



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

710 737 A2

(51) Int. Cl.: F02C 9/00 (2006.01)
F01D 21/12 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 00136/16

(22) Anmeldedatum: 02.02.2016

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.08.2016

(30) Priorität: 06.02.2015 US 14/616,105

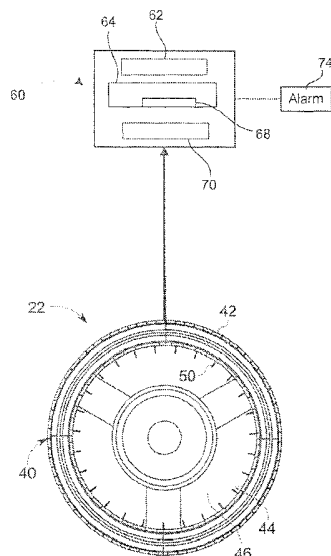
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Karen Warren Miller, Atlanta, GA 30339-8402 (US)
Lijie Yu, Atlanta, GA 30339 (US)
Robert Joseph Iasillo, Atlanta, GA 30339 (US)

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(54) **System und Verfahren zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine.**

(57) Die Erfindung betrifft ein System (60) und ein Verfahren zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine. Das System (60) umfasst mehrere mit einem Verbrennungsabschnitt verknüpfte Brennkammern, mehrere thermische Sensoren (50), die um eine Abgassektion (22) einer Gasturbine angeordnet sind, und eine Verarbeitungsschaltung (62) mit einem Speicher (70). Das Verfahren schliesst das Empfangen von den mehreren thermischen Sensoren (50), die um die Abgassektion (22) der Gasturbine angeordnet sind, der Abgasprofildaten der Gasturbine ein. Das Verfahren analysiert ferner die Abgasprofildaten, um statistische Merkmale zu berechnen, die mit einem Spitze-Tal-Muster verknüpft sind. Das Verfahren stellt ferner, unter Verwendung eines Maschinernalgorithmus, fest, dass die statistischen Merkmale anormal sind. Als Reaktion auf die Feststellung verarbeitet das Verfahren die Abgasprofildaten für einen vorbestimmten Zeitraum und meldet eine Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt der Gasturbine, falls die statistischen Merkmale für den vorbestimmten Zeitraum anormal bleiben.



Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET**

[0001] Die Offenbarung betrifft das Gebiet von Turbomaschinen und insbesondere Systeme und Verfahren der Gasturbinen-Verbrennungsprofilüberwachung.

HINTERGRUND

[0002] Turbomaschinen können einen Verdichterabschnitt, der durch eine gemeinsame Verdichter-/Turbinenwelle mit einem Turbinenabschnitt verknüpft ist, und eine Brennkammer-Baugruppe einschliessen. Ein Ansaugluftstrom kann durch einen Lufteinlass zu dem Verdichterabschnitt hin hindurchgehen. In dem Verdichterabschnitt kann der Ansaugluftstrom durch eine Anzahl von aufeinanderfolgenden Stufen zu der Brennkammer-Baugruppe hin verdichtet werden. In der Brennkammer-Baugruppe kann sich der verdichtete Luftstrom mit Kraftstoff mischen, um ein brennbares Gemisch zu bilden. Das brennbare Gemisch kann in der Brennkammer-Baugruppe verbrannt werden, um heisse Gase zu bilden. Die heissen Gase können entlang einer Heissgasbahn des Turbinenabschnitts durch ein Übergangsstück geleitet werden. Die heissen Gase können sich entlang einer Heissgasbahn durch eine Anzahl von Turbinenstufen ausdehnen, wobei sie auf an Rädern angebrachte Turbinenschaufelflügel einwirken, um Arbeit zu erzeugen, die abgegeben wird, um zum Beispiel einen Generator anzutreiben. Die heissen Gase können von dem Turbinenabschnitt durch eine Abgasanlage als Abgase hindurchgehen. Eine Anzahl von Thermoelementen kann in der Abgasanlage angeordnet sein, um Temperaturen der Abgase zu messen.

[0003] Die durch die Thermoelemente gemessenen Temperaturen der Abgase können ein Abgasprofil bilden. Das Abgasprofil kann dazu verwendet werden, die Funktionsfähigkeit von Verbrennungsanlagen einzuschätzen. Bestimmte Anlagenprobleme können verursachen, dass eine Brennkammer aussergewöhnlich heiss oder kalt läuft, was das typische Abgasprofil stören kann. Ein atypisches Abgasprofilmuster kann einen anormalen Betrieb einer oder mehrerer Brennkammern anzeigen. Das typische Abgasprofil für einige Turbomaschinen ist gleichförmig, wobei die einzelnen Abgas-Thermoelemente nur geringfügig vom Mittel abweichen. Für solche Turbomaschinen kann die Erkennung von Verbrennungsanlagen-Anomalien durch das Identifizieren von Thermoelementgruppen, die bedeutend vom Mittel abweichen, durchgeführt werden. Andere Turbomaschinen können ein Abgasprofil aufweisen, das während des normalen Betriebs ein Spitze-Tal-Muster aufweist. Typischerweise entsprechen eine Anzahl von Spitzen und eine Anzahl von Tälern in dem Spitze-Tal-Muster der Anzahl von Brennkammern der Turbomaschine. Die oben beschriebene Herangehensweise kann bei der Erkennung von Verbrennungsanomalien für Turbomaschinen mit einem Spitze-Tal-Muster nicht wirksam sein, da das Spitze-Tal-Profilmuster als anormale Abweichungen vom Mittel behandelt werden kann.

KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0004] Diese Erfindung betrifft Systeme und Verfahren zur Gasturbinen-Verbrennungsprofilüberwachung. Bestimmte Ausführungsformen können das Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine erleichtern. Nach einer Ausführungsform der Offenbarung schliesst ein Verfahren zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine das Empfangen, durch wenigstens einen Prozessor, von mehreren thermischen Sensoren, die um eine Abgassektion einer Gasturbine angeordnet sind, der Abgasprofildaten der Gasturbine. Das Verfahren kann ferner das Analysieren der Abgasprofildaten einschliessen, um statistische Merkmale zu berechnen, die mit einem Spitze-Tal-Muster verknüpft sind. Das Verfahren kann, unter Verwendung eines Maschinenlernalgorithmus, die Feststellung, dass die statistischen Merkmale anormal sind, erleichtern. Das Verfahren kann ferner, als Reaktion auf die Feststellung, das Verarbeiten der Abgasprofildaten für einen vorbestimmten Zeitraum und das Melden einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt der Gasturbine, falls die statistischen Merkmale für den vorbestimmten Zeitraum anormal bleiben, einschliessen.

[0005] Nach einer anderen Ausführungsform der Offenbarung wird ein System zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine bereitgestellt. Das System kann mehrere Brennkammern, die mit einem Verbrennungsabschnitt verknüpft sind, und mehrere thermische Sensoren, die um eine Abgassektion einer Gasturbine angeordnet sind, einschliessen. Die thermischen Sensoren sind dafür konfiguriert, Abgasprofildaten der Gasturbine bereitzustellen. Das System schliesst ferner eine Verarbeitungsschaltung ein, die kommunikativ an einen Speicher angeschlossen ist, wobei der Speicher Anweisungen speichert, die, wenn sie durch die Verarbeitungsschaltung ausgeführt werden, Operationen durchführen.

[0006] Andere Ausführungsformen, Systeme, Verfahren, Merkmale und Aspekte werden offensichtlich werden aus der folgenden Beschreibung, betrachtet in Verbindung mit den folgenden Zeichnungen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN**[0007]**

- Fig. 1 ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Gasturbine, nach einer Ausführungsform der Offenbarung.
- Fig. 2 ist eine axiale Ansicht einer beispielhaften Abgasanlage einer Gasturbine und eines Verbrennungsanomalie-Erkennungssystems, nach einer Ausführungsform der Offenbarung.

- Fig. 3A ist ein normales Profil von Thermoelement-Abgasdaten, nach einer Ausführungsform der Offenbarung.
- Fig. 3B ist ein anormales Profil von Thermoelement-Abgasdaten, nach einer Ausführungsform der Offenbarung.
- Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, illustriert.
- Fig. 5 ist ein Ablaufdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren zum Identifizieren von Spitzen- und Tälerpositionen in Thermoelement-Abgasdaten, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, illustriert.
- Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das ein beispielhaftes Steuergerät zum Steuern einer Gasturbine, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, illustriert.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0008] Die folgende ausführliche Beschreibung schliesst Bezugnahmen auf die beigefügten Zeichnungen ein, die einen Teil der ausführlichen Beschreibung bilden. Die Zeichnungen bilden Illustrationen, nach Ausführungsbeispielen, ab. Diese Ausführungsbeispiele, die hierin ebenfalls als «Beispiele» bezeichnet werden, werden mit ausreichenden Einzelheiten beschrieben, um die Fachleute in die Lage zu versetzen, den vorliegenden Gegenstand in die Praxis umzusetzen. Die Ausführungsbeispiele können kombiniert werden, es können andere Ausführungsformen benutzt werden, oder es können strukturelle, logische und elektrische Veränderungen vorgenommen werden, ohne vom Rahmen des beanspruchten Gegenstandes abzuweichen. Die folgende ausführliche Beschreibung ist daher nicht in einem begrenzenden Sinn zu verstehen, und der Rahmen wird durch die angefügten Ansprüche und deren Äquivalente definiert.

[0009] Bestimmte Ausführungsformen der Offenbarung betreffen Methoden und Systeme zur Gasturbinen-Verbrennungsprofilüberwachung, die das Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine erleichtern können. Die offenbarten Methoden und Systeme können ebenfalls für das Bestimmen eines ungleichförmigen Temperaturprofils während des Betriebs einer Gasturbine sorgen.

[0010] Bei einigen Ausführungsbeispielen der Offenbarung kann eine Verarbeitungsschaltung, von mehreren thermischen Sensoren, die um eine Abgassektion einer Gasturbine angeordnet sind, die Abgasprofildaten der Gasturbine empfangen. Die Abgasprofildaten können analysiert werden, um statistische Merkmale zu berechnen, die mit einem Spitze-Tal-Muster verknüpft sind. Die Analyse kann, auf der Grundlage der Abgasprofildaten, das Identifizieren eines mit jedem thermischen Sensor verknüpften Spitze-Tal-Paares und das Berechnen der statistischen Merkmale für jedes Spitze-Tal-Paar einschliessen. Die Verarbeitungsschaltung kann ferner, unter Verwendung eines Maschinenlernalgorithmus, feststellen, dass die statistischen Merkmale anormal sind. Als Reaktion auf die Feststellung, kann sich das Verarbeiten der Abgasprofildaten für einen vorbestimmten Zeitraum fortsetzen. Falls die statistischen Merkmale für den vorbestimmten Zeitraum anormal bleiben, kann eine Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt der Gasturbine gemeldet werden.

[0011] Technische Auswirkungen bestimmter Ausführungsformen der Offenbarung können eine Verbrennungsüberwachung von Gasturbinen einschliessen. Weitere technische Auswirkungen bestimmter Ausführungsformen der Offenbarung können die Wahrscheinlichkeit des Erkennens von Verbrennungsanomalien in Gasturbinen, bevor die Verbrennungsanomalien zu bedeutenden Ereignissen oder Anlagenausfällen führen können, steigern. Die offenbarten Ausführungsformen der Offenbarung können eine Einsicht in die Verbrennungsstabilität der Gasturbinen bereitstellen, um mit der Verbrennung verbundene Fehler, erzwungene Ausfallzeit und ungeplante Kosten zu verringern.

[0012] Das Folgende stellt die ausführliche Beschreibung verschiedener Ausführungsbeispiele bereit, die Systeme und Verfahren zur Modellierung betrieblicher Auswirkungen unter Verwendung von statistischen und auf Physik beruhenden Methodologien betreffen.

[0013] Eine Gasturbomaschinenanlage, nach einem Ausführungsbeispiel der Offenbarung, wird in Fig. 1 im Allgemeinen bei 2 illustriert. Die Gasturbomaschinenanlage 2 kann eine Gasturbomaschine 4 einschliessen, die einen Verdichterabschnitt 6 aufweist, der durch eine Brennkammer-Baugruppe 10 in Fluidverbindung mit einem Turbinenabschnitt 8 steht. Die Brennkammer-Baugruppe 10 kann eine oder mehrere Brennkammern 12 einschliessen, die in einer rohr-ringförmigen Gruppierung angeordnet sein können. Der Verdichterabschnitt 6 kann durch eine Welle 14 ebenfalls mechanisch mit dem Turbinenabschnitt 8 verknüpft sein. Der Verdichterabschnitt 6 kann einen Lufteinlass 16 einschliessen, und der Turbinenabschnitt 8 kann einen Abgasauslass 18 einschliessen. Eine Luftansauganlage 20 kann in Fluidverbindung mit dem Lufteinlass 16 stehen. Die Luftansauganlage 20 kann Luft aufbereiten, die in den Verdichterabschnitt 6 hindurchgeht. Zum Beispiel kann die Luftansauganlage 20 Feuchtigkeit, die durch in den Lufteinlass 16 hindurchgehende Luft befördert wird, entfernen oder verringern. Eine Abgasanlage 22 kann in Fluidverbindung mit dem Abgasauslass 18 stehen. Die Abgasanlage 22 kann Abgase, die von dem Turbinenabschnitt 8 hindurchgehen, vor dem Einleiten in eine Umgebung aufbereiten. Die Abgasanlage 22 kann mehrere Temperatursensoren 50 einschliessen. Die Gasturbomaschinenanlage 2 kann ebenfalls eine angetriebene Last 30 einschliessen, welche die Form eines Generators, einer Pumpe oder eines Fahrzeugs annehmen könnte. Die Gasturbomaschinenanlage 2 kann ferner ein Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 einschliessen, das wirksam mit einer Alarmeinrichtung 74 verbunden ist.

[0014] Wie in Fig. 2 gezeigt, kann die Abgasanlage 22 ein Gehäuse 40 einschliessen, das eine Aussenfläche 42 und eine Innenfläche 44, die eine Abgas-Strömungsbahn 46 definiert, aufweist. Die Abgasanlage 22 kann mehrere Temperatursensoren einschliessen, von denen einer bei 50 angezeigt wird, angeordnet an dem Gehäuse 40. Die Temperatursensoren 50 können die Form von Thermoelementen annehmen, die umlaufend um die Innenfläche 44 gruppiert und der Abgas-Strömungsbahn 46 ausgesetzt sind. Nach einer Ausführungsform der Offenbarung ist das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 wirksam mit jedem der mehreren Temperatursensoren 50 verbunden. Es sollte sich verstehen, dass das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 gemeinsam mit der Gasturbomaschine 4 angeordnet sein kann, in das Turbinensteuergerät integriert sein kann oder sich in einer zentralen allgemeinen Überwachungsstation befinden kann. Folglich kann das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 Daten von mehreren irgendwo in der Welt befindlichen Gasturbomaschinenanlagen von einem einzigen Überwachungsstandort aus empfangen und sie gleichzeitig überwachen. Das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 kann eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) 62 und ein rechnerlesbares Speichermedium 64, das mit einem Satz von Programmanweisungen 68 versehen ist, und einen Speicher 70 einschliessen. Wie unten ausführlicher erörtert werden wird, kann das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 wirksam mit einer Alarmeinrichtung 74 verbunden sein, die auf das Erkennen einer Verbrennungsanomalie hin einen visuellen und/oder einen hörbaren Alarm bereitstellen kann.

[0015] Fig. 3A und 3B illustrierte zwei beispielhafte Profile von Thermoelement-Abgasdaten, nach einer Ausführungsform der Offenbarung. Die Daten können als Diagramme in polaren Koordinaten dargestellt werden. Eine Winkelkoordinate eines Punkts auf dem Diagramm kann dem Winkel eines Temperatursensors von den mehreren Temperatursensoren entsprechen. Ein Radius des Punkts kann durch den Temperatursensor bereitgestellten Temperaturdaten entsprechen.

[0016] Fig. 3A stellt ein beispielhaftes normales Profil von Thermoelement-Abgasdaten für eine Turbomaschine, die 6 Brennkammern einschliesst, dar. Das normale Profil kann einem normalen Betrieb der Brennkammern entsprechen. In dem Beispiel von Fig. 3A schliesst das normale Profil 6 Spitzen ein, die sechs Brennkammern der Gasturbomaschine 2 entsprechen. Die sechs Spitzen wechseln sich mit sechs Tälern ab. Insgesamt können sechs Spitzen und sechs Täler ein normales Spitze-und-Tal-Muster für Turbomaschinen mit sechs Brennkammern bilden.

[0017] Fig. 3B stellt ein beispielhaftes anormales Profil von Thermoelement-Abgasdaten für eine Turbomaschine, die sechs Brennkammern einschliesst, dar. Anders als das normale Profil von Fig. 3A fehlt dem anormalen Profil von Fig. 3B eine Spitze beim Bereich 80. Das Fehlen einer Spitze in einem Spitze-Tal-Muster kann eine Anomalie bei Operationen von Brennkammern der Turbomaschine 2 anzeigen.

[0018] Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren 400 zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, zeigt. Die Operationen des Verfahrens 400 können durch das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 durchgeführt werden. Die Operationen des Verfahrens 400 können in Programmanweisungen 68 des Brennkammeranomalie-Erkennungssystems 60 eingebettet sein. Das Verfahren 400 kann Thermoelement-Abgasdaten analysieren, um ein anormales Spitze-Tal-Muster zu erkennen. Bei einigen Ausführungsformen der Offenbarung ist das System 60 dafür konfiguriert, eine Verarbeitung der Abgasdaten einmal pro Minute durchzuführen.

[0019] In Block 402 kann das Brennkammeranomalie-Erkennungssystem 60 Thermoelement-(thermocouple-TC-)Abgasdaten von den Thermometersensoren 50 empfangen. In Block 404 kann das System 60 Datenqualitätsprüfungen durchführen. Beim Entscheidungsblock 406 kann das System 60 feststellen, ob die Turbomaschine oberhalb einer vorbestimmten Last läuft, bei der ein Spitz-Tal-Muster zu erwarten ist. Falls die Turbomaschine nicht oberhalb der vorbestimmten Last läuft, dann kann das System 60, in Block 408, fortschreiten mit dem Auswerten darauffolgender Daten (zum Beispiel in einer darauffolgenden Minute empfangener Thermoelement-Abgasdaten).

[0020] Falls die Turbomaschine oberhalb der vorbestimmten Last läuft, dann kann das System 60 in Block 410 die Abweichung von der mittleren Abgastemperatur für jedes Thermoelement berechnen. In Block 412 kann das System 60 Spitzen und Täler in Abgasdaten identifizieren. In Block 414 kann das System 60 statistische Merkmale (zum Beispiel einen Merkmalsvektor) für die Spitze-Tal-Paare berechnen. Die statistischen Merkmale können die Temperaturdifferenz (Delta) von Spitze zu Tal, die mittlere Abweichung von allen Spitzen oder Tälern, die minimale Spitzentemperatur, die maximale Spitzentemperatur, die minimale Taltemperatur, die maximale Taltemperatur, das maximale Delta von Spitze zu Tal, das minimale Delta von Spitze zu Tal und so weiter einschliessen.

[0021] Im Entscheidungsblock 416 kann das System 60 feststellen, ob das den Thermoelement-Abgasdaten entsprechende Profil anormal ist. Bei einigen Ausführungsformen der Offenbarung schliesst die Feststellung das Verarbeiten des bei Block 414 ausgewerteten Merkmalsvektors durch ein maschinengelerntes Klassifizierungsmodell ein. Es sollte für die Fachleute zu erkennen sein, dass die Art von geeignetem Klassifizierungsmodell eine Stützvektormaschine (Support Vector Machine - SVM), ein künstliches neuronales Netz (Artificial Neural Network – ANN), einen Entscheidungsbaum oder andere Klassifikatoren einschliessen kann, aber nicht darauf begrenzt ist. Das Modell kann offline unter Verwendung sowohl normaler Abgasdatenproben als auch von Ausfall-Abgasdatenproben geschult werden. Durch das Verarbeiten des Merkmalsvektors unter Verwendung des geschulten Modells kann das System 60 feststellen, ob es ein anormales Spitze-Tal-Muster in den Thermoelement-Abgasdaten gibt. Falls das Profil (Spitze-Tal-Muster) normal ist, dann kann das System 60 in Block 418 fortschreiten mit dem Auswerten darauffolgender Thermoelement-Abgasdaten.

[0022] Falls das Profil anormal ist, kann das System 60 die Fortdauer der Anormalität zählen und das Latching der Anormalität auswerten. Falls das anormale Spitze-Tal-Muster für einen vordefinierten Zeitraum vorhanden ist und nicht schon während eines vordefinierten Latchingzeitraums ein Alarm erzeugt worden ist, kann zur weiteren Auswertung und Handlung in Block 422 ein Alarm ausgelöst werden.

[0023] Fig. 5 ist ein Ablaufdiagramm, das ein beispielhaftes Verfahren 500 zum Identifizieren von Spitzen- und Tälernpositionen in Thermoelement-Abgasdaten, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, illustriert. Das Verfahren 500 kann Einzelheiten des Blocks 412 des in Fig. 4 gezeigten Verfahrens 400 bereitstellen. In Block 502 kann das Verfahren 500 das Empfangen von Thermoelement-Abgasdaten einschliessen. Die Thermoelementdaten können durch die Temperatursensoren 50 für eine gegebene Minute bereitgestellte Temperaturen $Y(i)$ einschliessen. In Block 504 kann das Verfahren 500 das Erkennen von Positionen von Spitzen einschliessen. Die Position von Spitzen kann durch die Bedingung $Y(i) > Y(i-l)$ und $Y(i) > Y(i+l)$ definiert werden. In Block 506 kann das Verfahren 500 das Erkennen von Positionen von Tälern einschliessen. Jedes der Täler kann als die minimale $Y(i)$ zwischen zwei aufeinanderfolgenden Spitzen definiert werden. In Block 508 kann das Verfahren 500 das Eintragen von nicht erkannten Spitzen auf der Grundlage von Lücken in der räumlichen Position einschliessen. In Block 510 kann das Verfahren 500 das Durchführen von Datenkorrektur, falls mehr als M Spitzen erkannt werden, einschliessen, wobei M die Anzahl von Brennkammern in der Turbomaschine ist. In Block 512 kann das Verfahren 500 für das Ausgeben der endgültigen Spitzen- und Talposition sorgen.

[0024] Fig. 6 ist ein Blockdiagramm, das ein beispielhaftes Steuergerät 600 zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt, nach einer Ausführungsform der Offenbarung, illustriert. Im Einzelnen können die Elemente des Steuergeräts 600 dazu verwendet werden, eine Gasturbine unter mehreren Betriebsbedingungen, jedoch innerhalb vorbestimmter betrieblicher Grenzen der Verbrennung, zu betreiben, automatisch mit der Gasturbine verknüpfte betriebliche Daten zu sammeln, während die Gasturbine läuft, die betrieblichen Daten zu speichern, auf der Grundlage der betrieblichen Daten einen Satz von Konstanten für eine oder mehrere vorbestimmte Verbrennungstransferfunktionen zu erzeugen und den Satz von Konstanten in dem während der Inbetriebnahme der Gasturbine zu verwendenden Gasturbinen-Verbrennungssteuerungssystem zu speichern. Das Steuergerät 600 kann einen Speicher 610 einschliessen, der programmierte Logik 620 (z.B. Software) speichert und Daten 630, wie beispielsweise mit der Gasturbine verknüpfte betriebliche Daten, den Satz von Konstanten und dergleichen, speichern kann. Der Speicher 610 kann ebenfalls ein Betriebssystem 640 einschliessen.

[0025] Ein Prozessor 650 kann das Betriebssystem 640 benutzen, um die programmierte Logik 620 auszuführen, und kann dabei ebenfalls die Daten 630 benutzen. Ein Datenbus 660 kann eine Kommunikation zwischen dem Speicher 610 und dem Prozessor 650 bereitstellen. Benutzer können sich mit dem Steuergerät 600 über wenigstens ein Benutzerschnittstellengerät 670, wie beispielsweise eine Tastatur, Maus, Kontrolltafel oder ein beliebiges anderes Gerät, das dazu in der Lage ist, Daten zu und von dem Steuergerät 600 weiterzuleiten, verbinden. Das Steuergerät 600 kann über eine Eingabe-/Ausgabe-(input/output I/O-)Schnittstelle 680 online in Verbindung mit dem Gasturbinen-Verbrennungssteuerungssystem stehen, während es arbeitet, sowie offline in Verbindung mit dem Gasturbinen-Verbrennungssteuerungssystem stehen, während es nicht arbeitet. Ausserdem sollte zu erkennen sein, dass andere externe Geräte oder mehrere andere Gasturbinen oder Brennkammern über die I/O-Schnittstelle 680 in Verbindung mit dem Steuergerät 600 stehen können. Bei der illustrierten Ausführungsform der Offenbarung kann das Steuergerät 600 entfernt in Bezug auf die Gasturbine angeordnet sein, es kann jedoch gemeinsam mit der Gasturbine angeordnet oder sogar integriert sein. Ferner können das Steuergerät 600 und die durch dasselbe umgesetzte programmierte Logik 620 Software, Hardware, Firmware oder eine beliebige Kombination derselben einschliessen. Es sollte ebenfalls zu erkennen sein, dass mehrere Steuergeräte 600 verwendet werden können, wodurch unterschiedliche hierin beschriebene Merkmale auf einem oder mehreren unterschiedlichen Steuergeräten 600 ausgeführt werden können.

[0026] Es werden Verweise auf Blockdiagramme von Systemen, Verfahren, Vorrichtungen und Rechnerprogrammen, nach Ausführungsbeispielen der Offenbarung, vorgenommen. Es versteht sich, dass wenigstens einige der Blöcke der Blockdiagramme und Kombinationen von Blöcken in den Blockdiagrammen wenigstens teilweise durch Rechnerprogrammanweisungen umgesetzt werden können. Diese Rechnerprogrammanweisungen können auf einen Allzweckrechner, einen Spezialrechner, einen Rechner auf Grundlage von Spezialsoftware oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung geladen werden, um eine Maschine zu erzeugen, derart, dass die Anweisungen, die auf dem Rechner oder der anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden, Mittel zum Umsetzen der Funktionalität wenigstens einiger der Blöcke der Blockdiagramme oder Kombinationen von Blöcken in den Blockdiagrammen schaffen.

[0027] Diese Rechnerprogrammanweisungen können ebenfalls in einem rechnerlesbaren Speicher gespeichert werden, der einen Rechner oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung anweisen kann, auf eine bestimmte Weise zu funktionieren, derart, dass die in dem rechnerlesbaren Speicher gespeicherten Anweisungen einen Fertigungsartikel erzeugen, der Anweisungsmittel einschliesst, welche die in dem Block oder den Blöcken spezifizierte Funktion umsetzen. Die Rechnerprogrammanweisungen können ebenfalls auf einen Rechner oder eine andere programmierbare Datenverarbeitungsvorrichtung geladen werden, um zu veranlassen, dass eine Reihe von Operationsschritten auf dem einen Rechner oder der anderen programmierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung durchgeführt wird, um einen rechnerimplementierten Prozess zu erzeugen, derart, dass die Anweisungen, die auf dem Rechner oder der anderen program-

mierbaren Datenverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden, Schritte zum Umsetzen der in dem Block oder den Blöcken spezifizierten Funktionen bereitstellen.

[0028] Eine oder mehrere Komponenten der Systeme und ein oder mehrere Elemente der Verfahren, die hierin beschrieben werden, können durch ein Anwendungsprogramm umgesetzt werden, das auf einem Betriebssystem eines Rechners läuft. Sie können ebenfalls mit anderen Rechnersystemkonfigurationen, einschliesslich von Handgeräten, Mehrprozessorsystemen, mikroprozessorbasierter oder programmierbarer Verbraucherelektronik, Minirechnern, Grossrechnern und dergleichen, in die Praxis umgesetzt werden.

[0029] Anwendungsprogramme, die Komponenten der hierin beschriebenen Systeme und Verfahren sind, können Routinen, Programme, Komponenten, Datenstrukturen und so weiter einschliessen, die bestimmte abstrakte Datentypen umsetzen und bestimmte Aufgaben oder Aktionen durchführen. In einer verteilten Datenverarbeitungsumgebung kann sich das Anwendungsprogramm (im Ganzen oder zum Teil) in einem lokalen Speicher oder in einer anderen Speicherung befinden. Ausserdem oder alternativ kann sich das Anwendungsprogramm (im Ganzen oder zum Teil) in entferntem Speicher oder in einer Speicherung befinden, um Umstände zu ermöglichen, wobei Aufgaben durch entfernte Verarbeitungsgeräte, die durch ein Kommunikationsnetz verknüpft sind, durchgeführt werden.

[0030] Es werden viele Modifikationen und andere Ausführungsformen der hierin dargelegten beispielhaften Beschreibungen, zu denen diese Beschreibungen gehören, offensichtlich werden, wenn man den Vorteil der in den vorstehenden Beschreibungen und den zugehörigen Zeichnungen vorgestellten Lehren hat. Es wird folglich zu erkennen sein, dass die Offenbarung in vielen Formen umgesetzt werden kann und nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele begrenzt werden kann.

[0031] Daher versteht es sich, dass die Offenbarung nicht auf die spezifischen offenbarten Ausführungsformen zu begrenzen ist und dass beabsichtigt ist, dass Modifikationen und andere Ausführungsformen innerhalb des Rahmens der angefügten Ansprüche eingeschlossen sind. Obwohl hierin spezifische Begriffe eingesetzt werden, werden sie nur in einem allgemeinen und beschreibenden Sinn und nicht zu Zwecken der Begrenzung verwendet.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0032]

- 2 Gasturbomaschinenanlage
- 4 Gasturbomaschine
- 6 Verdichterabschnitt
- 8 Turbinenabschnitt
- 10 Brennkammer-Baugruppe
- 12 Brennkammern
- 14 Welle
- 16 Lufteinlass
- 18 Abgasauslass
- 20 Luftansauganlage
- 22 Abgasanlage
- 30 angetriebene Last
- 40 Gehäuse
- 42 Aussenfläche
- 44 Innenfläche
- 46 Abgas-Strömungsbahn
- 50 mehrere Temperatursensoren
- 60 Brennkammeranomalie-Erkennungssystem
- 62 zentrale Verarbeitungseinheit (CPU)

64	rechnerlesbares Speichermedium
68	Satz von Programmanweisungen
70	Speicher
74	Alarm
80	Bereich
400	Verfahren zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt einer Gasturbine
402	Verfahrensoperation
404	Verfahrensoperation
406	Verfahrensoperation
408	Verfahrensoperation
410	Verfahrensoperation
412	Verfahrensoperation
414	Verfahrensoperation
416	Verfahrensoperation
418	Verfahrensoperation
420	Verfahrensoperation
422	Verfahrensoperation
500	Verfahren zum Identifizieren von Spitzen- und Talerpositionen in Thermoelement-Abgasdaten
502	Verfahrensoperation
504	Verfahrensoperation
506	Verfahrensoperation
508	Verfahrensoperation
510	Verfahrensoperation
512	Verfahrensoperation
600	Steuergerät
610	Speicher
620	programmierte Logik
630	Daten
640	Betriebssystem
650	Prozessor
660	Datenbus
670	Benutzerschnittstellengerat
680	Eingabe-/Ausgabe- (I/O-) Schnittstelle

Patentansprüche

1. System (60) zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt (10) einer Gasturbine (4), wobei das System Folgendes umfasst:

mehrere Brennkammern (12), die mit einem Verbrennungsabschnitt (10) verknüpft sind, mehrere thermische Sensoren (50), die um eine Abgassektion (22) einer Gasturbine (4) angeordnet sind, wobei die thermischen Sensoren (50) dafür konfiguriert sind, Abgasprofildaten der Gasturbine bereitzustellen (4), eine Verarbeitungsschaltung (62), die kommunikativ an einen Speicher (70) angeschlossen ist, wobei der Speicher (70) Anweisungen speichert (68), die, wenn sie durch die Verarbeitungsschaltung (62) ausgeführt werden, Operationen durchführen, die Folgendes umfassen:

das Empfangen, von den mehreren thermischen Sensoren (50), der Abgasprofildaten der Gasturbine (4),
das Analysieren der Abgasprofildaten, um statistische Merkmale zu berechnen, die mit einem Spitze-Tal-Muster verknüpft sind,
das Feststellen, unter Verwendung eines Maschinernalgorithmus, dass die statistischen Merkmale anormal sind, und,
als Reaktion auf die Feststellung, das Fortsetzen des Verarbeitens der Abgasprofildaten für einen vorbestimmten Zeitraum und das Melden einer Anomalie in dem Verbrennungsabschnitt (10) der Gasturbine (4), falls die statistischen Merkmale für den vorbestimmten Zeitraum anormal bleiben.

2. System (60) nach Anspruch 1, wobei der Maschinernalgorithmus unter Verwendung historischer Abgasprofildaten geschult wird, wobei die historischen Abgasprofildaten normale Datenproben und falsche Datenproben einschliessen.
3. System (60) nach Anspruch 1, wobei die mehreren thermischen Sensoren (50) in Radialrichtung um einen mit der Gasturbine (4) verknüpften Abgasdiffusor angeordnet sind.
4. System (60) nach Anspruch 1, wobei die mehreren thermischen Sensoren (50) in einer gleichmässig beabstandeten Gruppierung angeordnet sind.
5. System (60) nach Anspruch 1, wobei die Abgasprofildaten mehrere Paare von Spitze und Tal einschliessen, wobei jedes Paar von Spitze und Tal der mehreren Spitzen und Täler wenigstens einer Brennkammer der mehreren Brennkammern (12) entspricht.
6. System (60) nach Anspruch 5, wobei das Analysieren das Auswerten jedes Paares von Spitze und Tal im Verhältnis zu einem erwarteten Spitze-Tal-Muster einschliesst.
7. System (60) nach Anspruch 5, wobei das Analysieren Folgendes einschliesst:
das Identifizieren, auf der Grundlage der Abgasprofildaten, eines mit jedem der mehreren thermischen Sensoren (50) verknüpften Paares von Spitze und Tal und
das Berechnen der statistischen Merkmale für jedes Spitze-Tal-Paar.
8. System (60) nach Anspruch 1, wobei die Abgasprofildaten mit den mehreren thermischen Sensoren (50) verknüpfte statistische Merkmale einschliessen, wobei die statistischen Merkmale wenigstens eines von den Folgenden einschliessen: eine minimale Spitzentemperatur, eine maximale Spitzentemperatur, eine minimale Taltemperatur, eine maximale Taltemperatur, ein minimales Delta von Spitze zu Tal und ein maximales Delta von Spitze zu Tal.
9. System (60) nach Anspruch 1, wobei das Feststellen, dass die statistischen Merkmale anormal sind, das Erzeugen eines Merkmalsvektors auf der Grundlage wenigstens der statistischen Merkmale und das Verarbeiten des Merkmalsvektors durch ein Klassifizierungsmodell einschliesst.
10. System (60) nach Anspruch 1, das ferner vor dem Analysieren Folgendes umfasst:
das Feststellen einer Qualität der Abgasprofildaten und
als Reaktion auf das Feststellen, dass die Qualität unterhalb eines vorbestimmten Qualitätsniveaus liegt, das Anpassen der Abgasprofildaten.
11. System (60) nach Anspruch 1, wobei das Analysieren durchgeführt wird, nachdem die Gasturbine (4) oberhalb einer vorbestimmten Last arbeitet.
12. System (60) nach Anspruch 1, das ferner das Ausgeben eines Alarms (74) wenigstens zum Teil auf der Grundlage des Erkennens der Anomalie in dem Verbrennungsabschnitt (10) der Gasturbine (4) umfasst.
13. System (60) nach Anspruch 12, wobei der Alarm (74) wenigstens eines von den Folgenden auslöst: eine weitere Auswertung und eine reagierende Handlung.
14. Verfahren (400) zum Erkennen einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt (10) einer Gasturbine (4), wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
das Empfangen, von mehreren thermischen Sensoren (50), die um eine Abgassektion (22) einer Gasturbine (4) angeordnet sind, der Abgasprofildaten der Gasturbine (4),
das Analysieren der Abgasprofildaten, um statistische Merkmale zu berechnen, die mit einem Spitze-Tal-Muster verknüpft sind,
das Feststellen, unter Verwendung eines Maschinernalgorithmus, dass die statistischen Merkmale anormal sind, und,
als Reaktion auf die Feststellung, das Fortsetzen des Verarbeitens der Abgasprofildaten für einen vorbestimmten Zeitraum und

CH 710 737 A2

das Melden einer Anomalie in einem Verbrennungsabschnitt (10) der Gasturbine (4), falls die statistischen Merkmale für den vorbestimmten Zeitraum anormal bleiben.

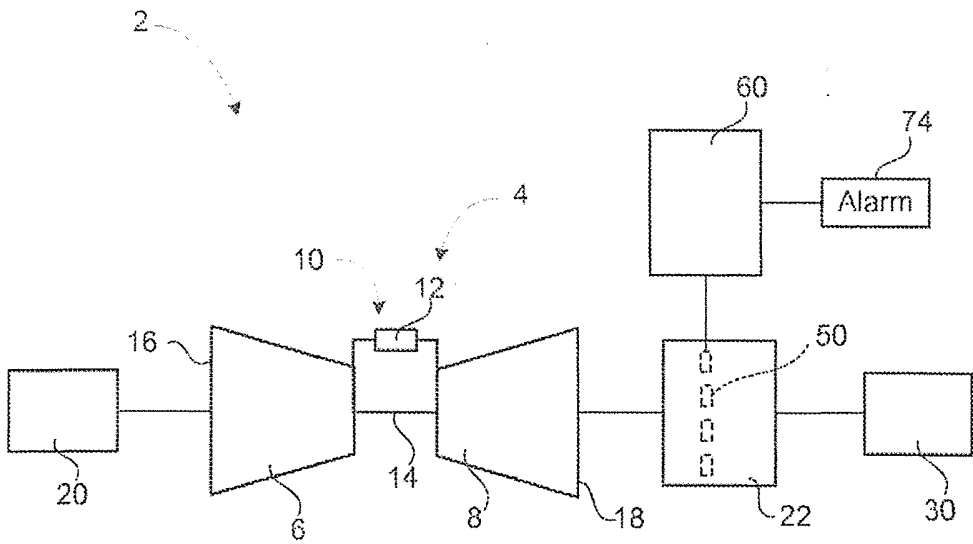


FIG. 1

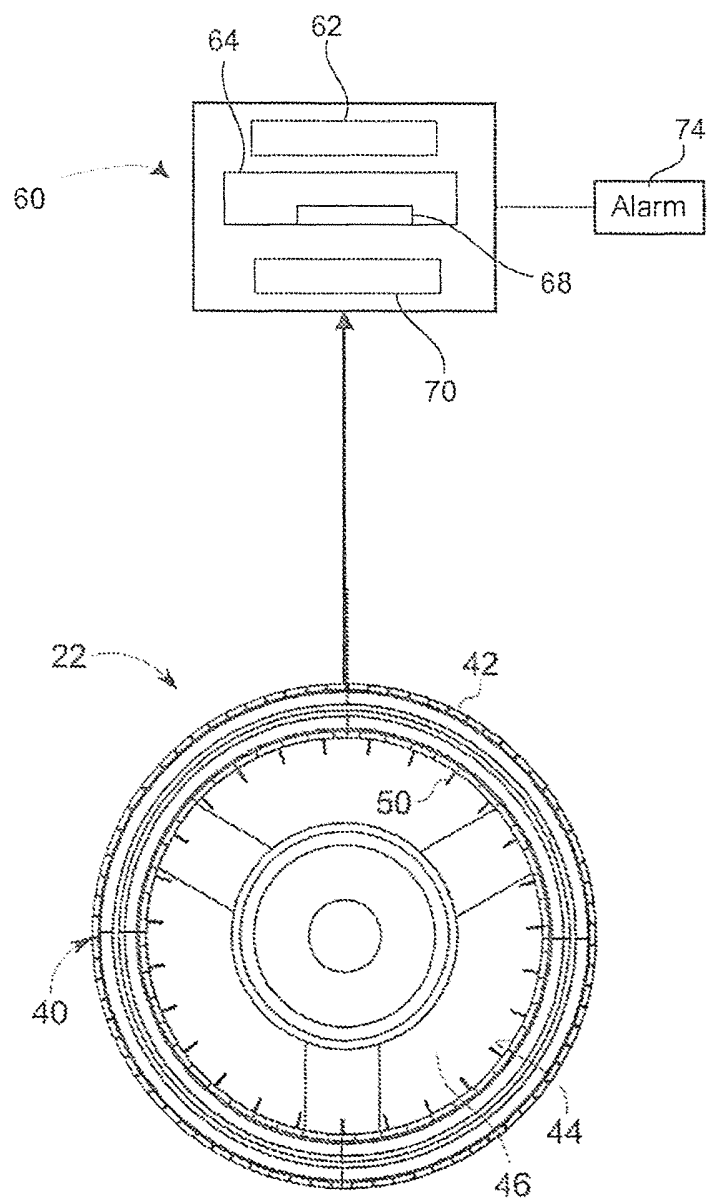


FIG. 2

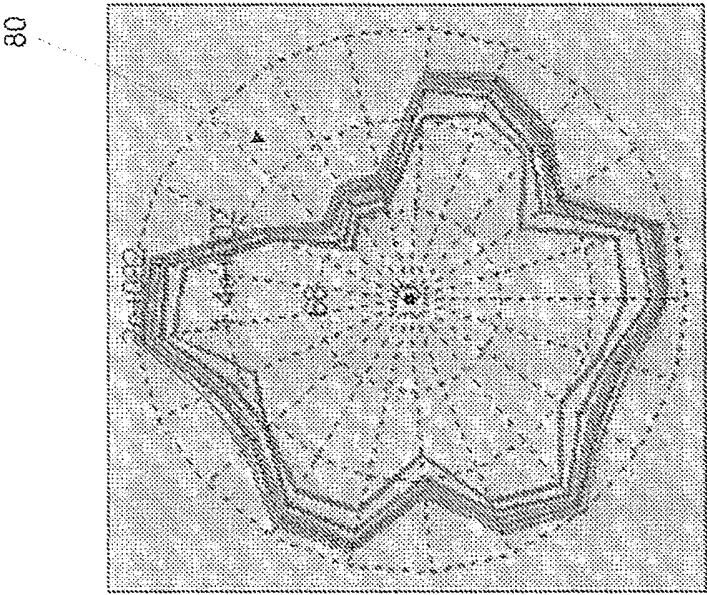


FIG. 3A

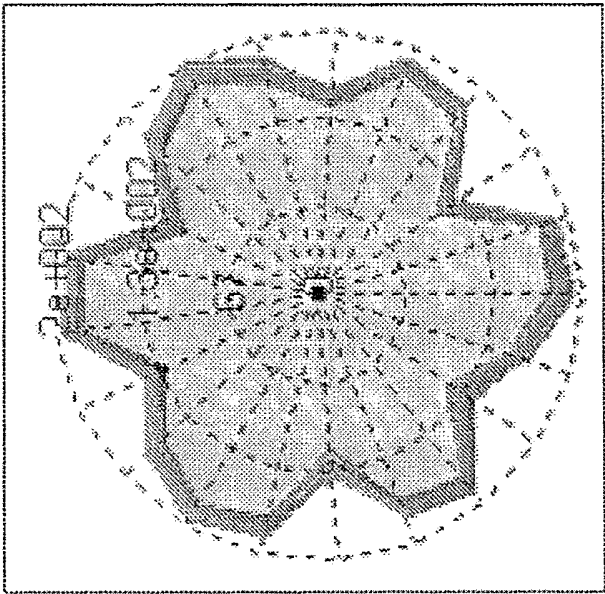


FIG. 3B

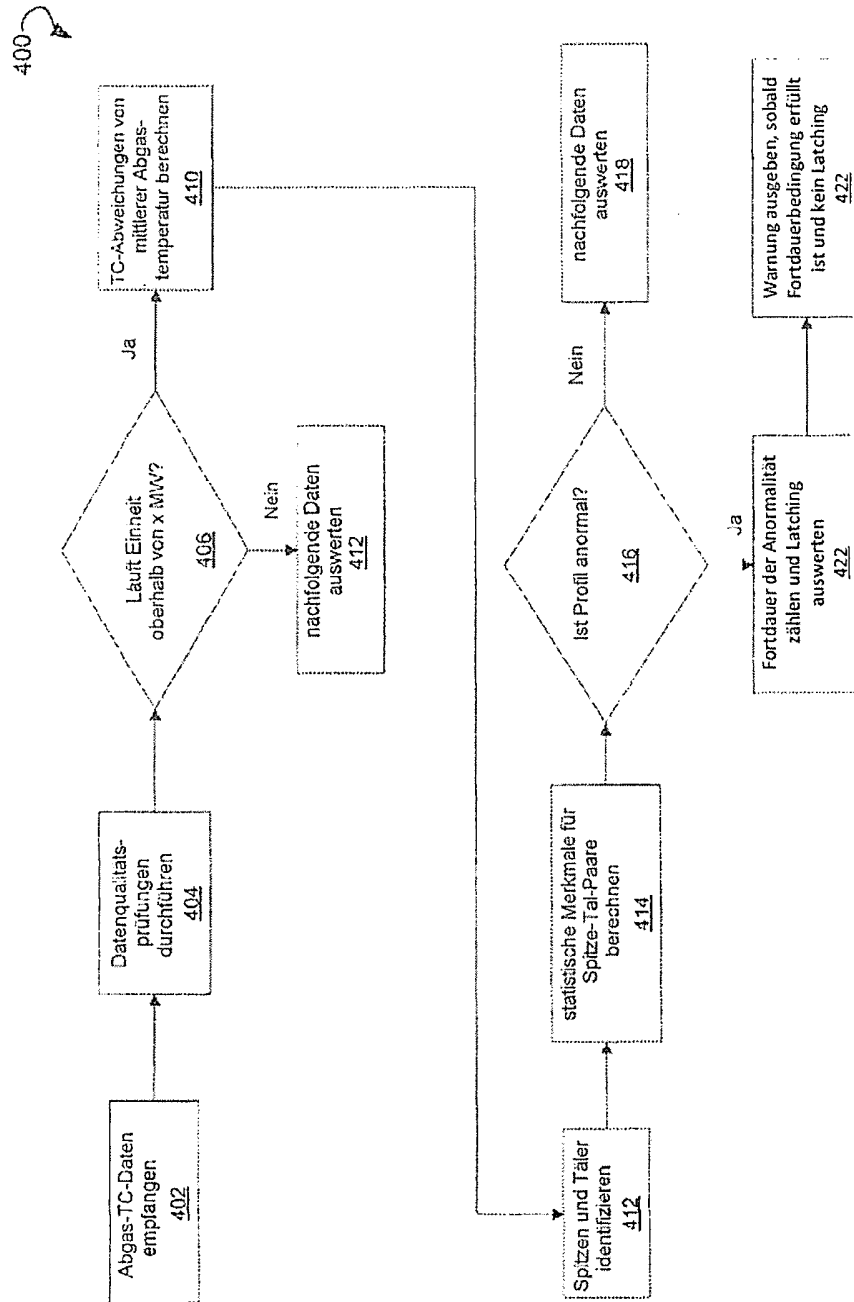


FIG. 4

500

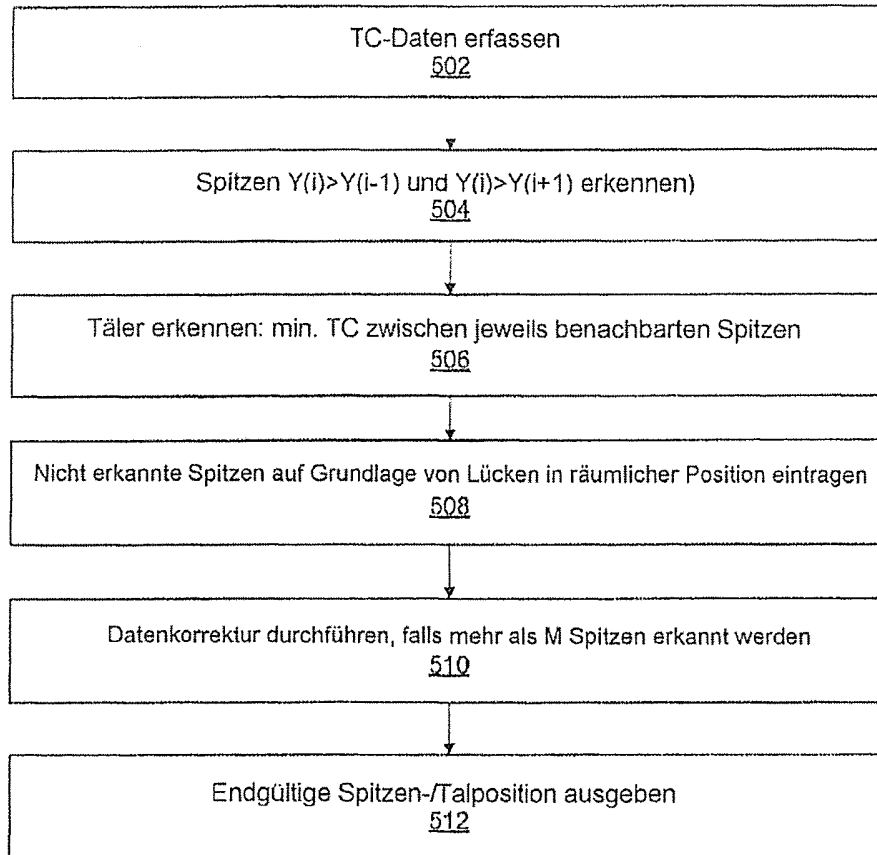


FIG. 5

600

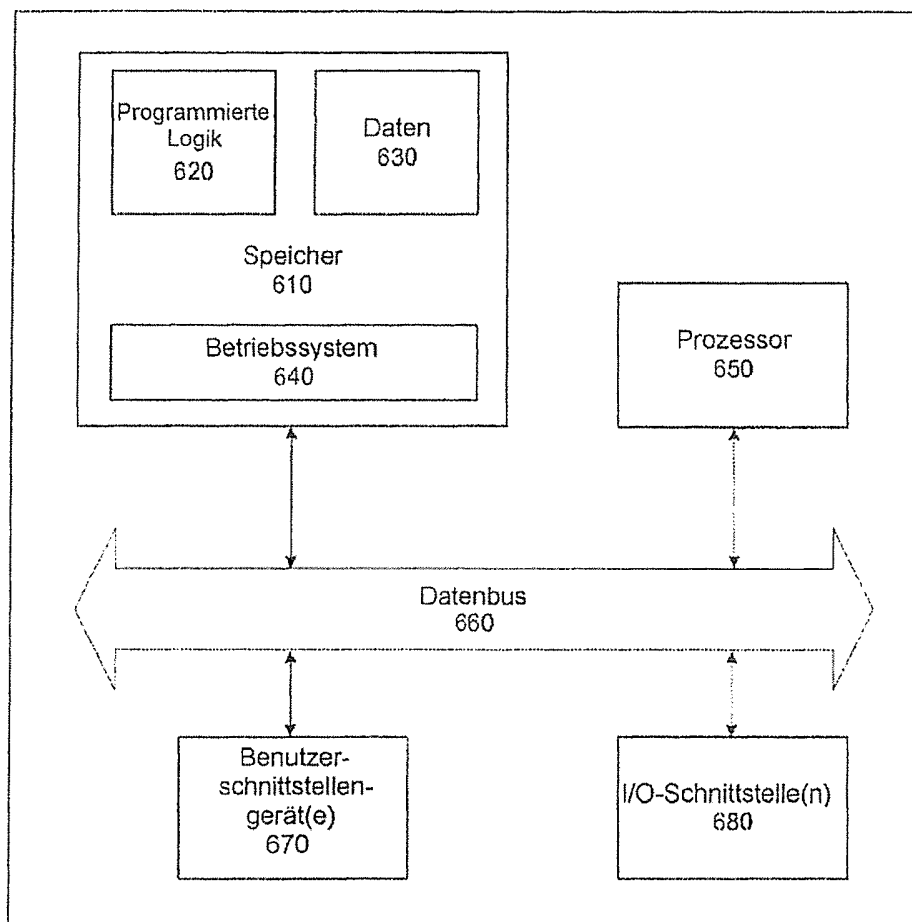


FIG. 6