch in einen gemeinsamen Transceiver integriert sein.

[0071] Die Ermittlungseinheit, die Erzeugungseinheit und die Verifizierungseinheit können ferner jeweils beispielsweise basierend auf einem in einem Speicher hinterlegten und durch einen Prozessor ausführbaren Code realisiert werden.

[0072] Gemäß den Ausführungsformen der **Fig. 2** ist die Ermittlungseinheit 12 ausgebildet, jeweils eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln.

[0073] Insbesondere ist die Ermittlungseinheit 12 ausgebildet, jeweils labelweise eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln.

[0074] Der Trainingsdatensatz die mehreren Testdatensätze weisen ferner jeweils Sensordaten auf, beispielsweise durch wenigstens einen optischen Sensor während oder nach Beendigung eines Fertigungsprozesses erfasste Daten, welche ein durch den Fertigungsprozess hergestelltes Produkt repräsentieren.

[0075] Das dargestellte System 10 ist zudem ausgebildet, ein obenstehend beschriebenes Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens auszuführen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102017212328 A1 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das Verfahren (1) folgende Schritte aufweist:

- Bereitstellen von mehreren Testdatensätzen zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist (2);
- Für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweils Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz (3);
- Für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweils Erzeugen eines Testergebnisses durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes (4);
- Verifizieren des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen (5); und
- Bereitstellen der Verifizierungsergebnisse (6).

2. Verfahren (1) nach Anspruch 1, wobei der Schritt des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz (3) jeweils ein Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes aufweist.

3. Verfahren (1) nach Anspruch 2, wobei der Schritt des, für jeden der mehreren Testdatensätze, jeweiligen Ermitteln eines Wertes der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz (3) jeweils ein labelweises Ermitteln einer durchschnittlichen Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes aufweist.

4. Verfahren (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Trainingsdatensatz und/oder die mehreren Testdatensätze Sensordaten aufweisen.

5. Verfahren zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Bereitstellen von Trainingsdaten zum Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens;
- Bereitstellen von Verifizierungsergebnissen, wobei die Verifizierungsergebnisse durch ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschine-

llen Lernens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 erzeugt wurden;

- Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Trainingsdaten und den Verifizierungsergebnissen; und
- Bereitstellen des trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens.

6. Verfahren zum Klassifizieren von Bilddaten, wobei Bilddaten unter Verwendung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, welcher trainiert ist, Bilddaten zu klassifizieren, klassifiziert werden, und wobei der Algorithmus des maschinellen Lernens unter Verwendung eines Verfahrens zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens nach Anspruch 5 trainiert wurde.

7. System zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das System (10) eine erste Bereitstellungseinheit (11), welche ausgebildet ist, mehrere Testdatensätze zum Testen eines basierend auf einem Trainingsdatensatz trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, wobei keiner der Testdatensätze ein gemeinsames Element mit dem Trainingsdatensatz aufweist, eine Ermittlungseinheit (12), welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils einen Wert der Ähnlichkeit zwischen dem entsprechenden Testdatensatz und dem Trainingsdatensatz zu ermitteln, eine Erzeugungseinheit (13), welche ausgebildet ist, für jeden der mehreren Testdatensätze jeweils ein Testergebnis durch Testen des Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Elementen des entsprechenden Testdatensatzes zu erzeugen, eine Verifizierungseinheit (14), welche ausgebildet ist, den Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Werten der Ähnlichkeit von allen der mehreren Testdatensätzen und den Testergebnissen von allen der mehreren Testdatensätze zu verifizieren, um Verifizierungsergebnisse zu erzeugen, und eine zweite Bereitstellungseinheit (15), welche ausgebildet ist, die Verifizierungsergebnisse bereitzustellen, aufweist.

8. System (10) nach Anspruch 7, wobei die Ermittlungseinheit (12) ausgebildet ist, jeweils eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln.

9. System (10) nach Anspruch 8, wobei die Ermittlungseinheit (12) ausgebildet ist, jeweils labelweise eine durchschnittliche Ähnlichkeit zwischen wenigstens einem Teil der Elemente des entsprechenden Testdatensatzes und wenigstens einem Teil der Elemente des Trainingsdatensatzes zu ermitteln.

10. System (10) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei der Trainingsdatensatz und/oder die mehreren Testdatensätze Sensordaten aufweisen.

11. System zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens, wobei das System eine erste Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, Trainingsdaten zum Trainieren des Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, eine zweite Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, Verifizierungsergebnisse bereitzustellen, wobei die Verifizierungsergebnisse durch ein System zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens nach einem der Ansprüche 7 bis 10 erzeugt wurden, eine Trainingseinheit, welche ausgebildet ist, den Algorithmus des maschinellen Lernens basierend auf den Trainingsdaten und den Verifizierungsergebnissen zu trainieren, und eine dritte Bereitstellungseinheit, welche ausgebildet ist, den trainierten Algorithmus des maschinellen Lernens bereitzustellen, aufweist.

12. System zum Klassifizieren von Bilddaten, wobei Bilddaten unter Verwendung eines Algorithmus des maschinellen Lernens, welcher trainiert ist, Bilddaten zu klassifizieren, klassifiziert werden, und wobei der Algorithmus des maschinellen Lernens unter Verwendung eines Systems zum Trainieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens nach Anspruch 11 trainiert wurde.

13. Computerprogramm mit Programmcode, um ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

14. Computerlesbarer Datenträger mit Programmcode eines Computerprogramms, um ein Verfahren zum Verifizieren eines Algorithmus des maschinellen Lernens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 auszuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer ausgeführt wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

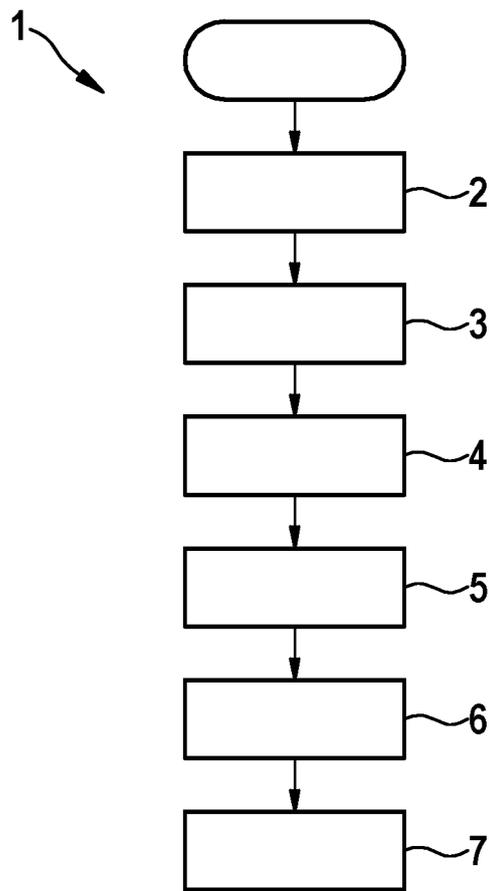


Fig. 1

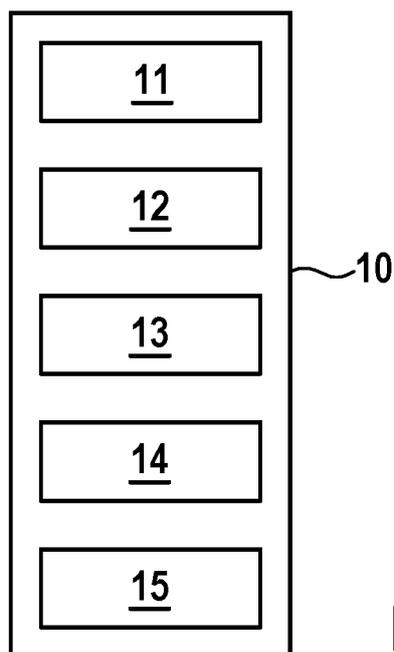


Fig. 2