



(10) DE 11 2019 006 835 B4 2024.08.08

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2019 006 835.0
 (86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2019/050704
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2020/162069
 (86) PCT-Anmeldetag: 24.12.2019
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: 13.08.2020
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: 20.01.2022
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: 08.08.2024

(51) Int Cl.: F02D 41/00 (2006.01)
 F02D 41/22 (2006.01)
 G05B 23/02 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
 2019-021084 07.02.2019 JP

(73) Patentinhaber:
 DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref.,
 JP

(74) Vertreter:
 Winter, Brandl - Partnerschaft mbB,
 Patentanwälte, 85354 Freising, DE

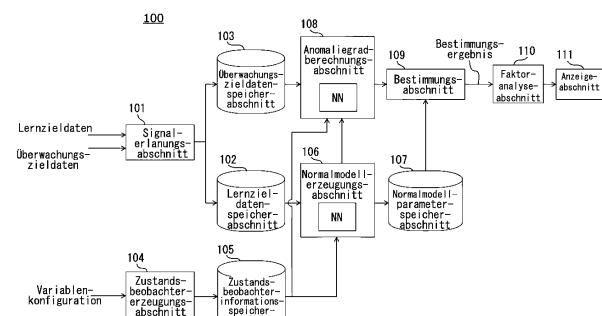
(72) Erfinder:
 Moribe, Atsushi, Kariya-city, Aichi-pref., JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 018 980	A1
DE	10 2017 201 632	A1
US	5 454 358	A
JP	2007- 198 918	A
JP	2015- 18 389	A

(54) Bezeichnung: ANOMALIEERFASSUNGSVORRICHTUNG

(57) Hauptanspruch: Anomalieerfassungsvorrichtung (100), aufweisend:
 einen Signalerlangungsabschnitt (101), der konfiguriert ist, um Lernzieldata und Überwachungszieldata zu erlangen; einen Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt (104), der konfiguriert ist, um einen Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration zu erzeugen; einen Normalmodellerzeugungsabschnitt (106), der konfiguriert ist, um einen Schwellenwert durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernzieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernzieldata und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk zu erzeugen; einen Anomaliegradberechnungsabschnitt (108), der konfiguriert ist, um einen Anomaliegrad durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldata und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk zu berechnen; und einen Bestimmungsabschnitt (109), der konfiguriert ist, um ein Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad zu berechnen.



Beschreibung**QUERVERWEIS AUF ZUGEHÖRIGE ANMELDUNG**

[0001] Diese Anmeldung basiert auf der japanischen Patentanmeldung mit der Nummer 2019 - 021 084, eingereicht am 7. Februar 2019, deren Offenbarung hier durch Bezugnahme aufgenommen ist.

TECHNISCHES GEBIET

[0002] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Vorrichtung, die eine Anomalie eines Instruments oder ein Zeichen der Anomalie insbesondere eine Anomalie eines Transportmittels wie eines Automobils, einer landwirtschaftlichen Maschine, einer Baumaschine oder ein Zeichen der Anomalie unter Verwendung eines konkurrierenden neuronalen Netzwerks erfasst.

HINTERGRUND

[0003] In jüngsten Jahren wurde vorgeschlagen, dass Anomalien unterschiedlicher Instrumente unter Verwendung von Maschinenlernen erfasst werden. Das Maschinenlernen kann als ein intelligentes System betrachtet werden, das eine Eigenschaft hat, seine Erfassungsgenauigkeit zu verbessern. Insbesondere ist das neuronale Netzwerk durch Fokussieren auf eine charakteristische Funktion einer neuronalen Funktion eines Lebewesens modelliert und die Nützlichkeit wurde erkannt.

[0004] Beispielsweise wird in JP 2007 - 198918 A ein konkurrierendes neuronales Netzwerk für eine rotierende Vorrichtung oder Ausrüstung verwendet. JP 2007 - 198918 A offenbart eine Anomalieüberwachungsvorrichtung, die angemessen die Anwesenheit oder Abwesenheit der Anomalie durch gleichmäßiges Erlernen tatsächlicher Sensorbeobachtungswerte diagnostiziert, sogar, wenn ein Normalzustand abhängig von der Rotationsgeschwindigkeit, Alterung, Daten und Zeit, Jahreszeit und dergleichen variiert. Ferner offenbart JP 2015 - 18389 A eine Anomaliezeichendiagnosevorrichtung, die ein Normalmodell unter Verwendung des Maschinenlernens und eines tatsächlichen Sensorwerts erzeugt, eine Anomalie basierend auf einer Schwellenwertbestimmung erfasst und das gesamte Normalmodell gemäß einer Änderung in einer externen Umgebung rekonstruiert.

[0005] Als Ergebnis einer detaillierten Untersuchung durch den Erfinder, wenn ein Schwellenwert zum Erfassen einer Anomalie aus Informationen erlangt wird, die aus einem Beobachtungswert eines tatsächlichen Sensors oder einer Charakteristik gelesen werden, ist es wahrscheinlich, dass fehlerhafte

Bestimmung, dass die Anomalie als normal bestimmt wird, aufgrund der Änderung in der externen Umgebung auftritt. Ferner wurde herausgefunden, dass eine Schwierigkeit darin besteht, dass, wenn Lernen ohne Berücksichtigung der Vorrichtungsfunktion oder des Fehlfunktionsmechanismus fortschreitet, das Lernen in eine unerwünschte Richtung fortschreitet und eine Abweichung von einer Vorrichtungsfunktion oder einem Fehlfunktionsmechanismus verursacht.

[0006] Aus DE 10 2017 201 632 A1 ist zusätzlich ein System zum Vorhersagen von Kalibrierungswerten für ein Fahrzeug bekannt. Weiter beschreibt DE 10 2005 018 980 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Fehlerdiagnose mechatronischer Systeme. US 5 454 358 A offenbart außerdem eine Vorrichtung zum Steuern einer Fahrleistung für einen Verbrennungsmotor.

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung eine Anomalie mit hoher Genauigkeit durch Lernen nach Reflektieren einer Vorrichtungsfunktion oder eines Fehlfunktionsmechanismus zu erfassen. Diese Aufgabe wird durch die Anomalieerfassungsvorrichtung mit den Merkmalen gemäß Anspruch 1, das Anomalieerfassungsverfahren mit den Merkmalen gemäß Anspruch 12 und das Anomalieerfassungsprogramm mit den Merkmalen gemäß Anspruch 13 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung beinhaltet eine Anomalieerfassungsvorrichtung: einen Signalerlangungsabschnitt, der Lernzieldata und Überwachungszieldata erlangt; einen Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt, der einen Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration erzeugt; einen Normalmodellerzeugungsabschnitt, der einen Schwellenwert durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernzieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernzieldata und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk erzeugt; einen Anomaliegradberechnungsabschnitt, der einen Anomaliegrad durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldata und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk berechnet; und einen Bestimmungsabschnitt, der ein Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad berechnet.

[0009] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung umfasst ein Anomalieerfassungsverfahren: Erlangen von Lernzieldata; Erzeu-

gen eines Zustandsbeobachters unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration; Erzeugen eines Schwellenwerts durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernzieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernzieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk; Erlangen von Überwachungszieldaten; Berechnen des Anomaliegrads durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachterwerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk; und Berechnen eines Bestimmungsergebnisses durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Offenbarung führt ein Anomalieerfassungsprogramm Erlangen von Lernzieldaten, Erzeugen eines Zustandsbeobachters unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration, Erzeugen eines Schwellenwerts durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernzieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernzieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk, Erlangen von Überwachungszieldaten, Berechnen des Anomaliegrads durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachterwerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk, und Berechnen eines Bestimmungsergebnisses durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad aus.

WIRKUNGEN DER ERFINDUNG

[0011] Gemäß der Anomalieerfassungsvorrichtung, dem Anomalieerfassungsverfahren und dem Anomalieerfassungsprogramm der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, die Anomalie mit hoher Genauigkeit durch Reflektieren der Vorrichtungsfunktion oder des Fehlfunktionsmechanismus unter Verwendung eines Zustandsbeobachters und Berechnen des Anomaliegrad unter Verwendung des konkurrierenden neuronalen Netzwerks basierend auf der Reflektion zu erfassen. Ferner ist es unter Verwendung eines Zustandsbeobachters möglich, zu analysieren, in welcher Funktion der Vorrichtung oder in welchem Teil der Vorrichtung die Anomalie auftritt oder ob die Anomalie wahrscheinlich auftritt.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist ein Blockschaltbild, das eine Konfiguration einer Anomalieerfassungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform illustriert;

Fig. 2 ist ein erläuterndes Diagramm, das einen Zustandsbeobachter der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert;

Fig. 3 ist ein erläuterndes Diagramm, das eine Verarbeitung eines Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitts der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert;

Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, das eine Operation des Anomaliegradberechnungsabschnitt der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert;

Fig. 5 ist ein erläuterndes Diagramm, das Informationen illustriert, die auf einem Anzeigabschnitt der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform angezeigt werden;

Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm, das eine Operation während Lernens der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert;

Fig. 7 ein Ablaufdiagramm, das eine Erzeugungsoperation des Zustandsbeobachters der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert; und

Fig. 8 ist ein Ablaufdiagramm, das eine Operation während einer Überwachung und Faktorenanalyse der Anomalieerfassungsvorrichtung der Ausführungsform illustriert.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0012] Nachfolgend werden Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung gemäß den Zeichnungen beschrieben. Die vorliegende Erfindung, auf die nachfolgend Bezug genommen wird, gibt die Erfindung an, die in den Ansprüchen beschrieben ist, und ist nicht auf die folgenden Ausführungsformen beschränkt. Ferner bedeuten zumindest Wörter innerhalb des doppelten Anführungszeichens Wörter und Phrasen, die in den Ansprüchen beschrieben sind, und sind nicht auf die folgende Ausführungsform beschränkt. Konfigurationen und Verfahren, die in abhängigen Ansprüchen von Ansprüchen beschrieben sind, Konfigurationen und Verfahren der folgenden Ausführungsform, die den Konfigurationen und Verfahren entsprechen, die in den abhängigen Ansprüchen beschrieben sind, und die Konfigurationen und Verfahren, die nur in der folgenden Ausführungsform ohne Beschreibungen in Ansprüchen beschrieben sind, sind als beliebige Konfigurationen und beliebige Verfahren in dieser Erfindung zu interpretieren. In einem Fall, in dem der Umfang der Ansprüche breiter ist als die Beschreibungen der Ausführungsform, zeigen Konfigurationen und Ver-

fahren, die in der folgenden Ausführungsform beschrieben sind, nur Beispiele von Konfigurationen und Verfahren der vorliegenden Erfindung, die als beliebige Konfigurationen und beliebige Verfahren in der vorliegenden Erfindung interpretiert werden sollten. In jedem Fall sollten wesentliche Konfigurationen und Verfahren der vorliegenden Erfindung basierend auf unabhängigen Ansprüchen interpretiert werden.

[0013] Alle in der Ausführungsform beschriebenen Wirkungen sind Wirkungen, die durch Konfigurationen der Ausführungsform als ein Beispiel dieser Erfindung erhalten werden, und sind nicht notwendigerweise Wirkungen dieser Offenbarung.

[0014] Wenn mehrere Ausführungsformen vorhanden sind, ist eine in jeder Ausführungsform offenbare Konfiguration nicht auf jede Ausführungsform beschränkt, sondern kann über Ausführungsformen hinweg kombiniert werden. Beispielsweise kann eine in einer Ausführungsform offenbare Konfiguration mit anderen Ausführungsformen kombiniert werden. Konfigurationen, die die jeweiligen mehreren Ausführungsformen offenbart haben, können gesammelt und kombiniert werden.

[0015] In dieser Offenbarung beschriebene Erkenntnisse oder Schwierigkeiten sind nicht öffentlich bekannt, aber der Erfinder hat sie unabhängig herausgefunden. Die Feststellungen oder Schwierigkeiten sind Tatsachen, die die erfinderische Tätigkeit der Erfindung zusammen mit der Konfiguration und dem Verfahren der vorliegenden Offenbarung bestätigen.

(Ausführungsform)

1. Konfiguration der Anomalieerfassungsvorrichtung

[0016] Als erstes wird gemäß **Fig. 1** eine Konfiguration einer Anomalieerfassungsvorrichtung 100 (entspricht „Anomalieerfassungsvorrichtung“) der vorliegenden Ausführungsform beschrieben.

[0017] In der folgenden Ausführungsform wird eine fahrzeuginterne Anomalieerfassungsvorrichtung, die hauptsächlich an einem Automobil montiert ist, als ein Beispiel beschrieben. Jedoch beinhaltet die vorliegende Erfindung eine Fahrzeuganomalieerfassungsvorrichtung außer der fahrzeuginternen Anomalieerfassungsvorrichtung, es sei denn die Ansprüche sind beschränkt. Beispielsweise ist die Fahrzeuganomalieerfassungsvorrichtung eine Anomalieerfassungsvorrichtung, die außerhalb eines Fahrzeugs platziert ist und in einem Zustand verwendet wird, in dem sie mit einer verbundenen ECU des Fahrzeugs drahtgebunden oder drahtlos verbunden ist. Ferner beinhaltet die folgende Ausführungsform eine Anomalieerfassungsvorrichtung außer der fahr-

zeuginternen Anomalieerfassungsvorrichtung und der Fahrzeuganomalieerfassungsvorrichtung. Hierbei beinhaltet die „Anomalieerfassungsvorrichtung“ nicht nur eine Vorrichtung, die eine Anomalie erfasst, sondern ebenso eine Vorrichtung, die ein Anomaliezeichen wie ein Zeichen einer Fehlfunktion erfasst.

[0018] Eine Anomalieerfassungsvorrichtung 100 beinhaltet einen Signalerlangungsabschnitt 101, einen Lernieldatenspeicherabschnitt 102, einen Überwachungsziel datenspeicherabschnitt 103, einen Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104, einen Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105, einen Normalmodellerzeugungsabschnitt 106, einen Normalmodelparameterspeicherabschnitt 107, einen Anomaliegradberechnungsabschnitt 108, einen Bestimmungsabschnitt 109, einen Faktoranalyseabschnitt 110 und einen Anzeigeabschnitt 111.

[0019] Der Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt „Lernieldaten“ und „Überwachungsziel daten“. Insbesondere werden die Daten von unterschiedlichen Sensoren erlangt, die direkt oder indirekt mit dem Signalerlangungsabschnitt 101 verbunden sind, wie beispielsweise eine Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit, eine Turbinenrotationsgeschwindigkeit, eine Sauerstoffsensorspannung, ein Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstrom oder dergleichen. Ferner sind die Daten Temperatur, Feuchtigkeit, Positionsinformationen oder dergleichen. Die Lernieldaten und die Überwachungsziel daten können nicht nur direkt von unterschiedlichen Sensoren, sondern auch indirekt über ein Netzwerk erlangt werden. Beispielsweise können in einem Fall die Lernieldaten die Lernieldaten durch Herunterladen von einer Datenbank erlangt werden, die einen Referenzwert speichert, anstatt sie von unterschiedlichen Sensoren zu erlangen. Ferner sind die Lernieldaten nicht auf die Daten beschränkt, die durch den Signalerlangungsabschnitt 101 mit den Sensoren erlangt werden, und können beispielsweise ein Steuereingabewert sein. Hierbei können die „Lernieldaten“ Daten zum Lernen sein und es ist willkürlich, ob die Daten für andere Zwecke verwendet werden. Ferner können die „Überwachungsziel daten“ Daten zum Überwachen von Zielen bzw. ein Überwachungsziel sein und es ist willkürlich, ob die Daten für andere Zwecke verwendet werden. Beispielsweise kann das Überwachungsziel Daten für das Lernziel sein.

[0020] Beispiele unterschiedlicher Sensoren beinhalten zusätzlich zu Thermometern, Hygrometern, GPS und dergleichen einen Sensor, der an einem Automobil montiert ist und mit einer elektronischen Antriebssystemsteuereinheit, die eine Brennkraftmaschine, ein Lenkrad, eine Bremse oder dergleichen steuert, einer elektronischen Karosseriesystemssteuereinheit, die ein Messgerät, ein elektrisches Fenster oder dergleichen steuert und einer elektron-

ischen Sicherheitssteuersystemsteuereinheit verbunden ist, die Steuerung zum Verhindern einer Kollision mit einem Hindernis oder einem Fußgänger ausführt.

[0021] Der Lernziel datenspeicherabschnitt 102 speichert die Lernziel daten, die durch den Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt. Dann werden die gespeicherten Lernziel daten in den später beschriebenen Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 eingegeben. Ferner speichert der Überwachungsziel datenspeicherabschnitt 103 die Überwachungsziel daten, die durch den Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt werden. Dann werden die gespeicherten Überwachungsziel daten in den später beschriebenen Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 eingegeben. Es wird angenommen, dass diese Speicherabschnitte eine Festplatte (HDD), ein Flash-Speicher oder dergleichen sind. Jedoch können diese Speicherabschnitte ein Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM) sein. Ferner können die Speicherabschnitte ein flüchtiger Speicher oder ein nichtflüchtiger Speicher sein.

[0022] Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 erzeugt den Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variable in einer „Variablenkonfiguration“. Der Zustandsbeobachter wird ebenso als ein Beobachter oder ein softer Sensor bezeichnet. Die Variable ist eine Variable entsprechend der Lernziel daten und der Überwachungsziel daten, die durch den Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt werden. Wenn der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 ein Eingabemittel (entspricht „Eingabeabschnitt“) hat, kann der Zustandsbeobachter basierend auf einer Kenntnis eines Festlegers bzw. Einstellers eine Variablenkonfiguration eingeben, die zum Ausdrücken einer Vorrichtungsfunktion oder eines Fehlfunktionsmechanismus erforderlich ist. Spezifische Beispiele des Zustandsbeobachters und der Variablen, die den Zustandsbeobachter ausbildet, werden später beschrieben. Hierbei ist die „Variablenkonfiguration“ eine Variable oder eine Kombination mehrerer Variablen.

[0023] Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 erzeugt den Zustandsbeobachter durch lineares Kombinieren von Variablen in der Eingangsvariablenkonfiguration, wie beispielsweise in einer ersten Gleichung gezeigt ist. Ein Anfangswert eines Koeffizienten a ist auf einen Zufallswert festgelegt, die Kombination wird unter Verwendung der Lernziel daten ausgeführt und ein Anfangszustand des Zustandsbeobachters wird erzeugt.

[Erste Gleichung]

$$a_p x_p = a_{p1} x_{p1} + a_{p2} x_{p2} + \dots + a_{pn} x_{pn} \quad (1)$$

a : Koeffizient, x : Variable, p : Zustandsbeobachternummer, n : Variablennummer, $a_p X_p$: p -ter Zustandsbeobachter (Zustandsbeobachtungswert)

[0024] Es ist wünschenswert, dass der Zustandsbeobachter die Funktion einer Vorrichtung, die durch die Anomalieerfassungsvorrichtung 100 zu erfassen ist, oder einen „Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus“ reflektiert. Beispiele der Vorrichtungsfunktion beinhalten Fahren, das eine Funktion eines Automobils ist, und ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis, das eine Funktion des Automobils ist. In der vorliegenden Ausführungsform werden die Beispiele beschrieben. Ferner beinhalten die Beispiele des Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus beispielsweise einen Mechanismus zum Überhitzen einer Brennkraftmaschine. Das Überhitzen der Brennkraftmaschine ist ein Mechanismus, in dem eine Temperatur aufgrund einer Anomalie in einem Kühl system oder einer Überlastung der Brennkraftmaschine ansteigt und ein Motorfressen auftritt. Hierbei ist der „Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus“ ein Mechanismus, in dem die Vorrichtungsfehl funktion auftritt. Ferner bedeutet Reflektieren, dass der Zustandsbeobachtungswert, der von dem Zustandsbeobachter gemäß der Vorrichtungsfunktion oder dem Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus ausgegeben wird, sich ändert.

[0025] Es ist wünschenswert, dass die Variable in der Variablenkonfiguration des Zustandsbeobachters die Funktion der Vorrichtung ist, die durch die Anomalieerfassungsvorrichtung 100 zu erfassen ist, oder ein „Faktor“ des Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus ist. Beispielsweise ist in einem Fall des Überhitzens der Brennkraftmaschine als ein Beispiel des Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus, die Brennkraftmaschinentemperatur ein direkter Faktor, der Überhitzen verursacht. Die Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit oder die Kühl mittel menge sind ein direkter Faktor, der Ansteigen der Brennkraftmaschinentemperatur verursacht, das heißt, ein indirekter Faktor, der Überhitzen verursacht. Beispiele des Faktors der Vorrichtungsfunktion werden nachfolgend als die vorliegende Ausführungsform beschrieben. Hierbei ist der „Faktor“ eine Tatsache, die die Vorrichtungsfunktion oder den Vorrichtungsfehl funktionsmechanismus beeinflusst.

[0026] Nachfolgend wird ein Beispiel des Zustandsbeobachters basierend auf der Funktion des Automobils beschrieben. Beispielsweise, wie in **Fig. 2** gezeigt ist, wenn ein Antriebssystemzustandsbeobachter (entspricht einen „ersten Zustandsbeobachter“) für ein Antriebssystem des Automobils erzeugt wird, werden Variablen bezüglich des Antriebssystems des Automobils wie beispielsweise eine Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit (x_{11}) und eine Turbinenrotationsgeschwindigkeit (x_{12}) linear kombiniert. Dadurch wird der Zustands-

beobachter einer zweiten Gleichung erzeugt.
[Zweite Gleichung]

$$u = a_1 X_1 = a_{11} x_{11} + a_{12} x_{12} \quad (2)$$

a_{11}, a_{12} : Anfangswert des Koeffizienten
 u : Antriebssystemzustandsbeobachtungswert

[0027] Beispielsweise, wie in **Fig. 2** gezeigt ist, wenn ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachter (entspricht einem „zweiten Zustandsbeobachter“) für ein Verhältnis von Luft zu Kraftstoff, die der Brennkraftmaschine zugeführt werden, erzeugt wird, werden Variablen bezüglich des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses der Brennkraftmaschine wie beispielsweise eine Sauerstoffsensorspannung (x_{21}) und ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstrom (x_{22}) linear kombiniert. Dabei wird ein Zustandsbeobachter einer dritten Gleichung erzeugt.

[Dritte Gleichung]

$$v = a_2 X_2 = a_{21} x_{21} + a_{22} x_{22} \quad (3)$$

a_{21}, a_{22} : Anfangswert des Koeffizienten
 v : Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswert

[0028] Natürlich können andere Variablen als diese Variablen verwendet werden. Ferner ist die Anzahl von Variablen, die zu kombinieren sind, nicht auf zwei beschränkt. Ferner ist die Anzahl von Zustandsbeobachtern nicht auf zwei beschränkt. Beispielsweise kann ein Zustandsbeobachter verwendet werden oder ein dritter und nachfolgender Zustandsbeobachter (entspricht einem „dritten Zustandsbeobachter“) kann erzeugt werden.

[0029] In der vorliegenden Ausführungsform wurde als Beispiel des Zustandsbeobachters der Zustandsbeobachter mit der Zweischichtstruktur der Eingabe und Ausgabe erwähnt. Jedoch kann die Anzahl von Schichten drei oder mehr sein. In diesem Fall kann er unter Verwendung eines hierarchischen neuronalen Netzwerks beschrieben werden. Alternativ kann er unter Verwendung eines Kernel-Raums beschrieben werden. Ferner können Regularisierungsterme eingeführt werden.

[0030] Das Beispiel, in dem die Variablen als der Zustandsbeobachter linear kombiniert werden, wurde beschrieben. Jedoch gibt es keine Beschränkung darauf. Der Zustandsbeobachter kann durch nichtlineare Kombination konfiguriert sein. Beispielsweise, wenn er unter Verwendung des hierarchischen neuronalen Netzwerks beschrieben ist, wird eine Sigmoidfunktion verwendet. Demnach ist der Zustandsbeobachter durch die nichtlineare Kombination konfiguriert.

[0031] Es ist es möglich, den Zustandsbeobachtungswert, der nicht direkt durch den Sensor und der gleichen gemessen werden kann, durch Erzeugen des Zustandsbeobachters zu schätzen. Ferner ist es möglich, die Erfassungsgenauigkeit für die Fehlfunktion zu verbessern und einfach den Fehlfunktionsfaktor durch Reflektieren der Vorrichtungsfunktion oder des Fehlfunktionsmechanismus auf den Zustandsbeobachter zu analysieren.

[0032] Eine Verteilungsumwandlung, die die Lernzieldata, die verwendet werden, wenn der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 den Zustandsbeobachter erzeugt, in eine Normalverteilung bringt, kann ausgeführt werden. Beispiele der Verteilungsumwandlung beinhalten eine Box-Cox-Umwandlung, eine Johnson-Umwandlung und der gleichen. Auf diese Weise besteht eine Wahrscheinlichkeit, das eine Anomalieerfassungsgenauigkeit des Bestimmungsabschnitts 109, der später beschrieben wird, verbessert wird. Wenn die Verteilung ausgeführt wird, wird ein Verteilungsumwandlungsparameter in dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105, der später beschrieben wird, gespeichert und an den Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 und Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 ausgegeben. Dann wird die ähnliche Verteilungsumwandlung für die Lernzieldata, die in den Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 eingegeben werden, und die Überwachungszieldata ausgeführt, die in den Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 eingegeben werden.

[0033] Wenn die Anzahl von Zustandsbeobachtern eine Mehrzahl ist, wie in **Fig. 3** gezeigt ist, ist es wünschenswert, ferner die Korrelation zwischen den Zustandsbeobachtern zu maximieren. Beispielsweise, wenn der Zustandsbeobachter aus dem ersten Zustandsbeobachter und dem zweiten Zustandsbeobachter besteht, wird die Korrelation zwischen dem ersten Zustandsbeobachter und dem zweiten Zustandsbeobachter unter einer Randbedingung maximiert. Wenn der Zustandsbeobachter aus drei oder mehr Zustandsbeobachtern besteht, wird jede Korrelation zwischen zwei Zustandsbeobachtern einer beliebigen Kombination unter der Randbedingung maximiert.

[0034] Da ein Variationsbereich aufgrund von Rauschen von Normaldaten bzw. normalen Daten beschränkt ist, ist es dadurch möglich, die Genauigkeit bei Anomalieerfassung zu verbessern.

[0035] Insbesondere, wie in der ersten Zeile einer vierten Gleichung gezeigt ist, ist es möglich, die Korrelation durch Anpassen von zwei Koeffizienten zu maximieren. Der Zähler der vierten Gleichung ist eine Stichprobenkovarianz des ersten Zustandsbeobachters und des zweiten Zustandsbeobachters. Die Nenner sind Stichprobenvarianzen des ersten

Zustandsbeobachters und eine Stichprobenvarianz des zweiten Zustandsbeobachters.

[0036] Die zweite Zeile der vierten Gleichung ist eine Randbedingung des unbestimmten Multiplikatorverfahrens nach Lagrange und beträgt im Fall der vorliegenden Ausführungsform 1.

[Vierte Gleichung]

$$\rho(a_n, a_m) = \frac{a_n^T V_{xnxm} a_m}{\sqrt{a_n^T V_{xnxn} a_n} \sqrt{a_m^T V_{xm xm} a_m}} \quad (4)$$

[0037] Subjekt der Einschränkungen (subject to the constrains)

$$a_n^T V_{xnxn} a_n = a_n^T X_n^T X_n a_n = a_m^T V_{xm xm} a_m = a_m^T X_m^T X_m a_m = 1$$

p: Korrelation

n: n-ter Zustandsbeobachter

m: m-ter Zustandsbeobachter

a: Koeffizient

V: Varianz

[0038] Ferner, wenn der Zustandsbeobachter aus drei Zustandsbeobachtern, dem ersten Zustandsbeobachter, dem zweiten Zustandsbeobachter und dem dritten Zustandsbeobachter besteht, wie in **Fig. 3** gezeigt ist, ist es wünschenswert die „Summe“ der Korrelation zwischen zwei Zustandsbeobachtern zu maximieren. Ebenso wird in dem Fall der vier oder mehr Zustandsbeobachter Maximierung auf die gleiche Weise wie die Weise in dem Fall von drei ausgeführt. Da ein Variationsbereich aufgrund von Rauschen von Normaldaten bzw. normalen Daten beschränkt ist, ist es dadurch möglich, die Genauigkeit bei Anomalieerfassung zu verbessern. Hierbei kann die „Summe“ die Summe in der Berechnung wie die Summe von Quadraten und Summen von Absolutwerten zusätzlich zur einfachen Summe beinhalten.

[0039] Insbesondere, wie in einer fünften Gleichung gezeigt ist, ist es möglich, die Summe der Korrelation zwischen den zwei Zustandsbeobachtern zu maximieren. Das g ist eine Funktion, die die Summe repräsentiert. Das Innere von Klammern ist ein zu summierendes Ziel, das heißt, eine Korrelation zwischen dem n-ten Zustandsbeobachter und dem m-ten Zustandsbeobachter.

[Fünfte Gleichung]

$$\text{Maximize}(a_1, \dots, a_N) \sum_{n,m=1, n \neq m}^N g(a_n^T X_n^T X_m a_m) \quad (5)$$

N: Gesamtzahl von Zustandsbeobachtern

[0040] Der Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 speichert Koeffizienten, die durch den Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104

berechnet werden, wobei die Koeffizienten Koeffizienten (a_{11}, a_{12}) des Antriebssystemzustandsbeobachters und Koeffizienten (a_{21}, a_{22}) des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachters in der vorliegenden Ausführungsform sind. Die Koeffizienten werden durch Maximieren der Korrelation erlangt. Ferner wird die Variablenkonfiguration des Zustandsbeobachters ebenso gespeichert.

[0041] Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 muss bereitgestellt werden, wenn der Zustandsbeobachter erzeugt wird. Sobald der Zustandsbeobachter erzeugt ist und die Variablenkonfiguration des Zustandsbeobachters und der Koeffizient des Zustandsbeobachters in dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 gespeichert sind, kann der Zustandsbeobachterspeicherabschnitt 105 von der Anomalieerfassungsvorrichtung 100 separiert werden.

[0042] Der Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 „kombiniert“ den ersten Zustandsbeobachtungswert, der durch Eingeben der Lernzieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und die Lernzieldata, und gibt das kombinierte Ergebnis in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk ein, um ein Normalmodell zu erzeugen. Im Falle der vorliegenden Ausführungsform werden die Variablenkonfiguration des Zustandsbeobachters und der Koeffizient aus dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 gelesen. Die Lernzieldata, die von dem Lernzieldataenspeicherabschnitt 102 gelesen werden, werden auf die Variable angewendet, so dass der erste Zustandsbeobachtungswert berechnet wird. Beispielsweise werden die Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit und die Turbinenrotationsgeschwindigkeit, die als die Lernzieldata erlangt werden, in die zweite Gleichung eingegeben und ein Antriebssystemzustandsbeobachtungswert (u_1) (entspricht dem „ersten Zustandsbeobachtungswert“) wird berechnet. Ferner werden die Sauerstoffsensorspannung und der Luft-Kraftstoff-Verhältnisstrom, die als die Lernzieldata erlangt werden, in die dritte Gleichung eingegeben und ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswert (v_1) (entspricht dem „ersten Zustandsbeobachterwert“) berechnet. Dann werden sechs Daten einschließlich der Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit, der Turbinenrotationsgeschwindigkeit, des Antriebssystemzustandsbeobachtungswerts (u_1), der Sauerstoffsensorspannung, des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstroms und des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswert (v_1) in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk (NN) eingegeben. Hierbei ist der Ausdruck „Kombinieren“ ausreichend, solange der erste Zustandsbeobachtungswert und die Lernzieldata gleichzeitig in das konkurrierende neuronale Netzwerk eingegeben werden.

[0043] Wenn es für den Anfangswert, der an das konkurrierende neuronale Netzwerk gegeben wird, mehrere Kombinationen von Attributen wie beispielsweise den Fahrzeugtyp, Messsaison, Tag und Nacht, kundenspezifische Spezifikationen oder Alterungsgrad gibt, ist es wünschenswert die Daten gleichmäßig abzutasten. Alternativ ist es wünschenswert die Daten zufällig abzutasten. Demnach ist es möglich, die Konvergenz zur Zeit des Lernens eines Neuronengewichtsvektors auf einer Karte des konkurrierenden neuronalen Netzwerks zu beschleunigen.

[0044] Das konkurrierende neuronale Netzwerk ist ein neuronales Netzwerk, das nur aus der Eingabeschicht und der Ausgabeschicht besteht und beinhaltet mehrere Eingabeschichtneuronen und mehrere Ausgabeschichtneuronen, die vollständig mit den Eingabeschichtneuronen verbunden sind.

[0045] Die vorliegende Ausführungsform berechnet den Anomaliegrad, der eine Differenz zwischen der Lernzieldata und dem Zustandsbeobachtungswert ist, die in das konkurrierende neuronale Netzwerk eingegeben werden, und Neuronengewichtsdaten einer gewinnenden Einheit. Dann wird ein Schwellenwert unter Verwendung des Satzes von Differenzen berechnet. Beispielsweise wird ein konstantes Vielfaches eines Quantils von 99,9% des Satzes von Differenzen (Absolutwerte) als der Schwellenwert verwendet.

[0046] Der Normalmodellparameterspeicherabschnitt 107 speichert den Schwellenwert, der durch den Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 berechnet wird.

[0047] Der Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 „kombiniert“ den zweiten Zustandsbeobachtungswert, der durch Eingeben der Überwachungszieldata in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und die Überwachungszieldata und gibt das kombinierte Ergebnis in das konkurrierende neuronale Netzwerk ein, um den Anomaliegrad unter Verwendung der Gewichtungsdaten des Ausgabeschichtneurons zu berechnen. Im Falle der vorliegenden Ausführungsform werden die Variablenkonfiguration des Zustandsbeobachters und der Koeffizient aus dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 gelesen. Die Überwachungszieldata, die von dem Überwachungszieldataenspeicherabschnitt 103 gelesen werden, werden auf die Variable angewendet, so dass der zweite Zustandsbeobachtungswert berechnet wird. Wenn die Verteilungsumwandlung für die Lernzieldata zur Zeit des Erzeugens des Zustandsbeobachters ausgeführt wird, wird der Verteilungsumwandlungsparameter von dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 gelesen und die Verteilungsumwandlung wird für die Überwachungszieldata ausgeführt.

[0048] Beispielsweise werden die Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit und die Turbinenrotationsgeschwindigkeit, die als die Überwachungszieldata erlangt werden, in die zweite Gleichung eingegeben und ein Antriebssystemzustandsbeobachtungswert (u_2) (entspricht dem „zweiten Zustandsbeobachtungswert“) wird berechnet. Ferner werden die Sauerstoffsensorspannung und der Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Strom, die als die Überwachungszieldata erlangt werden, in die dritte Gleichung eingegeben und ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswert (v_2) (entspricht dem „zweiten Zustandsbeobachterwert“) wird berechnet. Dann werden sechs Daten einschließlich der Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit, der Turbinenrotationsgeschwindigkeit, des Antriebssystemzustandsbeobachtungswerts (u_2), des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstroms und des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswerts (v_2) in das konkurrierende neuronale Netzwerk (NN) eingegeben. Hierbei ist der Ausdruck „Kombinieren“ ausreichend, solange der zweite Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldata gleichzeitig in das konkurrierende neuronale Netzwerk eingegeben werden.

[0049] Der Anomaliegrad wird basierend auf dem Differenzwert zwischen den Überwachungszieldata und dem Zustandsbeobachtungswert, die in das konkurrierende neuronale Netzwerk eingegeben werden, und den Gewichtungsdaten jedes Ausgabeschichtneurons berechnet.

[0050] Nachfolgend wird eine Prozedur zum Berechnen des Anomaliegrads in dem Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 gemäß **Fig. 4** beschrieben.

[0051] Die Bedeutungen der Symbole in der Figur sind wie folgt.

W: Neuronensatz

k: Überwachungszeit

I: Schleifenzähler

L: Anzahl von Schleifen

i, j: Neuronenadresse von neuronalem Netzwerk

[0052] Der Schleifenzähler (I) ist auf 1 gesetzt (S101). Die minimale euklidische Distanz ($d_{\sim k,I}$) zwischen den Überwachungszieldata (Z_k) zur Überwachungszeit (k) und den Gewichtungsdaten (W_{i,j}) des neuronalen Netzwerkneurons am nächsten zu den Überwachungszieldata wird berechnet (S102). Das Symbol „d~“ in der vorliegenden Spezifikation bedeutet d mit einer Tilde. Eine Kosinusähnlichkeit ($\cos\theta_{k,I}$) zwischen den Überwachungszieldata (Z_k) und Gewichtungsdaten (W'_{k,I}) des neuronalen Netz-

werkneurons nahe zu den Überwachungszieldaten wird berechnet (S103). Ein Anomaliegrad ($c_{k,i}$) wird aus der minimalen euklidischen Distanz ($d_{\sim k,i}$) und der Kosinusähnlichkeit ($\cos \theta_{k,i}$) berechnet (S104).

[0053] Wenn der Schleifenzähler (I) nicht die vorbestimmte Schleifenzahl (L) überschreitet (S105: N), wird der Schleifenzähler (I) inkrementiert (S106). Ein Neuron ($W_{i,j}$ entsprechend $W'_{k,i}$), das den Überwachungszieldaten am nächsten ist, wird aus dem Neuronensatz (W) (S107) entfernt und die Verarbeitung kehrt zu S102 zurück. Wenn der Schleifenzähler (I) die Schleifenzahl (L) überschreitet (S105: Y), wird die Summe der Anomaliegrade für die vorbestimmte Schleifenzahl (L) auf den Anomaliegrad (c_k) festgelegt (S108). Die Schleifenzahl (L) kann beliebig festgelegt werden und ist beispielsweise 10 Mal.

[0054] Zur Vorbereitung des Analysierens des Faktors durch den Faktorenanalysesabschnitt 110 kann, um die Ursache der Anomalie zu spezifizieren, ein Wert von f_k in einem sechsten Ausdruck, das heißt, ein Wert, der erlangt wird, indem die Quadratwurzel eines quadrierten Werts eines Differenzvektors zwischen den Überwachungszieldaten (Z_k), die zur Zeit der Berechnung des Anomaliegrads ($c_{k,i}$) verwendet werden, und dem Gewichtungsneuron ($W'_{k,i}$), das zur Zeit ausgewählt wird, wenn I gleich 1 ist ($I = 1$), genommen wird, in einem separat bereitgestellten Speicherabschnitt gespeichert werden. s ist ein Wert, der die Überwachungszieldaten oder den Zustandsbeobachtungswert spezifiziert und ist gleich oder größer als 1 und gleich oder kleiner als S ($1 \leq s \leq S$). S ist die Gesamtzahl der Überwachungszieldaten und der Zustandsbeobachtungswerte.

[Sechste Gleichung]

$$f_k = \sqrt{|f_k - W'_{k,1}|} \quad (6)$$

$$f_k = (f_{k,1}, f_{k,2}, \dots, f_{k,S})^T$$

[0055] Der Bestimmungsabschnitt 109 berechnet das Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts, der von dem Normalmodellparameterspeicherabschnitt 107 gelesen wird, mit dem Anomaliegrad (c_k), der von dem Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 ausgegeben wird. Insbesondere, wenn der Anomaliegrad gleich oder größer als der Schwellenwert ist, wird ein Bestimmungsergebnis, das es eine Anomalie gibt, ausgegeben. Wenn der Anomaliegrad kleiner als der Schwellenwert ist, wird ein Bestimmungsergebnis ausgegeben, dass es keine Anomalie gibt.

[0056] Wenn das Bestimmungsergebnis des Bestimmungsabschnitts 109 die „Anomalie“ angibt, spezifiziert der Faktorenanalysesabschnitt 110 die Ursache der „Anomalie“ unter Verwendung des zweiten Zustandsbeobachtungswerts und der Überwa-

chungszieldaten, die die Bestimmung der „Anomalie“ verursachen. Der Faktorenanalysesabschnitt 110 kann die Ursache der Anomalie spezifizieren, indem ein zweiter Zustandsbeobachtungswert und Überwachungszieldaten verwendet werden, die zeitlich früher und/oder später als der zweite Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldaten sind, die die Bestimmung der Anomalie verursachen. In der vorliegenden Ausführungsform wird Spezifizieren der Ursache der Anomalie als die Faktorenanalyse bezeichnet. Hierbei beinhaltet die „Anomalie“ nicht nur eine Anomalie, sondern ebenso ein Zeichen der Anomalie.

[0057] Beispielsweise wird in der vorliegenden Ausführungsform die Anomalieursache unter Verwendung von 11 Daten einschließlich Daten, die den zweiten Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldaten aufweisen, die als abnormal bestimmt werden, 5 Daten früher als diese Daten und 5 Daten später als diese Daten spezifiziert. Wenn zur Überwachungszeit (k) die Bestimmung die Anomalie angibt, werden das f_k , das in der sechsten Gleichung gezeigt ist und durch den Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 berechnet wird, fünf Werte früher als das f_k , fünf Werte später als das f_k aus dem separat bereitgestellten Speicherabschnitt gelesen, der auf F festzulegen ist. f ist ein Wert, der die Überwachungszieldaten oder den Zustandsbeobachtungswert spezifiziert und ist gleich oder größer als 1 und gleich oder kleiner als S ($1 \leq s \leq S$). S ist die Gesamtzahl der Überwachungszieldaten und der Zustandsbeobachtungswerte. In der vorliegenden Ausführungsform ist s wie folgt verknüpft.

$s=1$: Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit

$s=2$: Turbinenrotationsgeschwindigkeit

$s=3$: Antriebssystemzustandsbeobachtungswert (u_2)

$s=4$: Sauerstoffsensorspannung

$s=5$: Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstrom

$s=6$: Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachtungswert (v_2)

[Siebte Gleichung]

$$F = \begin{bmatrix} f_{-5,1} & \cdots & f_{-5S} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{5,1} & \cdots & f_{5S} \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0058] Wie vorstehend beschrieben ist, beinhaltet F jeden Anomaliegrad des Zustandsbeobachters und jeden Anomaliegrad der Überwachungszieldaten. Wenn in der Faktorenanalyse der Faktor, der zum Anomaliegrad beiträgt, unter Verwendung nur einer kleinen Anzahl von Überwachungszieldaten analysiert

wird, ist genaue Analyse aufgrund des Rauschens schwierig. Ferner ist es schwierig, zu bestimmen, welche der Funktionsblöcke, der die Funktionen der überwachten Vorrichtung repräsentiert, einen Faktor hat. Demnach ist es in der vorliegenden Ausführungsform möglich, eine robuste Näherung gegen das Rauschen bereitzustellen, indem die Zustandsbeobachtungswerte, die in der vorliegenden Ausführungsform ein Zustandsbeobachtungswert von $s=3$ und ein Zustandsbeobachtungswert von $s=6$ sind, unter Verwendung mehrerer Messpunkte analysiert werden.

[0059] Wenn die Summe f_{all} von $f_{k,s}$ das ein Wert ist, der von jedem Zustandsbeobachter berechnet wird, die Gesamtanomalientendenz zeigt, kann eine Ähnlichkeit y_s mit jedem Zustandsbeobachter durch eine Gleichung (9) berechnet werden kann. f' gibt einen Abweichungsvektor vom Durchschnitt an. In der achten Gleichung wird nur die Summe der Werte berechnet, die von dem Zustandsbeobachter erlangt werden. In der vorliegenden Ausführungsform wird jedoch die Summe von zwei Fällen von $s = 3$ und $s = 6$ berechnet.

[Achte Gleichung]

$$f_{\text{all}} = \sum_S^T f_{k,S} \quad (8)$$

$$\gamma_s = \frac{\left(f'_{\text{all}}, f'_{S} \right)}{\| f'_{\text{all}} \| \| f'_{S} \|} \quad (9)$$

[0060] Wie in der Gleichung (9) gezeigt ist, werden der Anomaliegrad jedes Zustandsbeobachters und die Gesamtanomalientendenz in Form von Ähnlichkeit verglichen. Der Funktionsblock der Vorrichtung entsprechend dem Zustandsbeobachter s mit dem maximalen Absolutwert der Ähnlichkeit y_s wird als der Funktionsblock geschätzt, in dem die Ursache der Anomalie auftritt.

[0061] Als ein Verfahren zum Untersuchen der Ähnlichkeit wird in der vorliegenden Ausführungsform die Pearson-Produkt-Moment-Korrelation der Gleichung (9) verwendet. Jedoch können die Kosinusähnlichkeit, der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient, der Kendall-Rangkorrelationskoeffizient, eine Kreuzkorrelationsfunktion, DTW, ein KL-Abstand und dergleichen verwendet werden. Ferner kann die Beziehung zwischen f_{all} und $f_{k,s}$ als ein graphisches Modell betrachtet werden und eine Regularisierung kann eingeführt werden, um falsche Korrelationen oder schwache Korrelationen zu eliminieren.

[0062] Ferner kann die Ähnlichkeit zwischen der Gesamtanomalientendenz f_{all} und dem Anomaliegrad $f_{k,s}$ des tatsächlichen Sensors oder dem Steuereingabewert zum Ausführen des Analysefaktors einschließlich nicht nur des Funktionsblocks, sondern ebenso des tatsächlichen Sensors oder des Steuer-

eingabewerts, der die Anomalie verursacht, berechnet werden. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform kann die Ähnlichkeit y_s ebenso in einem Fall von $s = 1$, einem Fall von $s = 2$, einem Fall von $s = 4$ und einem Fall von $s = 5$ berechnet werden.

[0063] Informationen zum Spezifizieren der Ursache der Anomalie sind in der vorliegenden Ausführungsform die Ähnlichkeit y_s und Informationen bezüglich der Ähnlichkeit und können auf dem Anzeigeschnitt 111 angezeigt werden. Ein Teil (a) von Fig. 5 zeigt Informationen an, die auf dem Anzeigeschnitt 111 angezeigt werden. Gemäß diesen Informationen, da die Gesamtanomalientendenz fällt, werden der Anomaliegrad $f_{k,s}$ jedes Zustandsbeobachters, die Anomaliegrade $f_{k,s}$ der tatsächlichen Sensoren oder der Steuereingabewert und diese Ähnlichkeiten y_s angezeigt und ist es möglich, visuell die Funktion, den tatsächlichen Sensor oder dergleichen zu spezifizieren, die die Anomalie verursachen. Ferner, um die Anzeigehalte zu sortieren und zu verhindern, dass unnötige Informationen angezeigt werden, kann eine Anzeige durch Scrollen eingesetzt werden. Ein Teil (b) von Fig. 5 ist ein Anzeigebispiel in der vorliegenden Ausführungsform.

2. Operation der Anomalieerfassungsvorrichtung

[0064] Als nächstes wird die Operation der Anomalieerfassungsvorrichtung 100 in der vorliegenden Ausführungsform gemäß Fig. 6 bis Fig. 8 beschrieben werden. In dem Ablauf von Fig. 6 bis Fig. 8, wenn eine Verarbeitung oder Bestimmung in der letzten Stufe keine Verarbeitung oder Bestimmung in der früheren Stufe voraussetzt, kann die Reihenfolge der früheren Stufe und der letzten Stufe geändert werden. Ferner zeigen Fig. 6 bis Fig. 8 nicht nur das Anomalieerfassungsverfahren der Anomalieerfassungsvorrichtung 100, sondern ebenso eine Verarbeitungsprozedur eines Programms, das durch die Anomalieerfassungsvorrichtung 100 ausgeführt wird.

(1) Operation während des Lernens

[0065] Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm, das eine Operation während Lernens der Anomalieerfassungsvorrichtung 100 zeigt. Der Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt die Lernzieldata von unterschiedlichen Sensoren und dergleichen (S201). Der Signalerlangungsabschnitt 101 führt Verteilungsumwandlung für die Lernzieldata aus (S202). Der Lernzieldatenspeicherabschnitt 102 speichert die Lernzieldata nach der Verteilungsumwandlung (S203). Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 erzeugt den Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variable in der Eingangsvariablenkonfiguration (S204). Die Erzeugung des Zustandsbeobachters wird separat als eine Unterroutineverarbeitung gemäß Fig. 7 beschrieben. Der Normalmodellerzeu-

gungsabschnitt 106 berechnet den ersten Zustandsbeobachtungswert, der durch die Lernzieldata erlangt wird, die in den Zustandsbeobachter eingegebenen werden (S205). Der Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 kombiniert den ersten Zustandsbeobachtungswert und die Lernzieldata (S206). Der Normalmodellerzeugungsabschnitt 106 führt Zufallsabtastung basierend auf einer Kombination kombinierter Daten des ersten Zustandsbeobachtungswerts und der Lernzieldata aus (S207). Das konkurrierende neuronale Netzwerk des Normalmodellerzeugungsabschnitts 106 erzeugt den Schwellenwert basierend auf dem ersten Zustandsbeobachtungswert und den Lernzieldata (S208). Der Normalmodelparameterspeicherabschnitt 107 speichert den Schwellenwert des Normalmodels (S209).

(2) Erzeugungsoperation für Zustandsbeobachter

[0066] Fig. 7 ist ein Ablaufdiagramm der Unteroutine, das die Zustandsbeobachtererzeugungsoperation durch den Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 der Anomalieerfassungsvorrichtung 100 zeigt. Die Variablenkonfiguration wird in den Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 eingegeben (S301). Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 legt die Koeffizienten auf den Anfangswert unter Verwendung der Variable in der Eingangsvariablenkonfiguration fest und erzeugt den Zustandsbeobachter durch Kombinieren der Lernzieldata (S302). Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 bestimmt, ob die Anzahl der erzeugten Zustandsbeobachter Einzahl oder Mehrzahl ist (S303). Wenn die Anzahl Einzahl ist, werden die Koeffizient des Zustandsbeobachters und die Variablenkonfiguration in dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 gespeichert (S304) und die Verarbeitung endet. Wenn die Anzahl Mehrzahl ist, fährt die Verarbeitung mit S305 fort. Der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 bestimmt, ob die Anzahl der erzeugten Zustandsbeobachter zwei oder drei oder mehr ist (S305). Wenn die Anzahl zwei ist, fährt die Verarbeitung mit S306 fort. Wenn die Anzahl drei ist, fährt die Verarbeitung mit S307 fort. Wenn die Anzahl erzeugter Zustandsbeobachter zwei ist, maximiert der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 die Korrelation zwischen den zwei Zustandsbeobachtern (S306) und die Verarbeitung fährt mit S304 fort. Wenn die Anzahl erzeugter Zustandsbeobachter drei oder mehr ist, maximiert der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt 104 die Summe von Korrelationen zwischen den zwei Zustandsbeobachtern (S307) und die Verarbeitung fährt mit S304 fort.

(3) Operationen während der Überwachung und Faktorenanalyse

[0067] Fig. 8 ist ein Ablaufdiagramm, das Operationen der Anomalieerfassungsvorrichtung 100 wäh-

rend der Überwachung und der Faktorenanalyse zeigt. Der Signalerlangungsabschnitt 101 erlangt die Überwachungszieldata von den unterschiedlichen Sensoren und dergleichen (S401). Der Signalerlangungsabschnitt 101 liest den Verteilungsumwandlungsparameter von dem Zustandsbeobachterinformationsspeicherabschnitt 105 und führt die Verteilungsumwandlung an den Überwachungszieldata aus (S402). Der Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 berechnet den zweiten Zustandsbeobachtungswert, der von den Überwachungszieldata erlangt wird, die in den Zustandsbeobachter eingegeben werden (S403).

[0068] Der Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 kombiniert den zweiten Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldata (S404). Das konkurrierende neuronale Netzwerk des Anomaliegradberechnungsabschnitts 108 berechnet den Anomaliegrad aus den kombinierten Daten (S405). Der Bestimmungsabschnitt 109 berechnet das Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts, der von dem Normalmodelparameterspeicherabschnitt 107 gelesen wird, mit dem Anomaliegrad, der von dem Anomaliegradberechnungsabschnitt 108 ausgegeben wird (S406). Wenn der Anomaliegrad gleich oder kleiner als der Schwellenwert ist, wird ein Bestimmungsergebnis der Normalität ausgegeben (S407). Wenn der Anomaliegrad gleich oder größer als der Schwellenwert ist, wird ein Bestimmungsergebnis der Anomalie ausgegeben (S408). Wenn das Bestimmungsergebnis des Bestimmungsabschnitts 109 die Anomalie angibt (S408), spezifiziert der Faktorenanalyseabschnitt 110 die Ursache der Anomalie unter Verwendung des zweiten Zustandsbeobachtungswerts und der Überwachungszieldata, die die Bestimmung der Anomalie verursachen (S409).

(Fazit)

[0069] Die Merkmale der Anomalieerfassungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung wurden vorstehend beschrieben.

[0070] Da die Ausdrücke, die in jeder Ausführungsform verwendet werden, Beispiele sind, können die Ausdrücke durch Ausdrücke ersetzt werden, die synonym sind oder synonyme Funktionen beinhaltet.

[0071] Das Blockschaltbild, das für die Beschreibung der Ausführungsform verwendet wird, wird durch Klassifizieren und Anordnen der Konfigurationen der Anomalieerfassungsvorrichtung für jede Funktion erlangt. Diese Funktionsblöcke werden durch eine beliebige Kombination aus Hardware oder Software verwirklicht. Ferner, da die Funktionen gezeigt sind, kann das Blockschaltbild als Offenba-

rung des Verfahrens und des Programms, das das Verfahren implementiert, verstanden werden.

[0072] Die Reihenfolge von Funktionsblöcken, die als Verarbeitung verstanden werden können, eine Sequenz und ein Verfahren, die in Bezug auf jede Ausführungsform beschrieben sind, können geändert werden, es sei denn, es wird eine Einschränkung auferlegt, beispielsweise wird ein Ergebnis von einem Schritt in einem anderen Schritt verwendet.

[0073] Die in der Beschreibung jeder Ausführungsform und der Ansprüche verwendeten Begriffe „erste“ und „zweite“ dienen zum Unterscheiden von zwei oder mehr Konfigurationen und Verfahren derselben Art und schränken die Ordnung oder Überlegenheit oder Unterlegenheit nicht ein.

[0074] In der oben beschriebenen Ausführungsform wurde der Fall beschrieben, in dem die Anomalieerfassungsvorrichtung der vorliegenden Offenbarung an dem Fahrzeug montiert ist, das heißt, ein Fall der fahrzeuginternen Vorrichtung wurde beschrieben. Die Anomalieerfassungsvorrichtung kann jedoch an einer anderen Vorrichtung als dem Fahrzeug montiert oder mit der Vorrichtung verbunden sein.

[0075] Beispiele der Anomalieerfassungsvorrichtung beinhalten ein Fehlfunktionsdiagnosewerkzeug. Die Anomalieerfassungsvorrichtung ist jedoch nicht auf den Modus oder den Namen beschränkt. Beispiele der Anomalieerfassungsvorrichtung beinhalten als Teile oder Halbfertigprodukte einen Halbleiter, eine elektronische Schaltung, ein Modul oder eine ECU (elektronische Steuereinheit). Ferner umfassen die Beispiele als fertige Produkte einen Fahrtenrechner, ein Autonavigationssystem, ein Smartphone, einen Personalcomputer, ein Mobiltelefon und ein tragbares Informationsendgerät.

[0076] Die vorliegende Offenbarung wird nicht nur durch dedizierte Hardware mit einer Konfiguration und einer Funktion implementiert, die in Bezug auf jede Ausführungsform beschrieben sind. Die vorliegende Offenbarung kann auch als Kombination eines Programms zum Implementieren der vorliegenden Offenbarung, das auf einem Aufzeichnungsmedium wie einem Speicher und einer Festplatte aufgezeichnet ist, und einer Allzweck-Hardware, einschließlich einer dedizierten ECU oder einer Allzweck-CPU, eines Speichers oder dergleichen, die in der Lage sind, das Programm auszuführen, implementiert werden.

[0077] Ein Programm kann in einem nichtflüchtigen greifbaren Speichermedium, einschließlich eines externen Speichers (z. B. Festplatte, USB-Speicher, CD/BD) oder eines internen Speichers (z. B. RAM,

ROM) in einer Spezial-Hardware oder Allzweck-Hardware (z. B. Computer) gespeichert sein. Ein solches Programm kann über eine Kommunikationsverbindung von einem Server auf das Speichermedium in der Hardware heruntergeladen werden. Dadurch ist es möglich, durch Aktualisieren des Programms immer eine aktuelle Funktion bereitzustellen.

(Industrielle Anwendbarkeit)

[0078] Die Anomalieerfassungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung kann nicht nur zur Verwendung im Fahrzeug verwendet werden, sondern auch zur Anomalieerfassung verschiedener Vorrichtungen.

Patentansprüche

1. Anomalieerfassungsvorrichtung (100), aufweisend:

einen Signalerlangungsabschnitt (101), der konfiguriert ist, um Lernzieldaten und Überwachungszieldaten zu erlangen;

einen Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt (104), der konfiguriert ist, um einen Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration zu erzeugen;

einen Normalmodellerzeugungsabschnitt (106), der konfiguriert ist, um einen Schwellenwert durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernzieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernzieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrierendes neuronales Netzwerk zu erzeugen;

einen Anomaliegradberechnungsabschnitt (108), der konfiguriert ist, um einen Anomaliegrad durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk zu berechnen; und

einen Bestimmungsabschnitt (109), der konfiguriert ist, um ein Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad zu berechnen.

2. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei:

der Zustandsbeobachter konfiguriert ist, um eine Funktion einer Vorrichtung, die durch die Anomalieerfassungsvorrichtung (100) zu erfassen ist, oder einen Fehlfunktionsmechanismus der Vorrichtung zu reflektieren.

3. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei:

die Variable in der Variablenkonfiguration eine Funktion einer Vorrichtung, die durch die Anomalieerfas-

sungsvorrichtung (100) zu erfassen ist, oder ein Faktor eines Fehlfunktionsmechanismus der Vorrichtung ist.

4. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei:

der Zustandsbeobachtererzeugungsabschnitt (104) konfiguriert ist, um den Zustandsbeobachter durch lineares Kombinieren der Variablen in der Variablenkonfiguration und Eingeben der Lernieldaten zu erzeugen.

5. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, ferner aufweisend:

einen Eingabeabschnitt, der konfiguriert ist, um die Variablenkonfiguration einzugeben.

6. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei:

der Zustandsbeobachter einen ersten Zustandsbeobachter und einen zweiten Zustandsbeobachter beinhaltet; und

eine Korrelation zwischen dem ersten Zustandsbeobachter und dem zweiten Zustandsbeobachter maximiert ist.

7. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei:

der Zustandsbeobachter einen ersten Zustandsbeobachter, einen zweiten Zustandsbeobachter und einen dritten Zustandsbeobachter beinhaltet; und eine Summe einer ersten Korrelation zwischen dem ersten Zustandsbeobachter und dem zweiten Zustandsbeobachter, einer zweiten Korrelation zwischen dem zweiten Zustandsbeobachter und dem dritten Zustandsbeobachter und einer dritten Korrelation zwischen dem dritten Zustandsbeobachter und dem ersten Zustandsbeobachter maximiert ist.

8. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 6 oder Anspruch 7, wobei:

der erste Zustandsbeobachter ein Antriebssystemzustandsbeobachter für ein Antriebssystem eines Automobils ist;

der zweite Zustandsbeobachter ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachter für ein Verhältnis von Luft und Kraftstoff ist, die einer Brennkraftmaschine zugeführt werden;

die Variablenkonfiguration des Antriebssystemzustandsbeobachters als die Variable eine Brennkraftmaschinenrotationsgeschwindigkeit und eine Turbinenrotationsgeschwindigkeit beinhaltet; und

die Variablenkonfiguration des Luft-Kraftstoff-Verhältnis-System-Zustandsbeobachters als die Variable eine Sauerstoffsensorspannung und einen Luft-Kraftstoff-Verhältnis-Sensorstrom beinhaltet.

9. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, ferner aufweisend:

einen Faktoreanalyseabschnitt (110), der konfiguriert

ist, um eine Ursache einer Anomalie unter Verwendung des zweiten Zustandsbeobachtungswerts und der Überwachungszieldaten zu spezifizieren, die eine Bestimmung verursachen, die Anomalie angibt, wenn das Bestimmungsergebnis die Anomalie angibt.

10. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 9, wobei:

der Faktoreanalyseabschnitt konfiguriert ist, um die Ursache der Anomalie zu spezifizieren, indem er ferner den zweiten Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldaten verwendet, die zeitlich früher und/oder später als der zweite Zustandsbeobachtungswert und die Überwachungszieldaten sind, die die Bestimmung der Anomalie verursachen.

11. Anomalieerfassungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 9, ferner aufweisend:

einen Anzeigeabschnitt (111), der konfiguriert ist, um Informationen zum Spezifizieren der Ursache der Anomalie anzuzeigen.

12. Anomalieerfassungsverfahren, umfassend:

Erlangen von Lernieldaten (S201);

Erzeugen eines Zustandsbeobachters unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration (S204);

Erzeugen eines Schwellenwerts durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrenzendes neuronales Netzwerk (S205, S206, S208);

Erlangen von Überwachungszieldaten (S401);

Berechnen des Anomaliegrads durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrenzende neuronale Netzwerk (S403, S404, S405); und

Berechnen eines Bestimmungsergebnisses durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad (S406, S407, S408).

13. Anomalieerfassungsprogramm, das durch einen Computer ausführbar ist, wobei das Programm konfiguriert ist, um:

Lernieldaten zu erlangen (S201);

einen Zustandsbeobachter unter Verwendung einer Variablen in einer Eingangsvariablenkonfiguration zu erzeugen (S204);

einen Schwellenwert durch Kombinieren eines ersten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Lernieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Lernieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in ein konkurrenzendes

des neuronales Netzwerk zu erzeugen (S205, S206, S208);
Überwachungszieldaten zu erlangen (S401);
den Anomaliegrads durch Kombinieren eines zweiten Zustandsbeobachtungswerts, der durch Eingeben der Überwachungszieldaten in den Zustandsbeobachter erlangt wird, und der Überwachungszieldaten und Eingeben eines kombinierten Ergebnisses in das konkurrierende neuronale Netzwerk zu berechnen (S403, S404, S405); und
ein Bestimmungsergebnis durch Vergleichen des Schwellenwerts mit dem Anomaliegrad zu berechnen (S406, S407, S408).

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

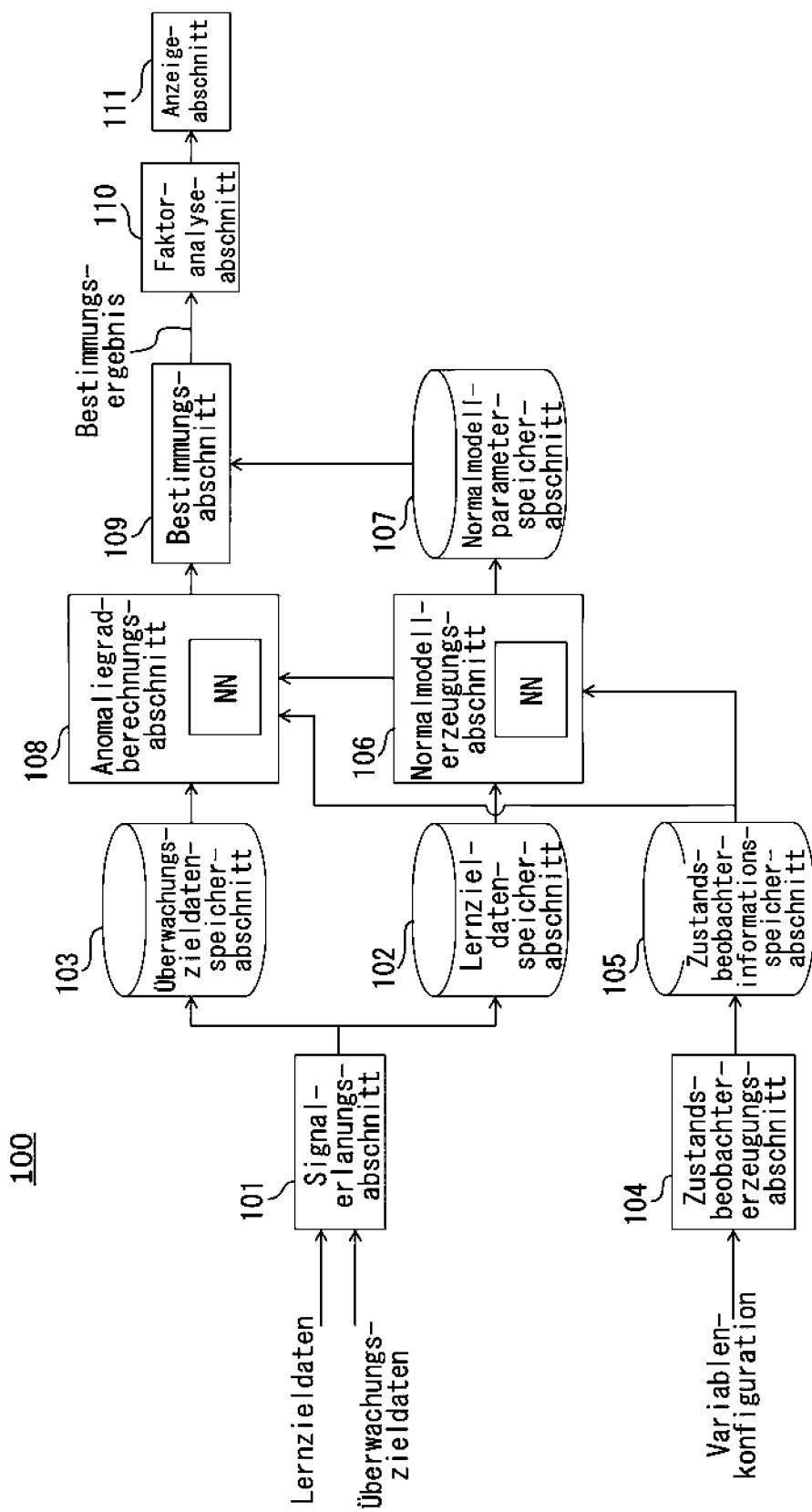
FIG. 1

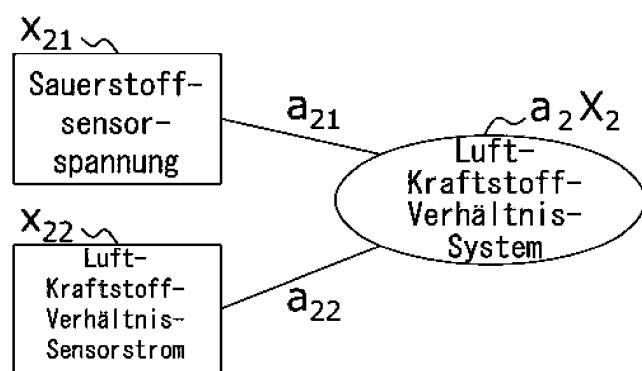
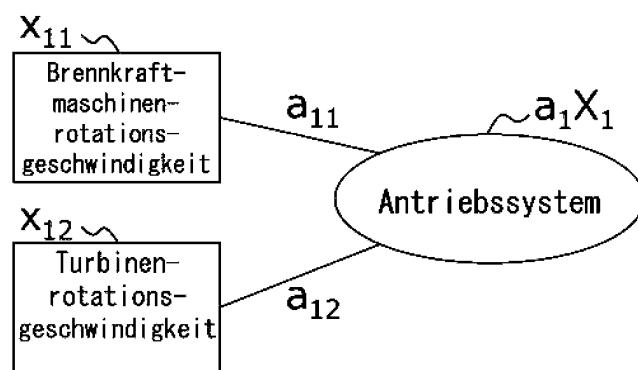
FIG. 2

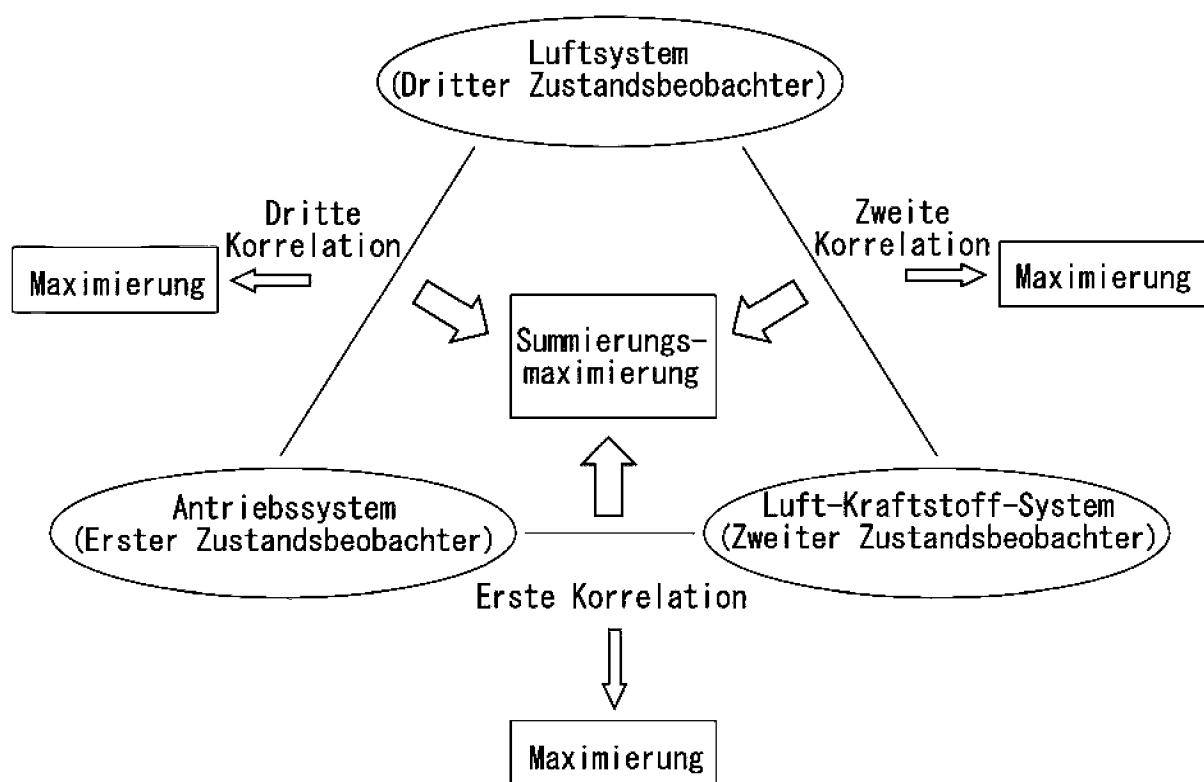
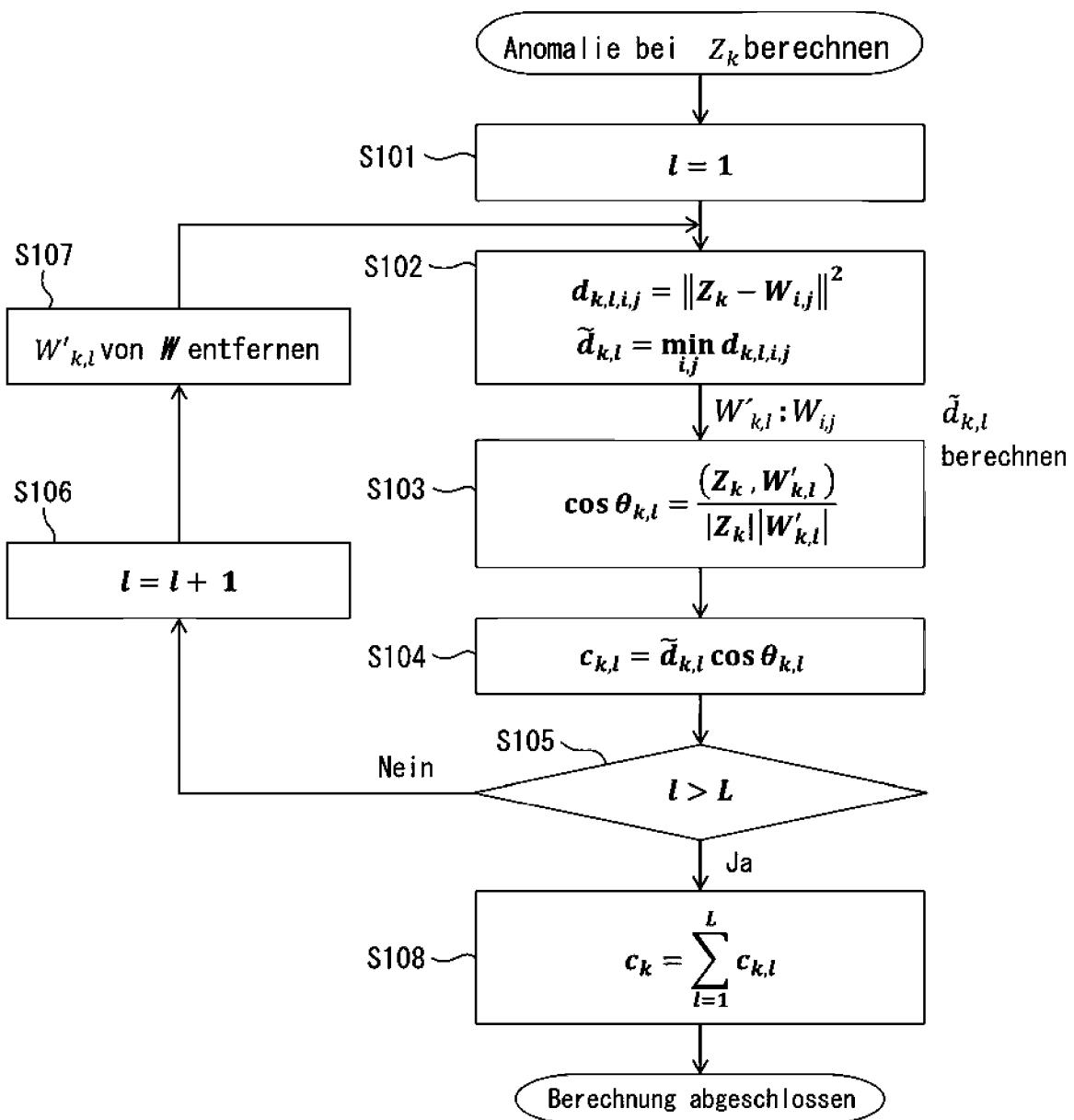
FIG. 3

FIG. 4

$$\mathbf{W} = (W_{1,1}, \dots, W_{1,M}, W_{2,1}, \dots, W_{i,j}, \dots, \dots, W_{N,M})$$

$$W_{i,j} = (W_{i,j,1}, W_{i,j,2}, \dots, W_{i,j,X})$$

$$Z_k = (Z_{k,1}, Z_{k,2}, \dots, Z_{k,X})^T$$

k : Messzeit

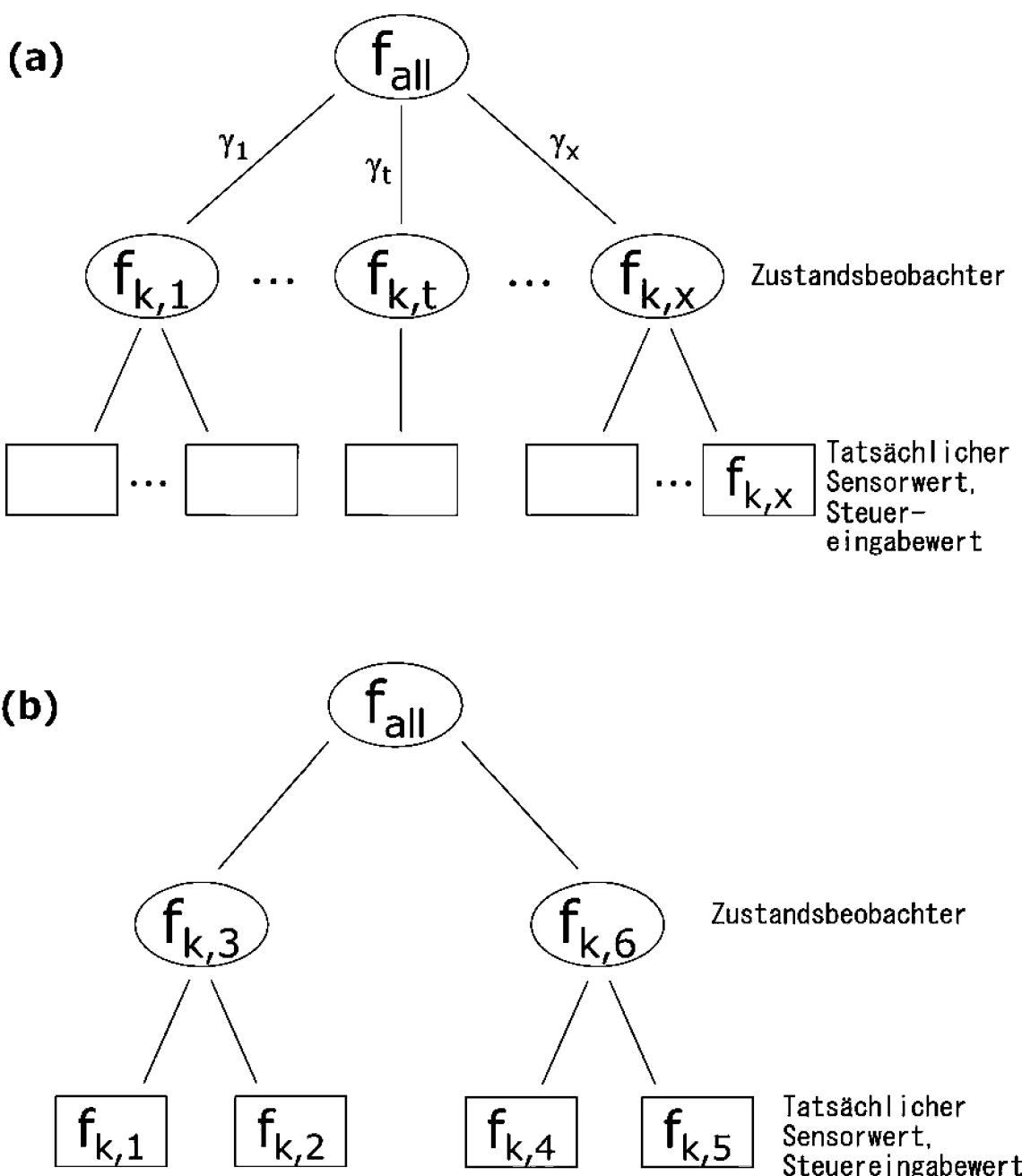
FIG. 5

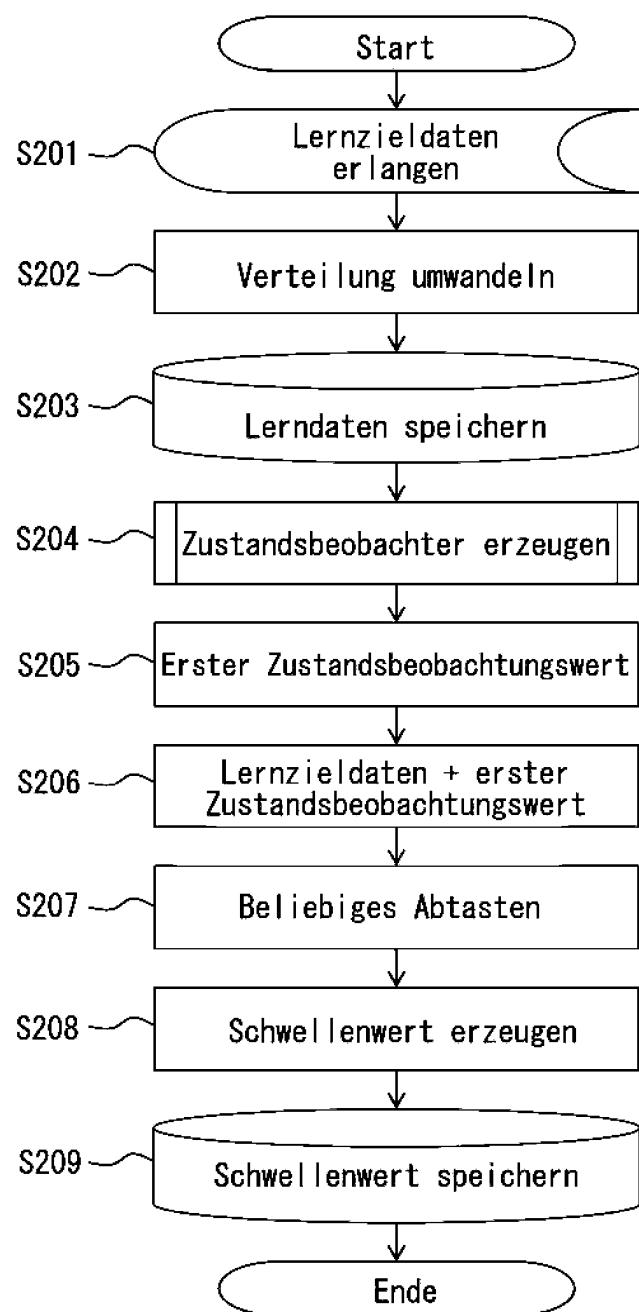
FIG. 6

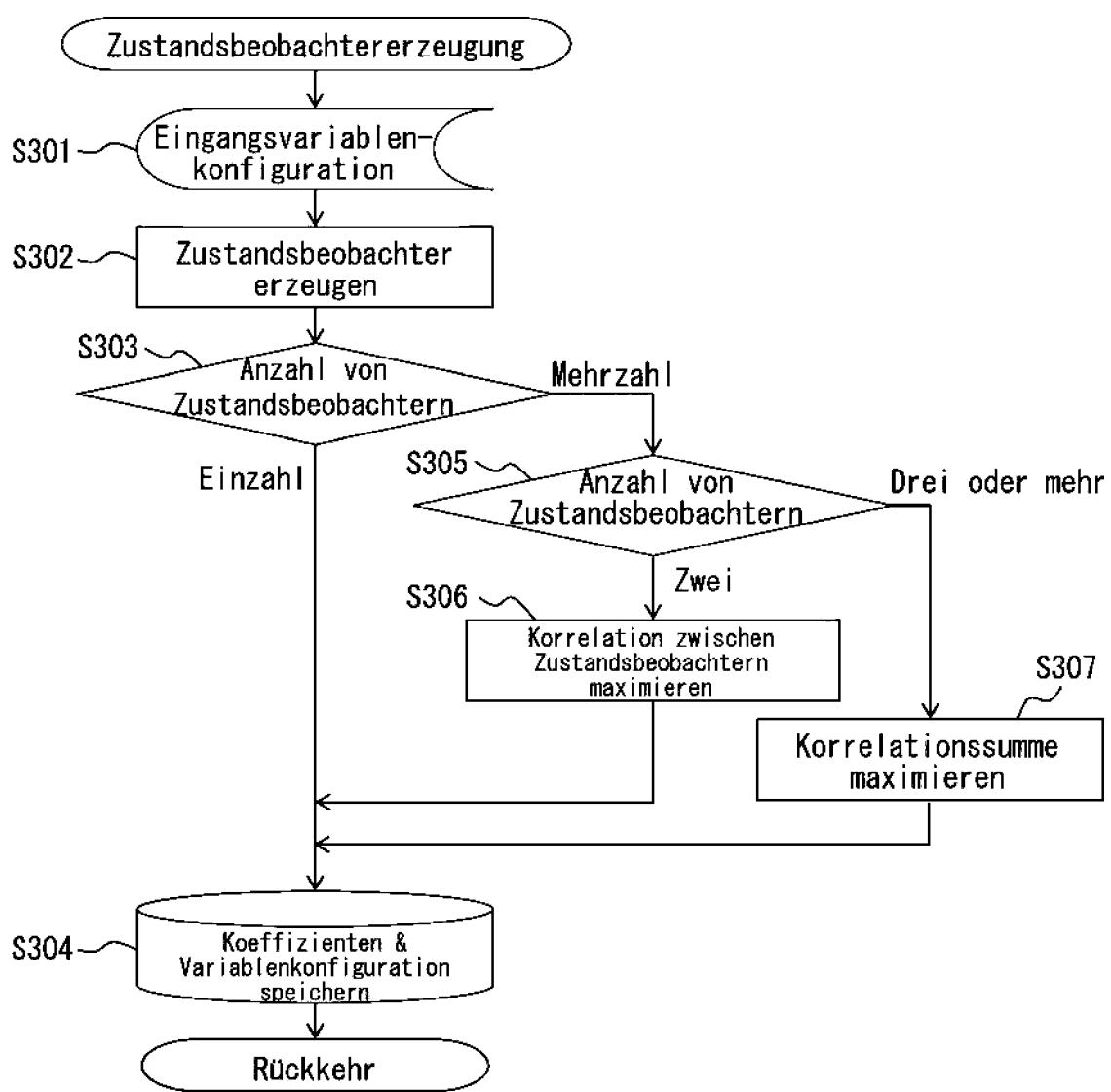
FIG. 7

FIG. 8