



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 44 36 658 B4 2004.02.12**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 44 36 658.2**
 (22) Anmeldetag: **13.10.1994**
 (43) Offenlegungstag: **20.04.1995**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **12.02.2004**

(51) Int Cl.7: **G07C 3/00**
G01D 21/00, G06F 17/15, G01D 18/00
 // **G01D 1/18**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
5-255462 13.10.1993 JP

(71) Patentinhaber:
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Beetz & Partner, 80538 München

(72) Erfinder:
Kayama, Masahiro, Hitachi, Ibaraki, JP; Morooka, Yasuo, Hitachi, Ibaraki, JP; Sugita, Yoichi, Hitachi, Ibaraki, JP; Nakajima, Masaaki, Hitachi, Ibaraki, JP

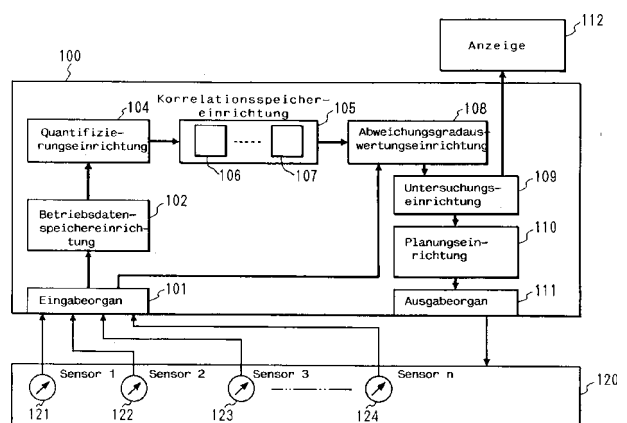
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 43 10 279 A1
DE 41 00 501 A1
DE 39 29 404 A1

DE 35 05 818 A1
WO 90 16 048 A1
REINISCH, K.: Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme. VT Berlin 1974, S. 138-141;
REINISCH, K.: Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. VT Berlin 1979, S. 111-119;
SCHÖLTZEL, P.: Einführung in die Korrelations-Meßtechnik. In: Elektronik 1971, Heft 2, S. 39-42;
Bonfig, K. u.a.: Prozeßüberwachung und Fehlerdiagnose an Maschinen, In: mpa 3/87, S. 134-143;
Baldeweg, F. u.a.: Zur Anwendung assoziativer Neuronennetze für die Diagnose und Therapiesteuerung, In: mst 6/89, S. 245-248;

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Störungsuntersuchung**

(57) Hauptanspruch: Störungsuntersuchungsvorrichtung (100) zur Untersuchung eines zu untersuchenden Objekts (120), das mit mehreren Sensoren (121-124) versehen ist, die Betriebssignale ausgeben und zu mehreren Gruppen zusammengefasst sind, mit einer Speichereinrichtung (102) zum Speichern der von den Sensoren ausgegebenen Betriebssignale, einer Quantifizierungseinrichtung (104) zum Erzeugen eines Gruppenquantifizierungsvektors zu jeder Gruppe der Sensoren (121-124) aus den Betriebssignalen, die unter normalen Bedingungen des Objektes aufgenommen wurden, so dass die Quantifizierungsvektoren die Beziehung zwischen den Betriebssignalen der Sensoren (121-124) einer Gruppe darstellen, einer Korrelationsspeichereinrichtung (105) zum Speichern der Quantifizierungsvektoren jeder Gruppe von Sensoren (121-124); einer Abweichungsgradauswertungseinrichtung (108) zum Bestimmen eines Abweichungsgrades einer jeden Gruppe von Sensoren (121-124) durch Vergleichen vorliegender Betriebssignale dieser Gruppe von Sensoren mit den Quantifizierungsvektoren dieser Gruppe von Sensoren (121-124); und einer Untersuchungseinrichtung (109) zum Untersuchen der Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors (121-124) auf Grundlage der von der Abweichungsgradauswertungseinrichtung (108) erhaltenen Abweichungsgrade, die ein Netz

mit Synapsen und einer vorgegebenen Wichtungsfunktion umfasst.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Störungsuntersuchung bei einem Kontrollsystem mit einer Mehrzahl von Sensoren für ein Stahlwerk, Kraftwerk oder Industrieanlagen allgemein, insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren, mit dem verschlechterte Sensoren bestimmt werden können, deren Meßgenauigkeit aufgrund von Alterung abnimmt, wobei der normale Betrieb jedes einzelnen Sensors angezeigt wird.

Stand der Technik

[0002] Bei einem herkömmlichen Sensoruntersuchungsverfahren wird ein verschlechterter Sensor anhand der von Natur aus zwischen Sensoren vorhandenen Anzeigegrößenzusammenhang bestimmt, wie in "Diagnosis by Using an Immune Network Information Model (in japanischer Sprache)" von Ishida, Proceedings of a Symposium on the Third Autonomous Distributed System, Januar 1992, beschrieben. Bei einem weiteren, in der offengelegten japanischen Patentanmeldung Nr. 35 329/1993 beschriebenen herkömmlichen Verfahren wird ein verschlechterter Sensor erfaßt, indem ein Ausgabesignal des Sensors mit einer vorgegebenen funktionellen Beziehung zwischen Sensorausgabesignalen verglichen wird.

[0003] Die oben genannten herkömmlichen Verfahren haben folgenden Nachteil: Obwohl ein verschlechterter Sensor durch diese Verfahren leicht zu erfassen ist, wenn ein Objektkontrollsystem so einfach ist, daß die Anzeigegrößenzusammenhang oder die funktionelle Beziehung zwischen Ausgabesignalen der Sensoren klar bestimmt ist, sind die Verfahren nicht anwendbar, wenn die Anzeigegrößenzusammenhang oder funktionelle Beziehung kompliziert und schwer zu ermitteln sind.

[0004] Aus dem Artikel "Prozessüberwachung und Federdiagnose an Maschinen" von Bonfig und anderen in "MTA Fachartikel", Messen, Prüfen, Automatisieren, März 1987, Seite 134 ff., sind Methoden der Fehlererkennung bekannt. Informationen über den Prozesszustand werden aus Korrelationen der Messdaten mit den zu überwachenden Maschinen – Prozessparametern gewonnen. Es können auch mehrere Messsignale gleichzeitig ausgewertet werden, wobei hier auch Verfahren der künstlichen Intelligenzanwendung Anwendung finden können. Insbesondere können als Muster N-dimensionale Zustandsvektoren betrachtet und ausgewertet werden. Ebenso werden Expertensysteme oder Modelle zur Fehlererkennung vorgeschlagen.

[0005] Der Artikel "zur Anwendung assoziativer Neuronennetze für die Diagnose und Therapiesteuerung" von Baldeweg und anderen in "msr", 1989, Seiten 245 und folgende beschreibt die Modellierung eines technologischen Systems durch einen Zustandsvektor mit n-Dimensionen. Jeder einzelne Zustand lässt sich durch ein spezielles Neuron erkennen.

[0006] Die DE 39 29 404 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erkennen und Identifizieren von Fehlern an Sensoren. Das Verfahren enthält die Schritte des Bestimmens von Validierungsvektoren, eines Paritätsvektors und der Bildung einer Detektionsfunktion. Bei Vorhandensein eines Fehlers werden Lokalisierungsfunktionen berechnet und eine maximale Lokalisierungsfunktion bestimmt. Ein fehlerhaftes Sensorsignal wird Bezug nehmend auf die gewonnenen Ergebnisse rekonfiguriert.

[0007] Die DE 41 00 501 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Einrichtung zum Erkennen von Fehlern an Sensoren für Zustandsgrößen. Auch hier werden Merkmalsvektoren und ein Paritätsvektor bestimmt. Außerdem wird eine Assoziationsmatrix und ein Klassifikationsvektor bestimmt, und ein Sensorsignal wird unter Berücksichtigung des Klassifikationsvektors rekonfiguriert.

[0008] Die DE 35 05 818 A1 beschreibt eine Überwachungs- und Kontrolleinrichtung für Schaltgeräte zur Gewinnung einer flexiblen Warungsanzeige werden Einflußgrößen, die die erforderlichen Wartungsintervalle beeinflussen, durch geeignete Mittel erfasst, miteinander verknüpft, gewichtet und mit einem vorgegebenen Verhaltensmuster verglichen.

[0009] Die DE 43 10 279 A1 beschreibt eine Signalverarbeitungsvorrichtung zur Auswertung von Prüfdaten. Ein Signalprozessor in Form eines neuronalen Netzwerkaufbaus ist zur automatischen Analyse durch einen Fehlerdetektor erhaltenen Prüfdaten vorgesehen. Ein erstes neuronales Netzwerk unterscheidet Fehler von anderen Signalen. Ein zweites neuronales Netzwerk führt eine quantitative Auswertung des Fehlers durch.

[0010] Aus der WO 90/16048 ist ein Verfahren zur Überwachung des Betriebszustands eines Systems bekannt. Mehrere Zustandsvariablen werden mehrfach gemessen, um entsprechende Messdaten zusammenzutragen, die zur Bildung einer Referenzklasse entsprechend einem bestimmten Betriebszustand statistisch bearbeitet werden. Eine Gruppe von Messdaten dient als Lärmgruppe. Durch lineare Projektion auf ein neues Koordinatensystem mit weniger Koordinatenachsen wird eine Anpassung vorgenommen.

[0011] Aus dem Buch "kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme" von Reinisch sind Eigenschaften automatisch lernender Systeme bekannt (S. 138 ff).

[0012] Aus dem Buch "Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme" von Reinisch sind Verfahren zur experimentellen Identifikation kontinuierlicher Systeme bekannt (S. 111 ff).

[0013] Im Artikel "Einführung in die Korrelations-Meßtechnik" von Schöltzel, Elektronik 1971, Heft 2, S. 39 ff,

sind Korrelationsverfahren zur Auswertung von Signalfunktionen beschrieben. Es werden hier die Übertragungseigenschaften eines linearen im Zeit- oder Frequenzbereich betrachtet. Eine Kreuzkorrelation zwischen Anregungsrauschen und Systemantwort wird abgehandelt.

Aufgabenstellung

[0014] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, eine Untersuchungsvorrichtung und ein Untersuchungsverfahren anzugeben, mit denen unter einer Anzahl von in einem Kontrollsystem vorgesehenen Sensoren verschlechterte Sensoren leicht erfaßt werden können, auch wenn die zwischen den Ausgabesignalen der Sensoren bestehenden Korrelationen kompliziert sind.

[0015] Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren wie in den unabhängigen Ansprüchen definiert gelöst. Abhängige Ansprüche sind auf vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gerichtet.

[0016] Das Verfahren umfaßt die Schritte des Speicherns von Signalen, die von einer Mehrzahl von an einem zu kontrollierenden Objekt angebrachten Sensoren ausgegeben werden, des Bildens von Gruppen von Quantifizierungsvektoren, die als Merkmalsvektoren erhalten werden und Korrelationen unter den von jeder der vorgegebenen Gruppen ausgegebenen Signale darstellen, wobei die in einer Speichereinrichtung gespeicherten Signale verwendet werden, des Speicherns jeder zu einer Gruppe von Sensoren gehörenden Gruppe von Quantifizierungsvektoren, des Bestimmens eines Abweichungsgrads jeder Gruppe von Sensoren durch Vergleichen von vorliegenden Signalen jeder Gruppe von Sensoren und der der Gruppe von Sensoren entsprechenden Gruppe von Quantifizierungsvektoren und des Ermitteln verschlechterter Sensoren aus der Mehrzahl von Sensoren auf Grundlage der erhaltenen Abweichungsgrade.

[0017] Eine Quantifizierungseinrichtung zum Bilden der Gruppen von Quantifizierungsvektoren umfaßt ein Quantifizierungsnetz mit einer Mehrzahl von Quantifizierungsneuronen und diese miteinander verbindenden Synapsen, entsprechend jeder Gruppe von Sensoren. Eine Gewichtungserneuerungseinrichtung erneuert die Gewichtungen der Synapsen unter Verwendung der von jeder Gruppe von Sensoren zeitlich nacheinander eingegeben Signale.

[0018] Sätze der für jedes Quantifizierungsnetz bestimmten Synapsengewichtungen werden als Quantifizierungsvektoren definiert. Die erzeugten Quantifizierungsvektoren werden in einer Korrelationsspeichereinrichtung gespeichert.

[0019] Ein Abweichungsgradauswertungseinrichtung sucht den Quantifizierungsvektor, der einem von dem vorliegenden Signal jeder Sensorgruppe gebildeten Zustandsvektor am nächsten liegt und ermittelt den Abweichungsgrad der Sensorgruppe auf Grundlage eines Abstands zwischen dem ermittelten Quantifizierungsvektor und dem Zustandsvektor der vorliegenden Signale.

[0020] Eine Untersuchungseinrichtung zum Untersuchen der verschlechterten Sensoren bestimmt die Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors auf Grundlage der von der Abweichungsgradauswertungseinrichtung erhaltenen Abweichungsgrade.

Ausführungsbeispiel

[0021] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Figuren. Es zeigen:

[0022] **Fig. 1** den Aufbau einer erfindungsgemäßen Störungsuntersuchungsvorrichtung,

[0023] **Fig. 2** den Aufbau einer Betriebsdatenspeichereinrichtung der Störungsuntersuchungsvorrichtung,

[0024] **Fig. 3** den Aufbau einer Quantifizierungseinrichtung der Störungsuntersuchungsvorrichtung,

[0025] **Fig. 4** den Verarbeitungsablauf in einer Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung in der Quantifizierungseinrichtung,

[0026] **Fig. 5** den Aufbau einer Korrelationsspeichereinrichtung der Störungsuntersuchungsvorrichtung,

[0027] **Fig. 6** den Verarbeitungsablauf in einer Abweichungsgradauswertungseinrichtung,

[0028] **Fig. 7** den Aufbau einer Untersuchungseinrichtung in der Störungsuntersuchungsvorrichtung,

[0029] **Fig. 8** den Verarbeitungsablauf in einer Untersuchungsverarbeitungseinrichtung,

[0030] **Fig. 9** eine Ausgestaltung einer Störungsuntersuchungsvorrichtung für ein verteiltes System,

[0031] **Fig. 10** eine Ausgestaltung einer Störungsuntersuchungsvorrichtung mit einer Schalteinrichtung zum Umschalten der Verarbeitungsarten.

[0032] Im folgenden werden Details der vorliegenden Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen erläutert. Obwohl bei jedem Ausführungsbeispiel die Sensorgruppen jeweils aus einem Paar von Sensoren bestehen, ist der Betrieb der Ausführungsbeispiele derselbe wie bei einer Vorrichtung oder einem Verfahren, bei dem die Sensorgruppen aus mehr als zwei Sensoren bestehen.

[0033] **Fig. 1** zeigt den Aufbau einer Störungsuntersuchungsvorrichtung **100**. Eine Betriebsdatenspeichereinrichtung **102** speichert Ausgabesignale von n Sensoren (Sensor 1, Sensor 2, Sensor 3, ..., Sensor n), die an einem zu kontrollierenden Objekt **120** angebracht sind, über ein Eingabeorgan **101** entsprechend der zeitlichen

Steuerung des Betriebs des zu kontrollierenden Objekts **120**.

[0034] **Fig. 2** zeigt ein Beispiel für die Struktur der in der Betriebsdatenspeichereinrichtung **102** gespeicherten Daten, wobei die Daten von Sensor 1 bis Sensor n in zeitlicher Reihenfolge von bis zu m Schritten gespeichert werden.

[0035] Eine in **Fig. 3** dargestellte Quantifizierungseinrichtung ermittelt die Korrelationen zwischen den Ausgabesignalen der Sensoren unter Verwendung einer in der Betriebsdatenspeichereinrichtung **102** gespeicherten Datenbank. Die ermittelten Korrelationen für jedes Sensorpaar werden in der Sensorkorrelationsspeichereinrichtung **106 – 107** in einer Korrelationsspeichereinrichtung **105** gespeichert. Eine Abweichungsgradauswertungseinrichtung **108** ermittelt einen Abstand zwischen einem von den vorliegenden Ausgabesignalen eines jeden Sensorpaars gebildeten Zustandsvektors und dem entsprechenden Quantifizierungsvektor, der die in den Normalzuständen eines jeden Paares von Sensoren 1 bis n erhaltene Korrelation darstellt, indem die in der Korrelationsspeichereinrichtung **105** gespeicherten Daten und die vom Eingabeorgan **101** bezogenen vorliegenden Ausgabesignale eines jeden Sensorpaars verglichen werden. Eine Untersuchungseinrichtung **109** beurteilt auf Grundlage der für jedes Sensorpaar und die entsprechenden vorliegenden Ausgabesignale erhaltenen Abstände, ob das vorliegende Ausgabesignal eines jeden Sensors normal ist.

[0036] Wenn eine Anomalität oder Abweichung erfaßt wird, gibt die Untersuchungseinrichtung **109** einen Sensor an, der den abweichenden Wert anzeigt und zeigt die Nummer des Sensors oder dergleichen auf einer Anzeigeeinrichtung **110** an. Eine Planungseinrichtung **110** zur Planung von Gegenmaßnahmen gegen die Abweichung wird nach Bedarf aufgerufen und ein Ausgabesignal der Planungseinrichtung **110** wird zum zu kontrollierenden Objekt **120** geschickt.

[0037] **Fig. 3** zeigt ein Beispiel für den Aufbau der Quantifizierungseinrichtung **104**, die ein Quantifizierungsnetzwerk **301** und eine Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung **302** enthält. Es ist zwar im Quantifizierungsnetzwerk **301** ein Korrelationsnetzwerk für jedes Sensorpaar vorgesehen, und ein Beispiel für das Quantifizierungsnetzwerk für das Sensorpaar mit den Sensoren 1 und 2 ist in **Fig. 3** dargestellt, doch können auch mehrere Paare von Sensoren ein Korrelationsnetzwerk gemeinsam haben. Das Korrelationsnetzwerk umfaßt eine Eingabeschicht **303**, die aus Eingabeneuronen **305**, in die jeweils ein erfaßtes Signal I1 vom Sensor **1** bzw. das erfaßte Signal I2 vom Sensor **2** eingegeben werden, und einem Schwellwertneuron **306** aufgebaut ist, das einen konstanten Wert (1 in **Fig. 3**) ausgibt, eine Quantifizierungsneuronenschicht **304**, die aus einer Mehrzahl von Quantifizierungsneuronen **307** besteht, sowie Synapsen **308**, die Signale zwischen der Eingabeschicht **303** und der Quantifizierungsneuronenschicht **304** übertragen.

[0038] Aus Gleichung 1 erhaltene Ergebnisse O_j ($j=1, \dots, N$) werden von der Quantifizierungsneuronenschicht **304** an die Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung **302** ausgegeben, wobei W_{ij} gepaarte Gewichtungen der mit jedem Quantifizierungsneuron **307** verbundenen Synapsen **308** sind:

$$O_j = \sum_{i=1}^3 W_{ij} I_i; \quad (j=1; \dots, N) \quad \dots \dots (1).$$

[0039] **Fig. 4** zeigt ein Flußdiagramm der von der Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung durchgeführten Verarbeitung. Im Schritt S4-0 werden die Gewichtungswerte W_{ij} der Synapsen **308** initialisiert, indem ihnen im Intervall der möglichen Ausgabewerte der Sensoren zufällig verteilte Werte zugewiesen werden.

[0040] Dies kann geschehen, indem die Mittelwerte a_i von bekannten Meßdaten, z.B. den in der Betriebsdatenspeichereinrichtung gespeicherten Zeitreihendaten I_{ik} , $k = 1, \dots, m$ für die betreffenden Sensoren gebildet werden, und die Anfangswerte der Gewichtungen W_{ij} aus diesen durch Addition kleiner zufällig um Null verteilter Werte Δ_{ij} bestimmt werden:

$$a_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m I_{ik}$$

$$W_{ij} = a_i + \Delta_{ij}, \quad j = 1, \dots, N.$$

[0041] Im Schritt S4-1 werden zu jedem Sensorpaar die entsprechenden Daten aus der Betriebsdatenspeichereinrichtung **102** ausgewählt. Wenn eine Korrelation zwischen den Betriebsdaten der Sensoren 1 und 2 bestimmt wird, werden Datenpaare (0,1584, 0,2681) aus dem ersten Satz von Zeitreihendaten, (0,0369, 0,03281) aus dem zweiten Satz von Zeitreihendaten usw. wie in **Fig. 2** gezeigt ausgewählt und in dieser Reihenfolge in das Korrelationsnetzwerk eingegeben. Im Schritt S4-2 werden Ausgabewerte $O_1 - O_N$ durch Anwendung von Gleichung 1 auf jedes Quantifizierungsneuron **307** erhalten. Im Schritt S4-3 wird das Quantifizierungsneuron mit dem größten Ausgabewert unter den Werten $O_1 - O_N$ ausgesucht. Wenn der Ausgabewert O_j der maximale

Wert ist; wird das dem Neuron j entsprechende Gewichtungspaar (W_{1j} , W_{3j}) erneuert. Das Korrelationsnetzwerk lernt, indem die Gewichtungspaare (W_{1j} , W_{2j}) der den Eingabeneuronen entsprechenden Synapsen anhand von Gleichung 2 und die Gewichtungen W_{3j} der dem Schwellwertneuron **306** entsprechenden Synapse anhand von Gleichung 3 erneuert werden.

$$\dot{W}_{ij} = W_{ij} + \alpha (I_i - W_{ij}), \quad (i=1, 2) \quad \dots (2)$$

$$\dot{W}_{3j} = - (\sum_{i=1}^2 W_{ij}^2) / 2 \quad \dots (3),$$

wobei α eine Konstante ist. Wesentlich ist bei dem Verfahren zur Erneuerung der Gewichtung der Synapsen, daß die Korrelation zwischen den Vektoren (W_{1j} , W_{2j}) und (I_1 , I_2) erhöht wird, und eine solche Erneuerung kann auch mit anderen als dem auf den Gleichungen (2) und (3) basierenden Verfahren durchgeführt werden.

[0042] Im Schritt S4-5 wird das Verfahren beendet, wenn die vorgegebene Anzahl von Wiederholungen der Prozeduren von Schritt S4-1 bis S4-4 durchgeführt worden ist oder alle Gewichtungserneuerungsbeträge der Synapsen den vorgegebenen Wert für ein aus der Betriebsdatenspeichereinrichtung **102** hereingenommenes Datenaar unterschreiten. Wenn der Prozeß nicht beendet ist, kehrt er zurück zum Schritt S4-1, und die oben genannten Prozeduren werden unter Verwendung des nachfolgenden Datenpaares wiederholt. Nach Beendigung des Prozesses werden m Paare von Sensordaten durch N Paare von Synapsengewichtungen für die Quantifizierungsneuronen dargestellt.

[0043] Zwar werden bei der Quantifizierungseinrichtung **104** dieser Ausgestaltung in der Prozeßdatenspeichereinrichtung **102** gespeicherte Daten verwendet, doch können auch von den Sensoren ausgegebene Signale verwendet werden, indem die Signale in Echtzeit nacheinander bearbeitet werden.

[0044] In Fig. 5 ist der Aufbau der Korrelationsspeichereinrichtung **105** gezeigt. Die Korrelationsspeichereinrichtung **105** speichert die Verarbeitungsergebnisse der Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung **302**. In der Sensorkorrelationsspeichereinrichtung **106** der Fig. 5 ist die Korrelation zwischen den Ausgabesignalen der Sensoren 1 und 2 in Form von Quantifizierungsvektoren (einem Satz von Synapsengewichtungspaaren (W_{1j} , W_{2j}), $j = 1, \dots, N$) gespeichert. Die Sensorkorrelationsspeichereinrichtung **107** speichert die Korrelation zwischen den Ausgabesignalen der Sensoren n und n-1 in Form von Quantifizierungsvektoren, die durch einen Satz von Synapsengewichtungspaaren (V_{1j} , V_{2j}) dargestellt werden. Obwohl in dieser Ausgestaltung die Sensorkorrelationsspeichereinrichtungen **106**, **107** für alle Paare von Sensoren der Ausgestaltung vorbereitet sind, kann die Sensorkorrelationsspeichereinrichtung ausgeschlossen sein für ein Sensorpaar, dessen Ausgabesignale offenbar nicht miteinander korreliert sind.

[0045] Anschließend kann beurteilt werden, daß jeder Sensor ein normales Signal ausgibt, wenn beim Abbilden des Zustandsvektors, den ein jedes Paar vorliegender Ausgangssignale darstellt, auf einen entsprechend dem Sensorpaar vorbereiteten Vektorraum der Sensorkorrelationsspeichereinrichtung dieser Zustandsvektor in der Nähe eines der Quantifizierungsvektoren gefunden wird.

[0046] In Fig. 6 ist ein Flußdiagramm des Prozesses zum Auswerten eines Abweichungsgrads für jedes Sensorpaar gezeigt. Der Abweichungsgrad wird aus den Ergebnissen einer wechselseitigen Untersuchung, im Fall des Paares mit den Sensoren 1 und 2 über den normalen Betrieb des Sensors 2, der vom Sensor 1 aus untersucht wird, und des normalen Betriebs des Sensors 1, der vom Sensor 2 aus untersucht wird, erhalten. Der Prozeß zur Bestimmung des Abweichungsgrads wird nachfolgend erläutert.

[0047] Im Schritt S6-1 werden die vorliegenden Ausgangssignale von den Sensoren 1 bis n über das Eingabeorgan **101** aufgenommen. Im Schritt S6-2 werden die Ausgangssignale eines jeden Sensorpaars als Zustandsvektor auf einen zu diesem Sensorpaar vorbereiteten Vektorraum der Sensorkorrelationsspeichereinrichtung abgebildet. Im Fall des Sensorpaars 1, 2 wird der Zustandsvektor der vorliegenden Ausgangssignale auf den Vektorraum der Sensorkorrelationsspeichereinrichtung **106** abgebildet. Im Schritt S6-3 wird für jeden auf den Vektorraum einer Sensorkorrelationsspeichereinrichtung abgebildeten Zustandsvektor der nächstliegende Quantifizierungsvektor gesucht. Im Schritt S6-4 wird der Abweichungsgrad eines jeden Sensorpaars auf Grundlage des Abstands zwischen dem abgebildeten Zustandsvektor der vorliegenden Ausgabesignale und dem entsprechend ermittelten, dem abgebildeten Zustandsvektor der vorliegenden Ausgabesignale nächstliegenden Quantifizierungsvektor ausgewertet.

[0048] Der Abweichungsgrad wird wie folgt ermittelt. Es seien (X, Y) die Koordinaten des abgebildeten Zustandsvektors der vorliegenden Ausgabesignale und (W_x , W_y) die des dem abgebildeten Zustandsvektor nächstliegenden Quantifizierungsvektors. Dann wird der Abweichungsgrad U erhalten durch Gleichung 4.

$$U = f[(X - W_x)^2 + (Y - W_y)^2 - \beta^2] \quad \dots (4),$$

wobei $f(X) = X$ ($X \geq 0$), $f(X) = 0$ ($X < 0$).

[0049] Dabei ist β ein Abstandswert, und der Abweichungsgrad U ist 0 und die Ausgabesignale werden als normal beurteilt, wenn der Punkt (X, Y) im Bereich um den Punkt (W_x, W_y) liegt. Wenn der Punkt (X, Y) außerhalb des Bereichs (W_x, W_y) liegt, hat der Abweichungsgrad U einen Wert, der dem Abstand zwischen dem Punkt (X, Y) und dem Bereich (W_x, W_y) proportional ist.

[0050] Im Schritt S6-5 wird der Prozeß beendet, wenn die Abweichungsgrade für alle Sensorpaare bestimmt sind, deren Korrelationen in der Sensor Korrelationsspeichereinrichtung gespeichert sind. Wenn der Prozeß nicht beendet ist, werden die Prozeduren von Schritt S6-2 bis Schritt S6-4 wiederholt. Durch den oben beschriebenen Prozeß wird der Abweichungsgrad für jedes Sensorpaar als Wert von U quantifiziert.

[0051] Fig. 7 zeigt den Aufbau der Untersuchungseinrichtung 109 mit einem Untersuchungsnetzwerk 601 und einer Untersuchungsverarbeitungseinrichtung 602, die anomale oder gestörte Sensoren anhand der für die Sensorpaare erhaltenen Abweichungsgrade bestimmt. Das Untersuchungsnetzwerk 601 ist aufgebaut aus Einheiten 603, die den Sensoren entsprechen, und Synapsen 604; die die Einheiten miteinander verbinden. Die Zuverlässigkeit R_i ($i = 1, \dots, n$) jeder einzelnen Einheit zeigt die Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors an. Es wird eine Zuverlässigkeit R_i von 1 ausgegeben, wenn der Sensor normal ist, und eine Zuverlässigkeit R_i von 0 wird ausgegeben, wenn der Sensor beschädigt ist.

[0052] Die den Synapsen 604 des Untersuchungsnetzwerks zugewiesenen Synapsengewichtungen ω werden aus den den Sensorpaaren i, j entsprechenden Abweichungsgraden U anhand von Gleichung 5 erhalten.

$$\omega = g(1 - \gamma U) \quad (5),$$

wobei $g(X) = X$ für $X \geq 1$ und $g(X) = -1$ für $X < -1$ und γ eine Konstante ist, deren Wert aus der Erfahrung festgelegt wird und z.B. gleich 1 sein kann.

[0053] In Gleichung 5 hat die Synapsengewichtung w_{ij} den Wert 1, wenn die Sensoren i und j sich gegenseitig als normal erkennen. Die Synapsengewichtung w_{ij} nimmt mit zunehmenden Abweichungsgrad U ab und erreicht den Sättigungswert -1 , wenn ein vorgegebener Wert überschritten wird.

[0054] Wenn in Fig. 7 eine Einheit mit einer anderen Einheit durch Synapsen verbunden ist, so ist das entsprechende Sensorpaar korreliert. Wenn für ein bestimmtes Paar von Einheiten keine Synapsen vorhanden sind, bedeutet dies, daß das entsprechende Sensorpaar nicht korreliert ist.

[0055] Fig. 8 zeigt in einem Flußdiagramm den von der Untersuchungsverarbeitungseinrichtung 602 der Untersuchungseinrichtung 109 durchgeführten Prozeß.

[0056] Im Schritt S8-1 wird der von der Abweichungsgradauswertungseinrichtung 108 erhaltene Abweichungsgrad U für jedes Sensorpaar aufgenommen und die Synapsengewichtung w_{ij} des Untersuchungsnetzwerks nach Gleichung 5 berechnet.

[0057] In Schritt S8-2 wird jeder Einheit ein Anfangswert für die Zuverlässigkeit R_i der Einheit zugewiesen. Da die Anfangszustände der Sensoren als normal angesehen werden können, wird der Zuverlässigkeit R_i ($i=1, \dots, n$) der Wert 1 zugewiesen. Bei einer anderen Art der Initialisierung kann den Einheiten der Wert 1 oder 0 zufällig zugewiesen werden.

[0058] Im Schritt S8-3 wird die Zuverlässigkeit R_i der Einheit 603 erneuert unter Verringerung der aus Gleichung 6 erhaltenen "Energie": Zunächst wird eine veränderte Energie erhalten, indem der Wert einer aus den Einheiten 603 ausgewählten Einheit invertiert wird (von 1 auf 0 oder von 0 auf 1 verändert wird). Wenn die veränderte Energie kleiner als die vorherige Energie ist, wird der invertierte Wert der Zuverlässigkeit R_i der ausgewählten Einheit beibehalten. Andernfalls wird der invertierte Wert der Zuverlässigkeit der ausgewählten Einheit auf den vorherigen Wert zurückgesetzt, da die Invertierung des Zuverlässigkeitswerts nicht effektiv ist.

$$E = -(1/2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega^*_{ij} R_i R_j + (1/2) \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n (\omega_{ij} + 1) \right] R_i \quad \dots (6),$$

$$\text{wobei } \omega^*_{ij} = \omega_{ij} + \omega_{ji}, \quad \omega_{ii} = 0 \quad (i=1, \dots, n).$$

[0059] Wenn die Energie des Untersuchungsnetzwerks 601 konvergiert, ist in Schritt S8-4 der Prozeß beendet. Die Konvergenz des Untersuchungsnetzwerks wird im allgemeinen festgestellt, indem ermittelt wird, ob nicht die Energie des Netzwerks durch Invertieren des Zuverlässigkeitswerts R_i einer der Einheiten 603 weiter verringert werden kann. Bei einem anderen Verfahren zur Feststellung der Konvergenz wird der Prozeß beendet, wenn die Wiederholungszahl der Konvergenzprozeduren eine vorgegebene Zahl erreicht. Wenn festgestellt wird, daß das Untersuchungsnetzwerk 601 nicht konvergiert hat, wird der Schritt S8-3 wiederholt.

[0060] Neben dem oben beschriebenen Verfahren zur Erneuerung der Zuverlässigkeit R_i auf Grundlage von Gleichung (6) kann ein Erneuerungsverfahren eingesetzt werden, bei dem die Vorzeichenänderung des nach Gleichung (7) berechneten Werts von $E'(i)$ untersucht wird. Das heißt, wenn das Vorzeichen des für eine ausgewählte Einheit i berechneten Werts von $E'(i)$ positiv ist, wird die Zuverlässigkeit R_i zu 1 gesetzt (die Einheit ist normal), und wenn das Vorzeichen des berechneten Werts von $E'(i)$ negativ ist, wird die Zuverlässigkeit R_i zu 0 gesetzt. Wenn der berechnete Wert von $E'(i)$ gleich 0 ist, wird die derzeitige Zuverlässigkeit R_i beibehalten.

$$E'(i) = \sum_{j=1}^n \omega_{ji} R_j + \sum_{j=1}^n \omega_{ij} R_j - (1/2) \sum_{j=1}^n (\omega_{ij} + 1) \dots (7).$$

[0061] Die durch den in **Fig. 8** dargestellten Prozeß erhaltenen Untersuchungsergebnisse werden einem Benutzer durch die Anzeigeeinrichtung **112** angezeigt. Anzuzeigende Inhalte sind Meldungen beim Auftreten von Sensorstörungen und dergleichen, und die Nummern gestörter Sensoren usw., wenn die Anzeigeeinrichtung eine Schirmanzeigeeinrichtung ist. Wenn die Anzeigeeinrichtung ein Warnlampenanzeigesystem ist, werden die Lampen eingeschaltet, die gestörten Sensoren entsprechen.

[0062] Wenn Störungen von manchen Sensoren festgestellt werden, wird die Planungseinrichtung **110** für Gegenmaßnahmen gegen Störungen aufgerufen, und eine Gegenmaßnahme gegen die Sensorstörung wird durchgeführt. Als Gegenmaßnahme gegen die Sensorstörung werden die Operationen der mit dem gestörten Sensor zusammenhängenden Komponente angehalten, oder Steuerverfahren anhand vorgegebener Kontingenzprozeduren, bei denen die vom gestörten Sensor ausgegebenen Signale vernachlässigt werden, werden ermittelt und an das zu kontrollierende Objekt **120** über das Ausgabeorgan **112** ausgegeben.

[0063] Zwar ist bei dieser Ausgestaltung die Zuverlässigkeit R_i als 1 oder 0 definiert und die Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors als entweder normal oder gestört vorgegeben, doch können der Sensor mit der höchsten Zuverlässigkeit oder ein Sensor mit einer hohen Ausfallwahrscheinlichkeit durch ein Verfahren spezifiziert werden, bei dem die Zuverlässigkeit R_i als kontinuierlicher Wert zwischen 0 und 1 bestimmt wird. Bei diesem Verfahren wird die Zuverlässigkeit R_i mit minimaler Energie E erhalten durch Maßnahmen wie das Addieren oder Subtrahieren eines kleinen, bestimmten Betrags zu der oder von der Energie E .

[0064] Bei dieser Ausgestaltung arbeitet die Störungsuntersuchungsvorrichtung **100** im wesentlichen nach dem ersten Betriebsmodus der Verarbeitung der Ausgangssignale der Sensoren, bis die Korrelationsspeichereinrichtung **105** eingerichtet ist, und nach dem zweiten Betriebsmodus der Untersuchung der Sensoren und Planung von Gegenmaßnahmen gegen Sensorstörungen anhand der Verarbeitungsergebnisse in der Korrelationsspeichereinrichtung **105**. Bei einer anderen Ausgestaltung wird der erste Betriebsmodus von einer anderen Vorrichtung ausgeführt, und die Störungsuntersuchungsvorrichtung **100** empfängt die Verarbeitungsergebnisse in der Korrelationsspeichereinrichtung **105** und führt den zweiten Betriebsmodus aus.

[0065] Zwar berücksichtigt diese Ausgestaltung nur die Ausgabesignale der Sensoren als Eingabedaten, doch können als Eingabedaten auch abgeschätzte Zustandsdaten verwendet werden, wenn ein Sensor in einer rückgekoppelten Regelschleife enthalten ist und die Störung des Sensors nicht klar und unabhängig beobachtet werden kann. Außerdem ist es auch möglich, eine Gruppe von mehr als drei Ausgabesignalen als Eingabedaten für die Quantifizierungseinrichtung **104** zu verwenden, indem in der Korrelationsspeichereinrichtung **105** und der Abweichungsgradauswertungseinrichtung **108** ein vieldimensionaler Prozeß ausgeführt wird.

[0066] In **Fig. 9** ist eine andere Ausgestaltung gezeigt, in der ein zu untersuchendes Objekt ein aus einer Mehrzahl von Untersystemen bestehendes Gesamtsystem ist. Ein gestörtes Untersystem wird anhand des oben beschriebenen Untersuchungsverfahrens ermittelt, wobei die von den Untersystemen **901** bis **904** an das Eingabeorgan **101** ausgegebenen Signale verwendet werden und die Untersuchungsergebnisse jeweils über das Ausgabeorgan an die Untersysteme **901** bis **904** zurückgeschickt werden.

[0067] **Fig. 10** zeigt eine weitere Ausgestaltung, bei der die Störungsuntersuchungsvorrichtung eine Modumschalteinrichtung **1001** mit einem Schalter **1002** aufweist, zum Umschalten vom ersten Betriebsmodus, in dem die Ausgabesignale der Sensoren verarbeitet werden, bis die Korrelationsspeichereinrichtung **105** eingerichtet ist, in den zweiten Betriebsmodus, in dem die Sensoren untersucht und Gegenmaßnahmen gegen Sensorstörungen unter Verwendung der Bearbeitungsergebnisse in der Korrelationsspeichereinrichtung **105** geplant werden, wobei die Schalteinrichtung an der Ausgabeseite des Eingabeorgans **101** eingebaut ist. Der Schaltzeitpunkt kann von außerhalb der Vorrichtung vorgegeben werden. Zum Beispiel kann sinnvoll vom ersten in den zweiten Betriebsmodus umgeschaltet werden, nachdem die Korrelationsspeichereinrichtung **105** mit hoher Genauigkeit eingerichtet worden ist.

[0068] Durch die vorliegende Erfindung können latente Korrelationen zwischen Sensoren effizient ermittelt und die Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors durch vollständige Ausnutzung der Korrelationen ausgewertet werden. Alterungsbedingt gestörte Ausgabesignale können erkannt und die Zuverlässigkeit eines Kontrollsystems dadurch verbessert werden. Die vorliegende Erfindung ist effektiv, wenn die Überprüfung oder der Austausch der beschädigten Sensoren schwierig ist, insbesondere bei Sensoren, wie sie zum Messen der internen Zustände eines Schmelzofens benutzt werden.

Patentansprüche

1. Störungsuntersuchungsvorrichtung (**100**) zur Untersuchung eines zu untersuchenden Objekts (**120**), das mit mehreren Sensoren (**121–124**) versehen ist, die Betriebssignale ausgeben und zu mehreren Gruppen zusammengefasst sind, mit einer Speichereinrichtung (**102**) zum Speichern der von den Sensoren ausgegebenen Betriebssignale, einer Quantifizierungseinrichtung (**104**) zum Erzeugen eines Gruppenquantifizierungsvektors zu jeder Gruppe der Sensoren (**121–124**) aus den Betriebssignalen, die unter normalen Bedingungen des Objektes aufgenommen wurden, so dass die Quantifizierungsvektoren die Beziehung zwischen den Betriebssignalen der Sensoren (**121–124**) einer Gruppe darstellen, einer Korrelationsspeichereinrichtung (**105**) zum Speichern der Quantifizierungsvektoren jeder Gruppe von Sensoren (**121–124**); einer Abweichungsgradauswertungseinrichtung (**108**) zum Bestimmen eines Abweichungsgrades einer jeden Gruppe von Sensoren (**121–124**) durch Vergleichen vorliegender Betriebssignale dieser Gruppe von Sensoren mit den Quantifizierungsvektoren dieser Gruppe von Sensoren (**121–124**); und einer Untersuchungseinrichtung (**109**) zum Untersuchen der Zuverlässigkeit jedes einzelnen Sensors (**121–124**) auf Grundlage der von der Abweichungsgradauswertungseinrichtung (**108**) erhaltenen Abweichungsgrade, die ein Netz mit Synapsen und einer vorgegebenen Wichtungsfunktion umfasst.

2. Störungsuntersuchungsvorrichtung nach Anspruch 1, ferner mit einer Gegenmaßnahmeplanungseinrichtung (**110**) zum Kontrollieren des zu kontrollierenden Objekts (**120**) anhand von von der Untersuchungseinrichtung (**109**) bestimmten Untersuchungsergebnissen.

3. Störungsuntersuchungsvorrichtung nach Anspruch 1, bei der jede Gruppe von Sensoren aus einem Paar von Sensoren besteht.

4. Störungsuntersuchungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1–3, bei der die Quantifizierungseinrichtung (**104**) ein Quantifizierungsnetzwerk (**301**) und eine Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung (**302**) umfasst, wobei das Quantifizierungsnetzwerk eine Eingabeschicht (**303**), in die Betriebssignale von jeder Gruppe der Sensoren and ein konstanter Wert eingegeben werden, und eine Quantifizierungsneuronenschicht (**304**), die aus einer Mehrzahl von Quantifizierungsneuronen (**307**) besteht, aufweist, wobei jeweils ein Quantifizierungsneuron einem Vektor aus der Gruppe der Quantifizierungsvektoren entspricht, und die Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung (**302**) die Gewichtungen von Synapsen (**308**) erneuert, die Neuronen (**305, 306**) der Eingabeschicht und Neuronen (**307**) der Quantifizierungsneuronenschicht (**304**) miteinander verbinden.

5. Störungsuntersuchungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 – 4, bei der die Untersuchungseinrichtung (**109**) ein Untersuchungsnetzwerk (**601**) enthält, das den Sensoren entsprechende Einheiten (**603**) und diese Einheiten (**603**) miteinander verbindende Synapsen (**604**) umfasst, wobei die Gewichtungen der Synapsen (**604**) aus den von der Abweichungsgradauswertungseinrichtung (**108**) berechneten Abweichungsgraden erhalten werden, and die die Zuverlässigkeit jedes einzelnen der Sensoren (**121–124**) bestimmt.

6. Störungsuntersuchungsverfahren mit den Schritten:

Bilden von Gruppen mit einer vorgegebenen Anzahl von Sensoren aus mehreren an einem zu kontrollierenden Objekt (**120**) vorgesehenen Sensoren (**121–124**); wobei für jede einzelne Gruppe von Sensoren die Schritte durchgeführt werden:

Bilden einer Gruppe von Quantifizierungsvektoren, die die Beziehungen zwischen den Betriebssignalen aus der Gruppe von Sensoren darstellen, die unter normalen Bedingungen des Objekts angenommen wurden, Veranlassen des Quantifizierungswerks (**104**), die Charakteristika dieser Korrelationen zu lernen; und Bestimmen eines Abweichungsgrades der Gruppe von Sensoren durch Vergleichen eines Satzes vorliegender Betriebssignale dieser Gruppe von Sensoren mit einem entsprechenden Quantifizierungsvektor

7. Störungsuntersuchungsverfahren nach Anspruch 6, mit den weiteren Schritten:

Eingeben der Abweichungsgrade in ein Untersuchungsnetzwerk (**601**), das den Sensoren entsprechende Einheiten (**603**) and die Einheiten miteinander verbindende Synapsen (**604**) umfasst, wobei die Gewichtungen der Synapsen aus den Abweichungsgraden gewonnen werden; und

Bestimmen gestörter Sensoren unter diesen Sensoren durch Minimieren einer Gesamtenergie des Untersuchungsnetzwerks.

8. Störungsuntersuchungsverfahren nach einem der Ansprüche 6–7, bei dem für den Schritt des Bildens

der Gruppe von Quantifizierungsvektoren wenigstens ein Paar bestehend aus einem Korrelationsnetzwerk und einer Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung (302) eingesetzt wird, wobei das Korrelationsnetzwerk eine Eingabeschicht (303), in die Betriebssignale von jeder Gruppe der Sensoren and ein konstanter Wert eingegeben werden and eine aus einer Mehrzahl von Quantifizierungsneuronen (307) bestehende Quantifizierungsneuronenschicht (304) hat, wobei jedes Quantifizierungsneuron einem Vektor aus der Gruppe der Quantifizierungsvektoren entspricht and die Quantifizierungsverarbeitungseinrichtung Gewichtungen von Synapsen (308) erneuert, die Neuronen (305, 306) der Eingabeschicht und Neuronen (307) der Quantifizierungsneuronenschicht (304) miteinander verbinden.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

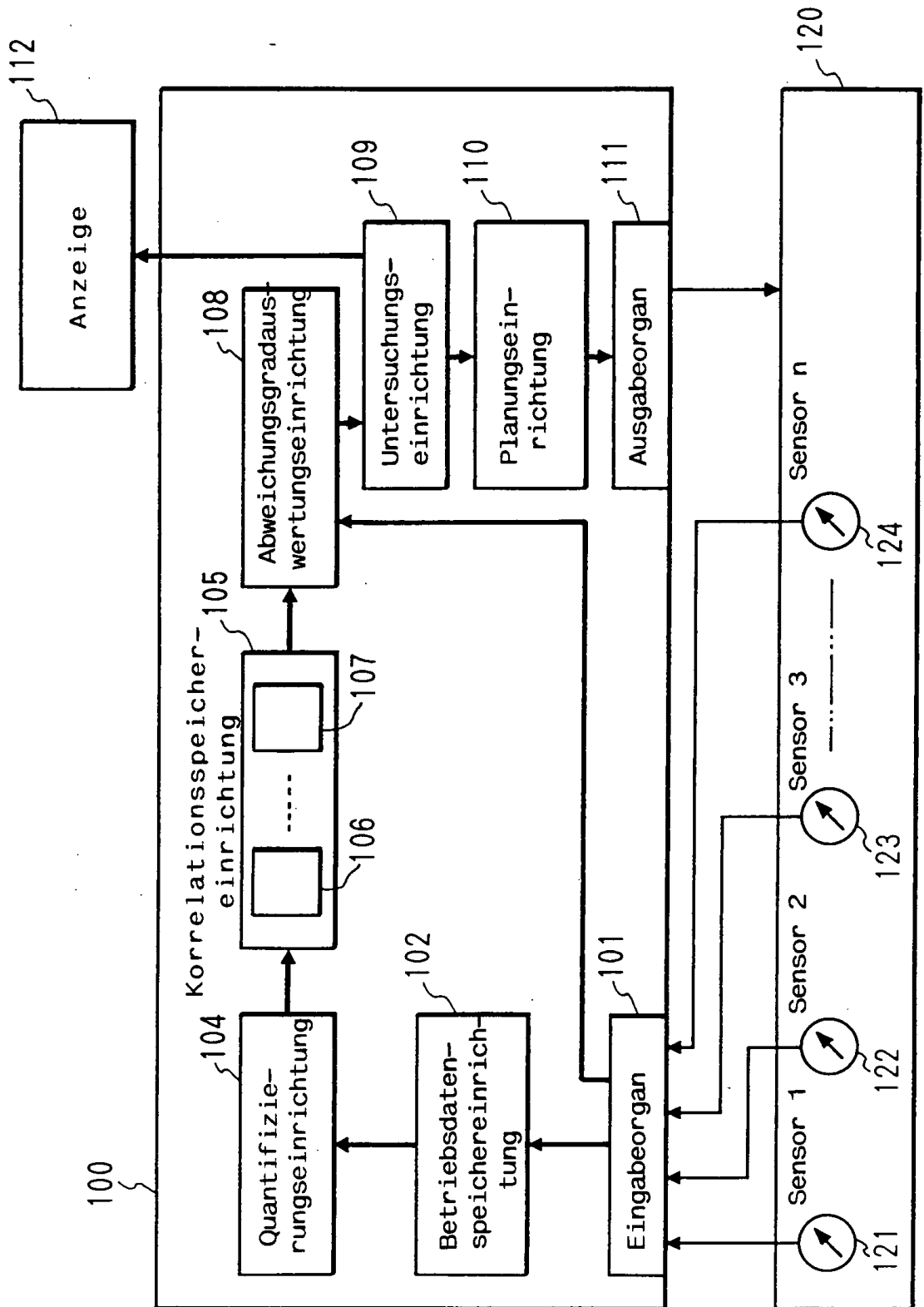


FIG. 2

102

Daten- satz- nummer	Meßwert				
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	—	Sensor n
1	0.1584	0.2681	0.6951	—	0.2544
2	0.0369	0.3281	0.5577	—	0.9852
3	0.8571	0.1135	0.1265	—	0.3654
4	0.6981	0.4953	0.8720	—	0.2577
5	0.0235	0.8751	0.9611	—	0.2544
m	0.4697	0.3577	0.4100		0.5748

FIG. 4

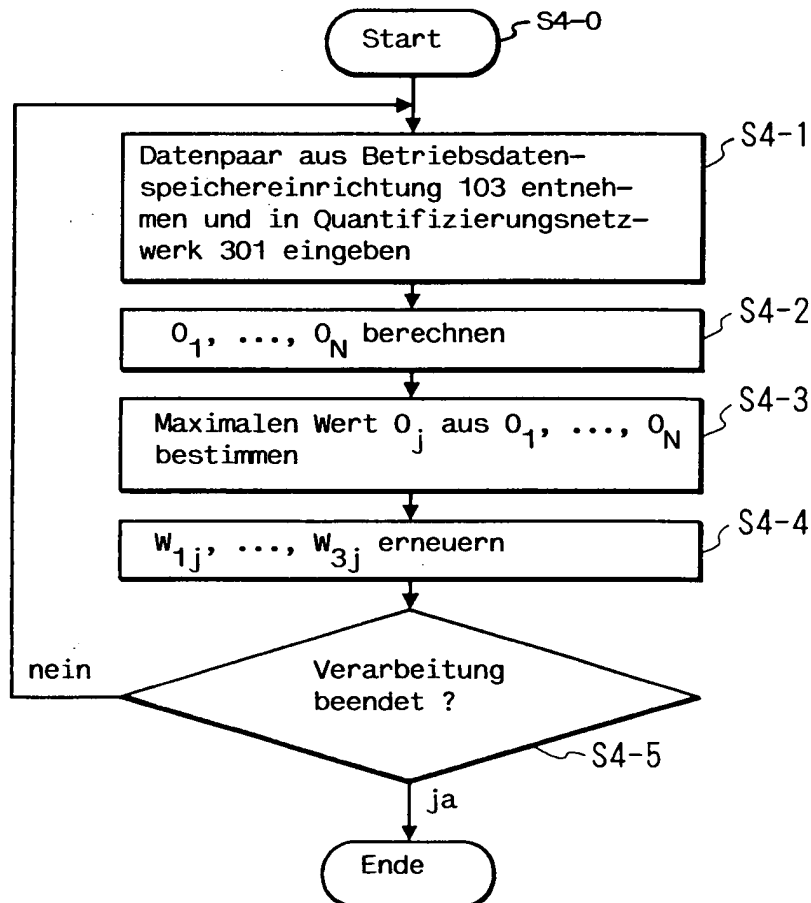


FIG. 3

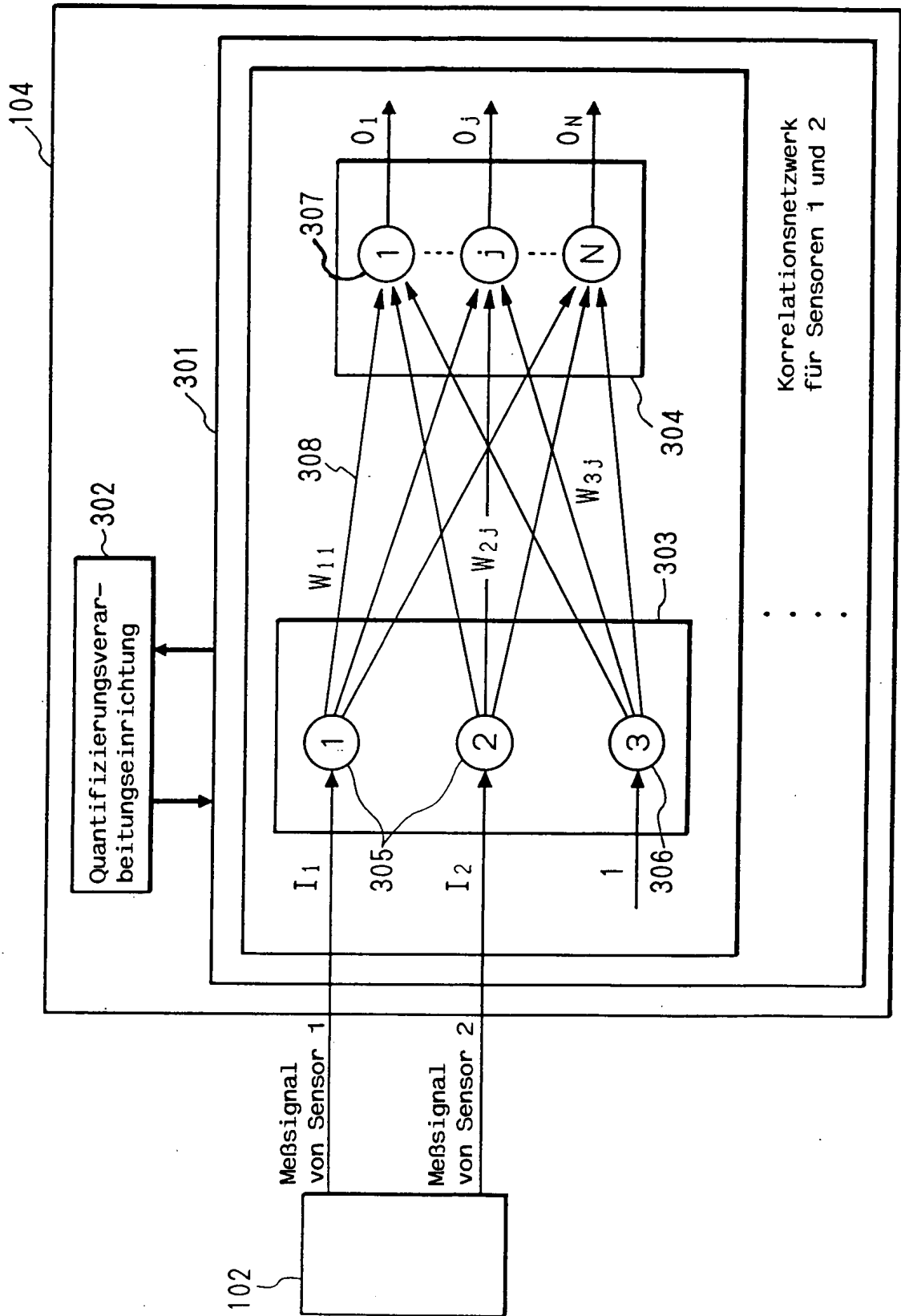


FIG. 5

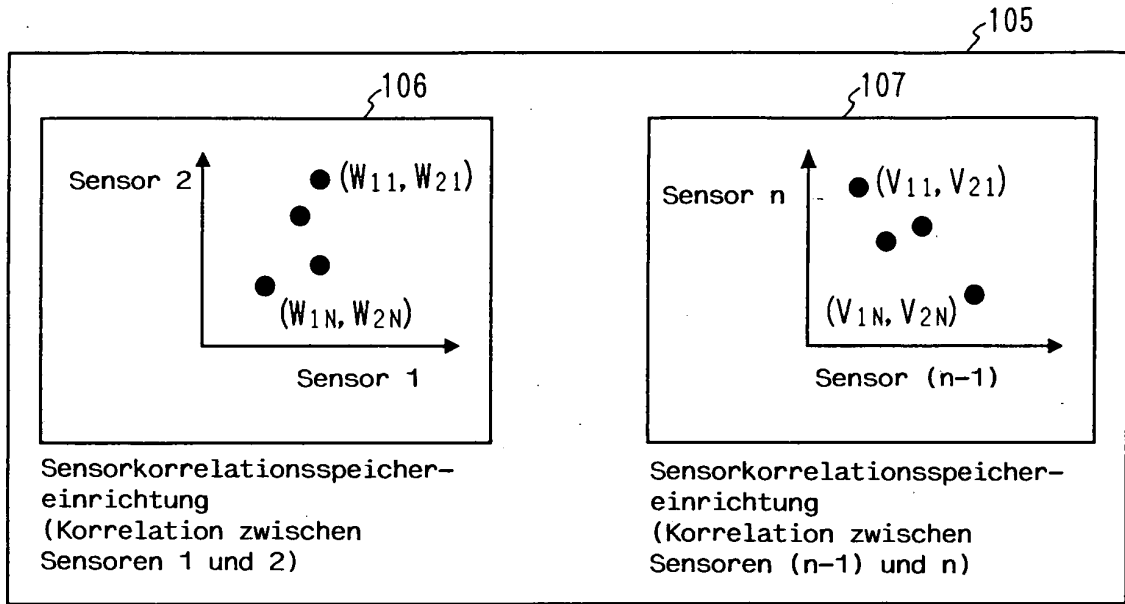


FIG. 6

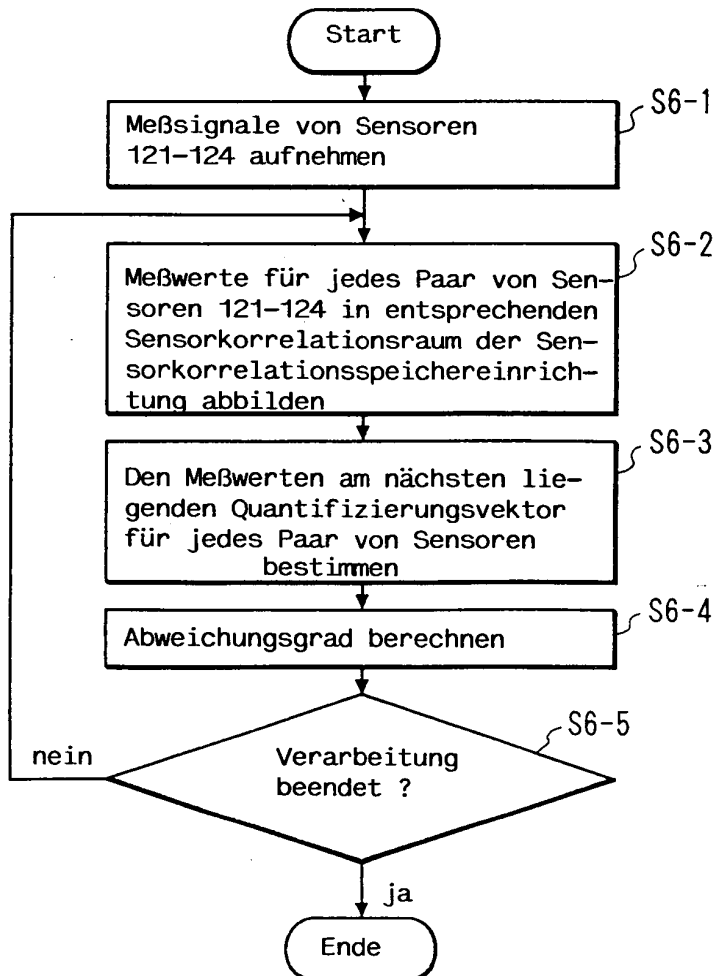


FIG. 7

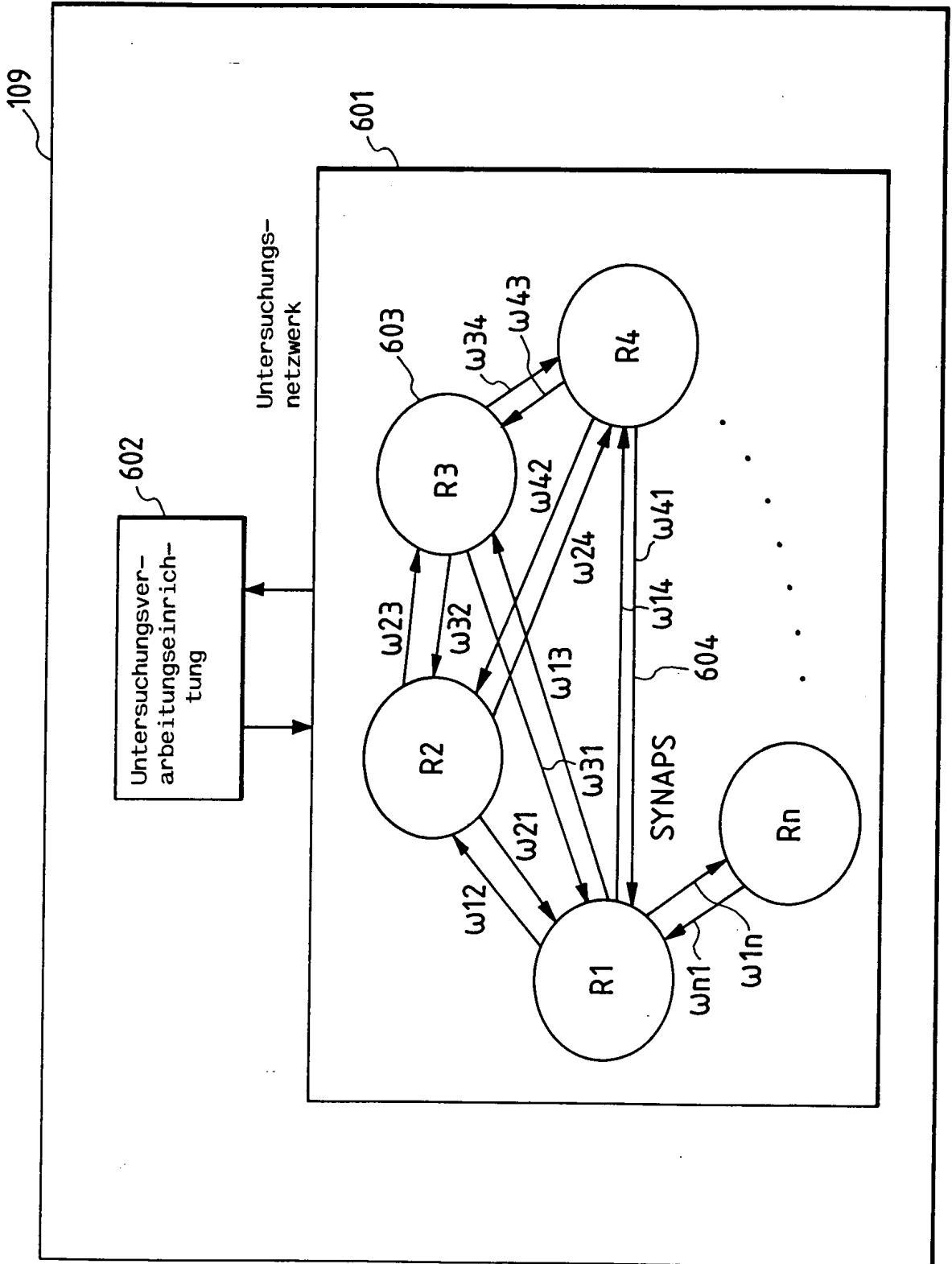


FIG. 8

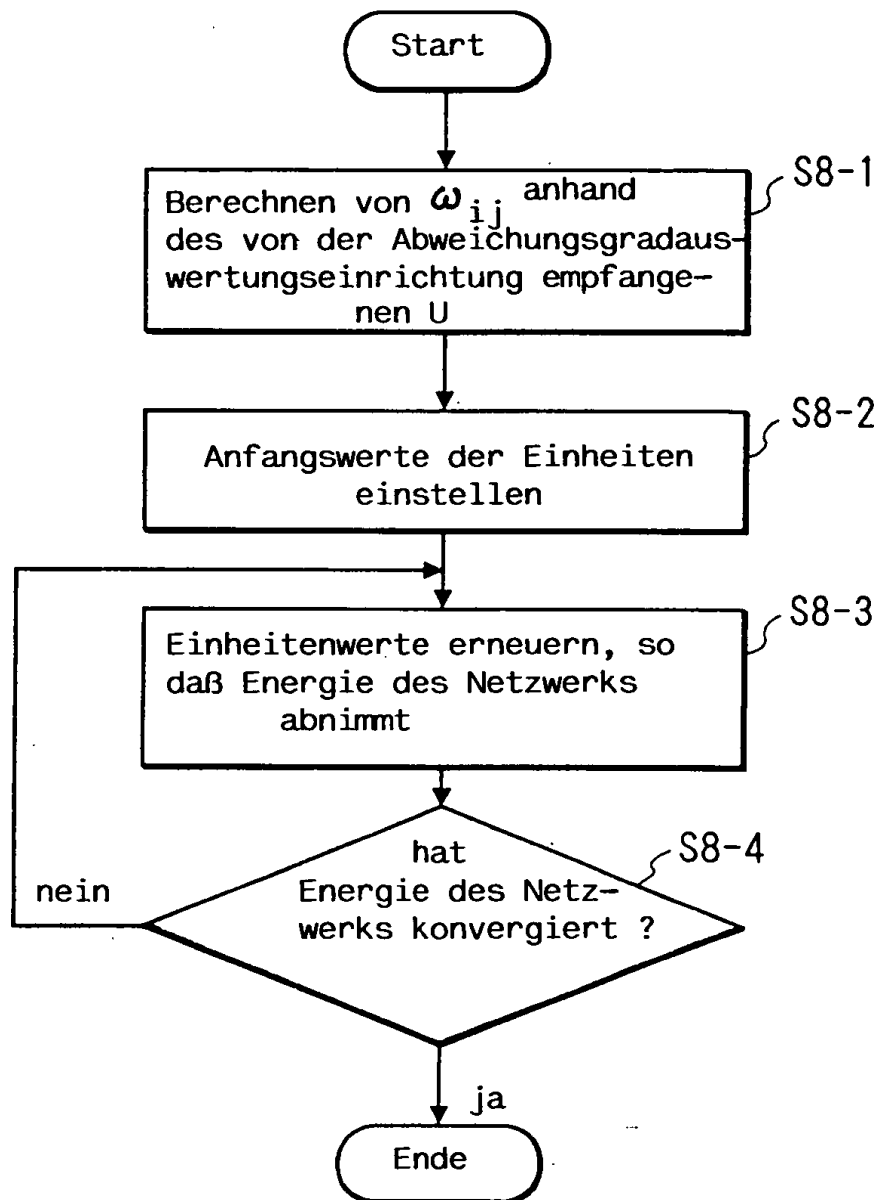


FIG. 9

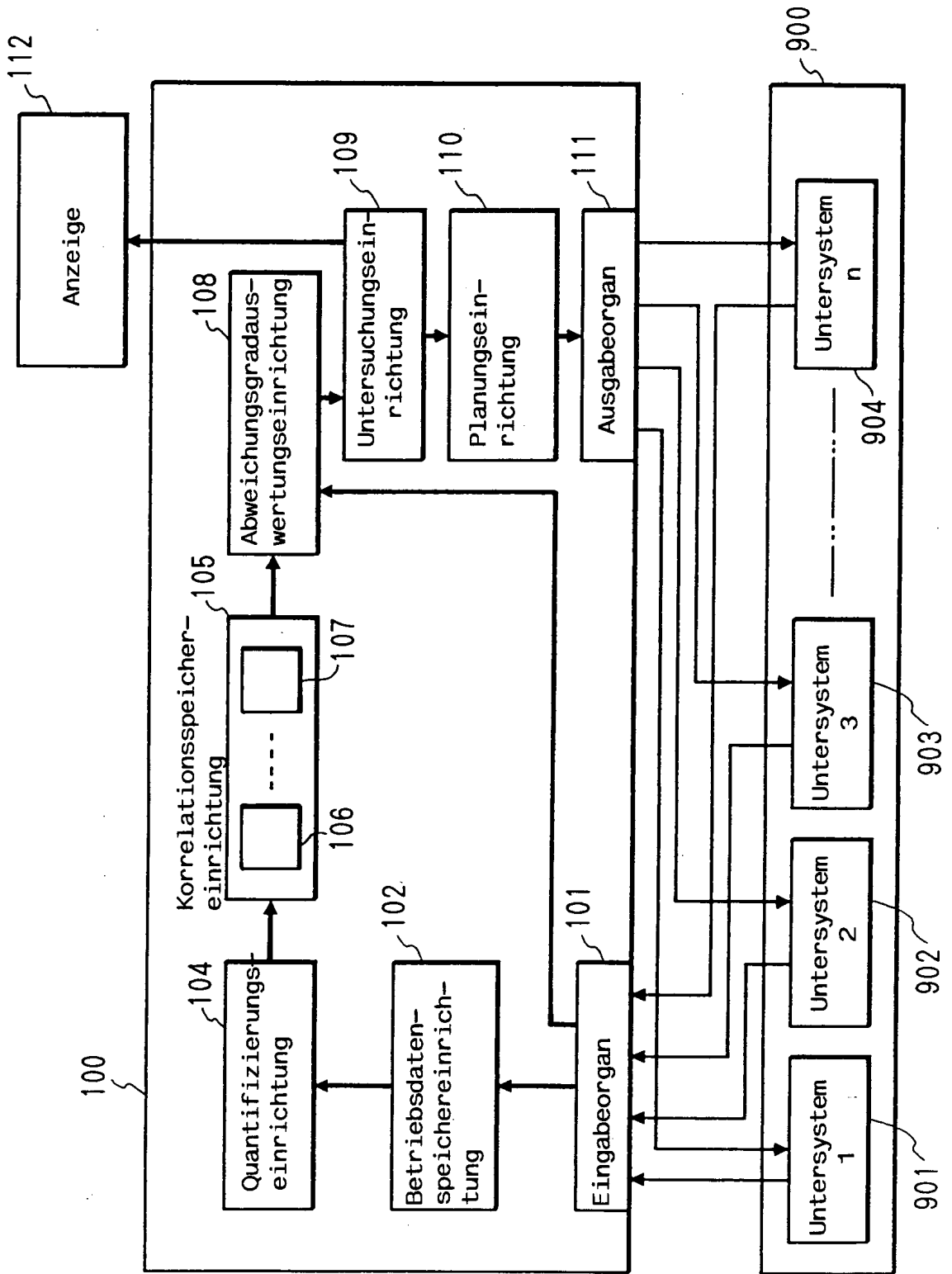


FIG. 10

