

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50233/2017
 (22) Anmeldetag: 22.03.2017
 (45) Veröffentlicht am: 15.12.2019

(51) Int. Cl.: **G05B 13/04** (2006.01)
G05B 17/02 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)
G06Q 10/06 (2012.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 EP 2523150 A1
 US 9092802 B1
 DE 4436658 A1
 US 2009093892 A1

(73) Patentinhaber:
 AIT AUSTRIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 GMBH
 1220 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
 Wurzenberger Markus
 1100 Wien (AT)
 Skopik Florian
 2000 Stockerau (AT)

(74) Vertreter:
 Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG
 1030 Wien (AT)

(54) Verfahren zur Erkennung des normalen Betriebszustands eines Arbeitsprozesses

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung des normalen Betriebszustands eines Arbeitsprozesses, bei dem eine Maschine (M') in einer Arbeitsumgebung mit externen Vorgaben betrieben wird, wobei die Maschine (M') Sensoren (S'₁, ..., S'_m) zur Messung physikalischer Parameter an vorgegebenen Positionen im Bereich der Maschine M' aufweist, wobei

- ein Standardprozess mit einer Standardmaschine (M₁) in der Standardumgebung mit externen Standardvorgaben gestartet wird,
- wobei die Standardmaschine (M₁) über eine Anzahl von Sensoren (S₁, ..., S_n) verfügt,
- wobei mit den Sensoren (S₁, ..., S_n) der Standardmaschine (M₁) wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden, und
- nach Regeln (R₁, ..., R_p) gesucht wird, die den Zusammenhang der ermittelten Messwerte während des normalen Betriebszustands der Standardmaschine (M₁) in der betreffenden Arbeitsumgebung mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während des normalen Betriebszustands erfüllt sind,

Die Erfindung sieht vor, dass anschließend

- die für den Standardprozess ermittelten Regeln (R₁, ..., R_p) auf den Arbeitsprozess einer der Standardmaschine (M₁) ähnlichen oder identischen Maschine (M') in der Arbeitsumgebung übertragen werden,

- wobei die Maschine (M') über eine Anzahl von Sensoren (S'₁, ..., S'_m) der Maschine (M') verfügt, deren Position und Sensitivität mit den auf der Standardmaschine (M₁) befindlichen Sensoren (S₁, ..., S_n) zumindest teilweise übereinstimmt und
- mit den Sensoren (S'₁, ..., S'_m) der Maschine (M') wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden,
- untersucht wird, ob die übermittelten Regeln (R₁, ..., R_p) durch die Messwerte derjenigen Sensoren (S'₁, ..., S'_m) der Maschine (M'), die mit den Sensoren (S₁, ..., S_n) der Standardmaschine (M₁) hinsichtlich Anordnung und Sensitivität übereinstimmen, erfüllt sind, und
- wenn dies der Fall ist, die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses übernommen werden, und
- sofern dies nicht der Fall ist, die Regeln an die neuen Messwerte angepasst oder verworfen werden.

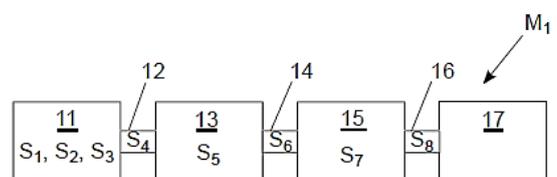


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung des normalen Betriebszustands eines Arbeitsprozesses gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Die stetig zunehmende Digitalisierung bzw. Automatisierung von industriellen Prozessen beschleunigt und vereinfacht zwar Produktionsprozesse und Fertigung, macht aber beispielsweise die Wartung von Maschinen und Fertigungsstraßen aufgrund der zunehmenden Komplexität immer schwieriger bzw. aufwändiger. Die zunehmende Anzahl von Sensoren pro Meter einer Fertigungsstraße macht es unmöglich, alle zur Verfügung stehenden Daten manuell zu erfassen und zu beurteilen. Daher wird der Fokus vermehrt auf die Entwicklung von Methoden beispielsweise zur prädiktiven Instandhaltung gelegt, die dabei helfen, Produktionsprozesse und Wartungen zu optimieren und sich anbahnende Fehler zu erkennen, bevor Ausfälle auftreten. Andererseits können derartige Methoden auch dazu genutzt werden, Produktionsprozesse zu optimieren, da Anomalien auch durch suboptimale Prozess-Konfigurationen hervorgerufen werden können, die Spielraum für Optimierungen des Maschinenbetriebes bieten.

[0003] Aus dem Stand der Technik, beispielsweise aus Hartung, Joachim, Bärbel Elpelt, and Karl-Heinz Klösener. Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Walter de Gruyter, 2009 und Murphy, Kevin P. Machine learning: a probabilistic perspective. MIT press, 2012 sind eine Vielzahl an Methoden aus den Bereichen Statistik und Machine Learning bekannt, die beispielsweise für Prozess- und Wartungsoptimierung genutzt werden können. Bei derartigen Verfahren aus dem Stand der Technik werden zunächst Kennzeichen eines normalen Betriebszustands, auch als "Ground Truth" bezeichnet, ermittelt. Diese beschreiben den normalen Betriebszustand einer Maschine während eines Arbeitsprozesses anhand von Zusammenhängen von während des normalen Betriebszustands ermittelten Messwerten und sind während des normalen Betriebszustands gültig. Abweichungen von der "Ground Truth" werden von einem derartigen Verfahren als anomale Zustände der Maschine erkannt und als Hinweise auf defekte Maschinenbauteile oder Fehlkonfigurationen des Arbeitsprozesses der Maschine gedeutet.

[0004] Bei aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren wird allerdings vorausgesetzt, dass spätestens bei Inbetriebnahme einer Maschine bekannt ist, beispielsweise in welchem Bauteil der Maschine welche Fehler identifiziert werden sollen und durch Messung welcher physikalischer Größen diese zu erkennen sind, wobei üblicherweise nur einzelne Maschinenbauteile oder -bauteilgruppen und nicht Zusammenhänge, die die gesamte Maschine betreffen, betrachtet werden. Auch die Überführung einer erfolgreich eingesetzten Methode auf eine Maschine desselben Typs, die geringfügige bauliche Veränderungen aufweist oder in einem anderen Einsatzgebiet verwendet wird, erweist sich als nahezu unmöglich und individuelle Anpassungen sind notwendig, um die Methoden aufwändig nachzujustieren. Ein weiteres Problem stellt der Umstand dar, dass dieselbe Maschine in den meisten Fällen zur Produktion unterschiedlicher Produkte und Aufträge genutzt wird und das verwendete Rohmaterial nicht immer derselben Qualität entspricht und daher zu Variabilitäten im Produktionsprozess führen kann. Dieselbe Maschine kann auch in Ländern in unterschiedlichen geographischen Breiten genutzt werden, wodurch Maschinen desselben Typs unweigerlich auch unterschiedlichen Umwelt- und Klimaeinflüssen ausgesetzt sind und somit der normale Betriebszustand einer Maschine schwer zu erfassen ist.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, diese Probleme zu lösen und ein Verfahren bereitzustellen, bei dem Regeln für den normalen Betriebszustand von Maschinen während der jeweiligen Arbeitsprozesse aufgestellt werden und die Regeln automatisch auf beispielsweise unterschiedliche Aufträge, die auf derselben Maschine durchgeführt werden, unterschiedliche Umgebungsbedingungen, denen die Maschinen ausgesetzt sind oder auch auf andere, überwiegend baugleiche Maschinen übertragen und angepasst werden.

[0006] Diese Aufgaben werden durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Die Erfindung sieht dabei vor, dass anschließend die für den Standardprozess ermittelten Regeln auf den Arbeitsprozess einer der Standardmaschine ähnlichen oder identischen Maschine in der Arbeitsumgebung übertragen werden, wobei die Maschine über eine Anzahl von Sensoren der Maschine verfügt, deren Position und Sensitivität mit den auf der Standardmaschine befindlichen Sensoren zumindest teilweise übereinstimmt und mit den Sensoren der Maschine wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden, untersucht wird, ob die übermittelten Regeln durch die Messwerte derjenigen Sensoren der Maschine, die mit den Sensoren der Standardmaschine hinsichtlich Anordnung und Sensitivität übereinstimmen, erfüllt sind, und wenn dies der Fall ist, die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses übernommen werden, und sofern dies nicht der Fall ist, die Regeln an die neuen Messwerte angepasst oder verworfen werden.

[0008] Um die Anzahl an übertragenen Regeln nicht unnötig hoch werden zu lassen, ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass untersucht wird, ob bei der Standardmaschine Sensoren vorhanden sind, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor der Maschine zuordenbar ist, wobei im Falle des Fehlens von zuordenbaren Sensoren bei der Maschine die Regeln, die für diese Sensoren bei der Standardmaschine gelten, gestrichen werden.

[0009] Für den Fall, dass dieselbe physikalische Größe auf der Standardmaschine und der Maschine mit Sensoren mit unterschiedlicher Funktionsweise ermittelt wird, ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass untersucht wird, ob einander zugeordnete Sensoren der Maschine dieselbe Kennlinie hinsichtlich der zu ermittelnden physikalischen Größe aufweisen, wobei im Fall einander zugeordneter Sensoren der Maschine mit einer unterschiedlichen Kennlinie diejenigen Regeln, die für diese Sensoren bei der Standardmaschine gültig sind, an die neue Kennlinie der Maschine angepasst werden.

[0010] Eine besonders flexible Anwendung der Erfindung ist gewährleistet dadurch, dass untersucht wird, ob bei der Maschine Sensoren vorhanden sind, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor der Standardmaschine zuordenbar ist, dass für die Messwerte der so ermittelten Sensoren der Maschine neue Regeln aufgestellt werden, die den normalen Betriebszustand charakterisieren, wobei insbesondere diese Regeln auf dieselbe Weise erstellt werden, die auch für die Erstellung von der Regeln für die Messwerte des Standardprozesses verwendet werden, wobei diese Regeln insbesondere auch Messwerte von Sensoren berücksichtigen können, die sowohl auf der Maschine, als auch auf der Standardmaschine vorhanden sind.

[0011] Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann vorteilhafterweise auch angewendet werden, wenn die Maschine durch Modifikation der Standardmaschine oder einer mit der Standardmaschine baugleichen weiteren Standardmaschine erstellt wird, indem der Standardmaschine Bauteile und/oder Sensoren hinzugefügt werden, und/oder von der Standardmaschine Bauteile und/oder Sensoren entfernt werden, und/oder Bauteile der Standardmaschine modifiziert werden, und/oder Sensoren der Standardmaschine neu positioniert oder hinsichtlich ihrer Sensitivität oder Kalibrierung geändert werden.

[0012] Für eine Anwendung der Erfindung auf Maschinen in beispielsweise unterschiedlichen geographischen Breiten und Klimazonen ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass der Arbeitsprozess festgelegt wird, in dem die Maschine oder die Standardmaschine in einer von der Standardumgebung abweichenden Arbeitsumgebung betrieben wird, wobei sich die Arbeitsumgebung von der Standardumgebung insbesondere hinsichtlich der folgenden Umgebungsparameter unterscheidet:

[0013] a) Umgebungstemperatur, und/oder

[0014] b) Umgebungsluftfeuchtigkeit, und/oder

[0015] c) Umgebungsluftdruck, ...

[0016] Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann vorteilhafterweise auch auf Maschinen nach einer Änderung eines Auftrags oder Arbeitsprozesses übertragen werden, indem überprüft wird,

ob bei der Maschine externe Vorgaben vorhanden sind, die zumindest teilweise mit den externen Standardvorgaben der Standardmaschine übereinstimmen und dass untersucht wird, ob die übermittelten Regeln durch die externen Vorgaben der Maschine, die mit den externen Standardvorgaben der Standardmaschine übereinstimmen, erfüllt sind, und wenn dies der Fall ist, die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses übernommen werden, und sofern dies nicht der Fall ist, die Regeln an die neuen externen Vorgaben angepasst oder verworfen werden oder für diese neuen externen Vorgaben neue Regeln festgelegt werden.

[0017] Zur Erkennung suboptimaler Prozess-Konfigurationen oder sich anbahnender Fehler, bevor Ausfälle auftreten, sieht die Erfindung vor, dass die Maschine in der Arbeitsumgebung betrieben wird, dass während des Arbeitsprozesses zu vorgegebenen wiederkehrenden Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden, dass die für den Arbeitsprozess ermittelten Regeln auf die Messwerte angewendet werden, und falls Messwerte vorhanden sind, die den Regeln für den normalen Betriebszustand nicht genügen, ein anomaler Zustand der Maschine und/oder des Arbeitsprozesses identifiziert wird.

[0018] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass auf zumindest zwei Standardmaschinen Regeln ermittelt werden, die den Zusammenhang der ermittelten Messwerte während des normalen Betriebszustands der Standardmaschinen in den betreffenden Arbeitsumgebungen mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während der normalen Betriebszustände erfüllt sind, und wobei die für zumindest zwei Standardmaschinen ermittelten Regeln auf den Arbeitsprozess einer den Standardmaschinen ähnlichen oder identischen Maschine in der Arbeitsumgebung übertragen werden.

[0019] Um Regelsets vielfältiger Standardmaschinen nutzen zu können und eine einfache Übertragung von Regeln sicherzustellen, ist vorgesehen, dass in einer zentralen Schaltstelle Regelsets, insbesondere umfassend eine Anzahl von ermittelten Regeln, gespeichert werden, wobei die Regelsets die Zusammenhänge der ermittelten Messwerte während der normalen Betriebszustände einer Vielzahl von Standardmaschinen in den betreffenden Arbeitsumgebungen mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während der normalen Betriebszustände erfüllt sind, wobei für einen Arbeitsprozess mit externen Vorgaben in einer Arbeitsumgebung einer den Standardmaschinen ähnlichen oder identischen Maschine geeignete Regelsets ausgewählt werden, wobei die Regelsets nach Übereinstimmung der Sensoren und/oder der Umgebungsparameter der Arbeitsumgebung und/oder der externen Vorgaben der Maschine ausgewählt werden, und wobei die ausgewählten Regelsets auf den Arbeitsprozess der Maschine in der Arbeitsumgebung übertragen werden.

[0020] Ein Programm zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens auf einer Maschine kann vorteilhafterweise auf einem Datenträger abgespeichert werden.

[0021] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den beiliegenden Zeichnungen. Die Erfindung ist im Folgenden anhand von besonders vorteilhaften, aber nicht einschränkend zu verstehenden, Ausführungsbeispielen dargestellt und wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beispielhaft beschrieben.

[0022] Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird in Zusammenhang mit Fig. 1 und Fig. 2 näher dargestellt.

[0023] Fig. 1 zeigt schematisch eine Maschine M_1 , die eine Einzugs-Einheit 11 besitzt, an der sich drei Sensoren S_1 , S_2 , S_3 befinden, wobei die Einzugs-Einheit 11 über beispielsweise einen ersten Förderband-Abschnitt 12 mit einer Druck-Einheit 13 verbunden ist, wobei sich auf dem ersten Förderband-Abschnitt 12 ein Sensor S_4 und auf der Druck-Einheit 13 ein weiterer Sensor S_5 befinden. Diese Maschine M_1 wird im Rahmen des dargestellten Ausführungsbeispiels später als Standardmaschine benutzt. Die Druck-Einheit 13 ist über einen zweiten Förderband-Abschnitt 14 mit einer Stanzungs-Einheit 15 verbunden, wobei sich auf dem zweiten Förderband-Abschnitt 14 ein Sensor S_6 und auf der Stanzungs-Einheit 15 ein Sensor S_7 befinden. Die Stanzungs-Einheit 15 ist schließlich über einen dritten Förderband-Abschnitt 16 mit einer Aus-

wurf-Einheit 17 verbunden, wobei sich auf dem dritten Förderband-Abschnitt 16 ein Sensor S_8 befindet. Eine derartig aufgebaute Maschine M_1 kann beispielsweise zum Bedrucken und Stanzen von Wellpappeplatten genutzt werden. Die Maschine M_1 wird im Beispiel durch einen Keilriemen angetrieben und die Druck-Einheit 13 umfasst eine Fixierwalze.

[0024] Folgende Vorgangsweise wird von derartigen Verfahren üblicherweise für die Festlegung des normalen Betriebszustands einer Maschine M_1 als "Ground Truth" benutzt:

[0025] Zuerst wird eine Parametrisierung durchgeführt, wobei der betreffenden Maschine M_1 eine Anzahl von n Attributen zugewiesen wird. Die einzelnen Attribute werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer Attributidentifikation i in Form einer vorgegebenen natürlichen Zahlen, beispielsweise im Zahlenbereich zwischen 1 und n versehen.

[0026] Im Folgenden werden beliebig gewählte Zeitpunkt mit t bezeichnet, wobei ein solcher Zeitpunkt t aus einer Menge $\{T_0, T_1, T_2, \dots\}$ gewählt ist.

[0027] Zu einer vorgegebenen Anzahl von diskreten Zeitpunkten t wird während des Betriebs der Maschine M_1 für jedes einzelne Attribut mit der Attributidentifikation i jeweils ein Attributwert x_i^t festgelegt. Die Zeitpunkte werden dabei ausgehend von einem Initialzeitpunkt T_0 bis zum Zeitpunkt T , der letzten Erfassung von Attributwerten bezeichnet. Entsprechend der jeweils verwendeten Attributidentifikation i werden die einzelnen für den betreffenden Zeitpunkt t zur Verfügung stehenden konkreten Werte in einem dem Zeitpunkt t zugeordneten Zeilenvektor $m^t = [x_1^t, \dots, x_n^t]$ eingetragen.

[0028] Die einzelnen Zeilenvektoren m^t werden durch Aneinanderreihung in der Reihenfolge ihrer Aufnahme zu einer Maschinen-Attribut-Matrix A_M zusammengefasst, wobei T' den Zeitpunkt der letzten Aufnahme bezeichnet.

$$A_M = \begin{pmatrix} m^1 \\ \vdots \\ m^{T'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^1 & \dots & x_n^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{T'} & \dots & x_n^{T'} \end{pmatrix}$$

[0029] Bei einem Attribut kann es sich um einen Messwert handeln, der von einem der Maschine M_1 zugeordneten Sensor erstellt wurde. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung ermitteln Sensoren S_1, \dots, S_8 wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten t physikalische Messwerte. Den Attributidentifikationen $i = 1..8$ werden die von den Sensoren S_1, \dots, S_8 , die in Tabelle 1 näher erläutert sind, ermittelten Messwerten zugewiesen, dh die von den Sensoren ermittelten Messwerte werden zu den betreffenden Zeitpunkten t in die Spalten $i=1..8$ in den betreffenden Zeilenvektor m^t eingetragen.

[0030] Tabelle 1: Sensoren, physikalische Messwerte und Messwert-Einheiten der Maschine M_1 .

S_1	Drehzahl (min^{-1})	Motor der Maschine antreibt (Walze $r = 0.1$ m)
S_2	Endtaster (binär)	Gibt an ob Karton eingezogen wird oder nicht
S_3	Geschwindigkeit (m/s)	Gibt die Geschwindigkeit an, mit der Karton eingezogen wird
S_4	Geschwindigkeit (m/s)	Gibt die Geschwindigkeit an, mit der Karton fort bewegt wird
S_5	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Oberflächentemperatur der Fixierwalze
S_6	Geschwindigkeit (m/s)	Gibt die Geschwindigkeit an, mit der Karton fortbewegt wird
S_7	Druck (bar)	Gibt an mit welchem Druck gestanzt wird
S_8	Geschwindigkeit (m/s)	Gibt die Geschwindigkeit an, mit der Karton fortbewegt wird

[0031] Weiters können die Attribute auch durch externe Vorgaben und Randbedingungen festgelegt sein, die sich über die Zeit verändern können, wie beispielsweise eine Auftragsnummer, eine Voreinstellung wie beispielsweise die bei der Durchführung des Auftrags zu verwendende Stanzkraft oder ein externer, nicht mittels eines an der Maschine M_1 befindlichen Sensors zu ermittelnder Sensormesswert, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur oder Umgebungsluftfeuchtigkeit.

[0032] Die externen Vorgaben zur Durchführung eines Auftrags auf der Maschine M_1 und die Umgebungsparameter wie beispielsweise Umgebungstemperatur und/oder Umgebungsluftfeuchtigkeit und/oder Umgebungsluftdruck, denen die Maschine M_1 während eines Produktionsprozesses ausgesetzt ist, sind durch vier Attribute A_1, A_2, A_3, A_4 gekennzeichnet. Die Attribute der Maschine M_1 , die externe Vorgaben und Umgebungsparameter beschreiben, sind in Tabelle 2 näher erläutert.

[0033] Tabelle 2: Attribute der Maschine M_1 , die externe Vorgaben und Umgebungsparameter betreffen.

A_1	Kartondicke (mm)
A_2	Größe (1 in cm x b in cm)
A_3	Farbe (binär)
A_4	Relative Luftfeuchtigkeit (%)

[0034] Für diese Attribute ermittelte Werte werden zu den betreffenden Zeitpunkten t in die Spalten $i=9..12$ in den betreffenden Zeilenvektor m^t eingetragen.

[0035] Bei den Attributen kann es sich schließlich um zeitunabhängige Attribute handeln, wie beispielsweise um eine Identifikation ID und/oder einen Maschinentyp. Diese Attribute sind für die betreffende Maschine M_1 festgelegt und unveränderlich, d.h. ist das Attribut mit der Attributidentifikation i zeitunabhängig, so ist $x_i^1 = x_i^2 = \dots = x_i^T$. Für diese Attribute ermittelte Werte werden zu den betreffenden Zeitpunkten t in die Spalten $i=13..14$ in den betreffenden Zeilenvektor m^t eingetragen.

[0036] Der normale Betriebszustand einer Maschine M_1 wird bei einem derartigen Verfahren üblicherweise mit einem Regelset R beschrieben, wobei beispielsweise folgende Typen von Regeln aus dem Stand der Technik verwendet werden:

[0037] - statistische Regeln siehe Georgii, Hans-Otto. Stochastik: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2015. Hartung, Joachim, Bärbel Elpelt, and Karl-Heinz Klösener. Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Walter de Gruyter, 2009.,

[0038] - Korrelations-Regeln siehe Friedberg, Ivo, et al. "Combating advanced persistent threats: From network event correlation to incident detection." Computers & Security 48 (2015):

[0039] 35-57., oder Skopik F., Fiedler R. (2016): EP 1416597.2-1853 - Method for detecting deviations from a given standard state, June 2016.,

[0040] - neuronale Netzwerk-Modelle siehe Rojas, Raul. Theorie der neuronalen Netze: eine systematische Einführung. Springer-Verlag, 2013.,

[0041] - Regressionsmodelle siehe Fahrmeir, Ludwig, Thomas Kneib, and Stefan Lang. Regression: Modelle, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag, 2007.

[0042] Statistische Regeln charakterisieren ein einzelnes Attribut einer Maschine M_1 , wobei eine Sequenz $(x_i^t)_{t \in Z}$ eines Attributes mit $i \in \{1, \dots, n\}$ über eine endliche Zeitspanne Z betrachtet wird. Eine Regel R wird ausgehend von den Werten, die das Attribut x_i in der sogenannten Trainingsphase Z_0 annimmt, aufgestellt. Eine derartige Regel R definiert beispielsweise ein Intervall, innerhalb dessen der Mittelwert der Werte des Attributs in einer Zeitspanne Z , betrachtet wird, oder mit welcher Wahrscheinlichkeitsverteilung die Verteilung der Werte des Attributs in einer Zeitspanne Z beschrieben wird. Statistische Tests wie z. B. ein Kolmogorov-Smirnov Test, siehe Hartung, Joachim, Bärbel Elpelt, and Karl-Heinz Klösener. Statistik: lehr- und handbuch der angewandten statistik. Walter de Gruyter, 2009, können dazu verwendet werden.

[0043] Mit einer nach dem Stand der Technik aufgestellten statistischen Regel kann beispielsweise der Mittelwert $\overline{X_i^{Z_0}}$ einer Stichprobe in der Trainingsphase Z_0 berechnet werden als

$$\overline{X_i^{Z_0}} = \sum_{t \in Z_0} x_i^t.$$

[0044] Unter der Annahme, dass die Stichprobe repräsentativ ist, wird ein Intervall festgelegt, das einen Toleranzbereich von zwei Mal $\alpha 100\%$ erlaubt. Die entsprechende Regel wird festgelegt als $R\left(\left(x_i^t\right)_{t \in Z}\right): \text{if } \overline{X_i^Z} \notin [\overline{X_i^{Z_0}} - \alpha \overline{X_i^{Z_0}}, \overline{X_i^{Z_0}} + \alpha \overline{X_i^{Z_0}}] \Rightarrow \text{Alarm!}$

[0045] Um die Repräsentativität des geschätzten Mittelwerts zu überprüfen, kann auch ein Konfidenzintervall anstelle einer Punktschätzung berechnet werden.

[0046] Bei aus dem Stand der Technik bekannten Korrelations-Regeln wird beispielsweise ein Attribut zu einem Zeitpunkt T_1 oder zu mehreren Zeitpunkten T_1, T_2, \dots , d.h. zwei oder mehr Werte einer Spalte der Maschinen-Attribut-Matrix A_M , betrachtet, wobei Korrelations-Regeln der Form $R(x_i^{T_1}, x_i^{T_2}): \text{if not } (x_i^{T_1} < \alpha \Rightarrow x_i^{T_2} > b) \Rightarrow \text{alarm!}$ aufgestellt werden. Es können auch zwei oder mehr verschiedene Attribute zu einem Zeitpunkt T_1 , d.h. zwei oder mehr Werte einer Zeile der Maschinen-Attribut-Matrix A_M , betrachtet werden, wobei sich Korrelations-Regeln der Form $R(x_i^{T_1}, x_j^{T_1}): \text{if not } (x_i^{T_1} < \alpha \Rightarrow x_j^{T_1} > b) \Rightarrow \text{alarm!}$ ergeben. Bei einer weiteren Variante der Erstellung von Korrelations-Regeln werden zwei oder mehr verschiedene Attribute zu zwei oder mehr Zeitpunkten T_1, T_2, \dots , d.h. Werte aus verschiedenen Spalten und verschiedenen Zeilen der Maschinen-Attribut-Matrix A_M , betrachtet, wobei Korrelations-Regeln der Form $R(x_i^{T_1}, x_j^{T_2}): \text{if not } (x_i^{T_1} < \alpha \Rightarrow x_j^{T_2} > b) \Rightarrow \text{alarm!}$ aufgestellt werden.

[0047] Neuronale Netzwerk-Modelle werden im Stand der Technik benutzt, um den aktuellen Zustand einer Maschine M_1 , eines Maschinenbauteils oder eines auf der Maschine M_1 durchgeführten Arbeitsprozesses einzuschätzen. Neuronale Netzwerke werden trainiert und als Eingangsparameter werden die Werte ausgewählter Attribute $(x_i)_{i \in I}$ der Maschine M_1 verwendet, wobei I ein Set an Attributen ist. Mit neuronalen Netzwerk-Modellen werden Regeln der Form $\text{if } R((x_i)_{i \in I}) \geq a \Rightarrow \text{no alarm!} \vee \text{if } R((x_i)_{i \in I}) < a \Rightarrow \text{alarm!}$ erstellt.

[0048] Regressionsmodelle werden mittels Regressionsanalyse erstellt und im Stand der Technik für die Vorhersage des Zustands einer Maschine M_1 , eines Maschinenbauteils oder eines auf der Maschine M_1 durchgeführten Arbeitsprozesses verwendet. Ähnlich wie bei neuronalen Netzwerk-Modellen, werden auch für Regressionsmodelle Werte eines definierten Zeitintervalls $Z = [T_0, T'] (x_i^Z)_{i \in I}$ ausgewählter Attribute der Maschine M_1 als Eingangsparameter verwendet, wobei I ein Set an Attributen ist, um den Zustand der Maschine M_1 nach der bis T' vergangenen Zeit vorherzusagen. Mit Regressionsmodellen werden beispielsweise Regeln der Form $R((x_i)_{i \in I}^Z) = \text{state at } T' + \Delta t$ erstellt.

[0049] In einem ersten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Maschine M_1 als Standardmaschine genutzt, wobei der auf der Maschine M_1 durchgeführte Prozess als Standardprozess und die Arbeitsumgebung, in der sich die Maschine M_1 befindet, als Standardumgebung und die externen Vorgaben für die Maschine M_1 als externe Standardvorgaben betrachtet werden.

[0050] Sobald sich die Maschine M_1 in einem stabilen Zustand befindet, d.h. beispielsweise nach einer Anfahrphase, sieht ein derartiges Verfahren als ersten Schritt vor, dass in einer Lernphase nach beispielsweise den voranstehend beschriebenen Methoden nach Regeln für die Maschine M_1 , d.h. die Standardmaschine, gesucht wird. Die Regeln beschreiben dabei den Zusammenhang der von den Sensoren S_1, \dots, S_8 ermittelten Messwerte und den Zusammenhang der ermittelten Messwerte und der Umgebungsparameter während des normalen Betriebszustands der Maschine M_1 in der betreffenden Arbeitsumgebung mit den externen Vorgaben und sind während des normalen Betriebszustands der Maschine M_1 erfüllt. Für die Maschine M_1 können beispielsweise alle Attribute X_M als Eingangsparameter für eine Regel verwendet werden und Regeln für die Maschine M_1 besitzen die generelle Form $R_M = R(X_M)$.

[0051] Das im vorliegenden Fall erlernte Regelset R_{M1} für die Maschine M_1 beinhaltet acht Regeln. Die Regeln R_1, \dots, R_8 haben die folgende Form, wobei T_i die Zeitpunkte mit $\Delta t = T_{i+1} - T_i = 0.5s$ markiert, an denen Messwerte von den Sensoren S_1, \dots, S_8 gesammelt werden:

[0052] • $R_1(S_1, S_3): S_1 \in [24.9, 25.1] \text{ min}^{-1} \Rightarrow S_3 > 0.25 \text{ m/s}; \left(v = 2r\pi \frac{x \text{ min}^{-1}}{60} \right)$

[0053] • $R_2(A_2, S_3): l = 50 \text{ cm} \Rightarrow S_3 < 0.262 \text{ m/s}$

[0054] • $R_3(i, S_2): 5 \leq \sum_{j=i-9}^i S_2(T_j) \leq 8$

[0055] • $R_4(A_3, S_5): A_3 = 1 \Rightarrow S_5 \in [178, 182]^\circ\text{C}$

[0056] • $R_5(A_1, S_7): A_1 = 3 \text{ mm} \Rightarrow S_7 \in [9.8, 10.2] \text{ bar}$

[0057] • $R_6(S_3, S_4, S_6, S_8): 0.25 \text{ m/s} < S_3 \leq S_4 \leq S_6 \leq S_8$

[0058] • $R_7(i, S_1): i > 1000 \Rightarrow \frac{1}{1000} \sum_{j=i-999}^i S_1(T_j) \in (24.95, 25.05) \text{ min}^{-1}$

[0059] • $R_8(A_4, S_7): A_4 > 40\% \Rightarrow S_7 > 10 \text{ bar}$

[0060] Regel R_3 kontrolliert beispielsweise, ob innerhalb von 10 Zeitschritten ausreichend Kartons eingezogen werden, bzw. ob der Einzug 11 ausreichend lange geöffnet ist, wobei für einen Karton von einer Öffnungsdauer der Einzugs-Einheit 11 von ca. 3 Sekunden ausgegangen wird. Im Fall einer beispielsweise zu langen Öffnungsdauer der Einzugs-Einheit 11 würden zu viele Kartons eingezogen.

[0061] Zur Übertragung der für die Maschine M_1 , d.h. die Standardmaschine, aufgestellten Regeln R_1, \dots, R_8 sieht ein erfindungsgemäßes Verfahren als nächsten Schritt vor, dass die Regeln R_1, \dots, R_8 zunächst in abstrakter Form dargestellt werden. Ausgehend von der Menge an Attributen der Maschine M_1 $\mathbb{X}_{M_1} = \{S_1, S_2, \dots, S_8, A_1, A_2, A_3, A_4\}$ und dem erlernten Regelset R_M für die Maschine M_1 $R_{M_1} = \{R_1, \dots, R_8\}$, wird eine Funktion $X(R): R \rightarrow \mathbb{X}$ definiert, die alle Attribute liefert, die eine Regel als Eingangsparameter verwendet. Außerdem wird eine zweite Funktion $R(X_I): \mathbb{X} \rightarrow R$ aufgestellt, die alle Regeln liefert, die Attribute der Menge X_I als Eingangsparameter benutzen, wobei I ein Indexset darstellt. Als nächster Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens werden alle variablen Regelattribute in einer Lernphase erlernt. Im Falle einer Korrelations-Regel können beispielsweise Parameter a, b, \dots als variable Attribute eingeführt sein (siehe abstrakte Regeln nächster Absatz).

[0062] Im Folgenden werden die für die Maschine M_1 gültigen Regeln R_1, \dots, R_8 in abstrakter Form und eine Erklärung jeder Regel R_1, \dots, R_8 angegeben, wobei lateinische Buchstaben in der Lernphase zu lernende Werte von Konstanten und griechische Buchstaben zu lernende Werte von Toleranzen darstellen:

[0063] • $R_{1;a,\alpha,\beta}(S_1, S_3): S_1 = [a - \alpha, a + \alpha] \text{ min}^{-1} \Rightarrow S_3 > v - \beta \text{ m/s}; \left(v = 2r\pi \frac{a \text{ min}^{-1}}{60} \right)$

Da die Maschine M_1 durch einen Keilriemen angetrieben wird, würde eine negative Evaluierung der Regel R_1 auf ein Problem bei der Kraftübertragung hinweisen. Die zu erwartende Geschwindigkeit, mit der sich der Keilriemen bewegt, lässt sich aus der Drehzahl des Antriebs der Maschine M_1 errechnen.

[0064] • $R_{2;a}(A_2, S_3): l = A_2(l) \text{ cm} \Rightarrow S_3 < a \text{ m/s}$

Diese Regel beschreibt den Zusammenhang zwischen Kartonlänge und Geschwindigkeit des Förderbandes. Die Funktion $A_2(l)$ liefert den Wert für die Kartonlänge, der in den externen Vorgaben für den auf der Maschine M_1 durchgeführten Auftrag angeführt wird.

[0065] • $R_{3;a,b,c}(i, S_2): a \leq \sum_{j=i-c}^i S_2(T_j) \leq b$

Je nach Größe und Maschinengeschwindigkeit der Maschine M_1 , muss der Einzug 11 eine bestimmte Zeit lang geöffnet sein, damit ein Karton eingezogen werden kann. Je nach benötigter Verarbeitungszeit pro Karton, muss der Einzug 11 eine bestimmte Zeit geschlossen bleiben, um einen Kartonstau zu verhindern. Aus diesen Faktoren ergeben sich die Grenzwerte a, b , wie oft der Sensor S_2 den Wert 1, der dem Zustand

"geöffnet" entspricht, im Zeitfenster c liefert.

[0066] • $R_{4;a,\alpha}(A_3, S_5): A_3 \Rightarrow S_5 \in [a - \alpha; a + \alpha] ^\circ C$

Diese Regel kontrolliert, ob die Fixierwalze für den Druck die richtige Temperatur hat.

[0067] • $R_{5;a,\alpha}(A_1, S_7): A_1 \Rightarrow S_7 \in [a - \alpha; a + \alpha] \text{ bar}$

Diese Regel kontrolliert, ob mit der passenden Kraft gestanzt wird, damit Rillungen nicht zu tief gestanzt werden, bzw. andere Teile auch wirklich komplett durchgestanzt werden.

[0068] • $R_{6;a}(S_3, S_4, S_6, S_8): a \text{ m/s} < S_3 \leq S_4 \leq S_6 \leq S_8$

Diese Regel stellt sicher, dass es zu keinem Kartonstau durch abnehmende Geschwindigkeiten der die einzelnen Maschinenabschnitte verbindenden Förderbänder kommen kann.

[0069] • $R_{7;a,b,c,\alpha}(i, S_1): i > a \Rightarrow \frac{1}{b+1} \sum_{j=i-b}^i S_1(T_j) \in [c - \alpha, c + \alpha]$

Diese Regel kontrolliert, ob der Mittelwert der Umdrehungen pro Minute des Förderbandantriebs, gemessen mit Sensor S_1 über die letzten $b+1$ Messungen im korrekten Intervall liegt. Diese Auswertung basiert auf einer statistischen Regel, die einen geschätzten Mittelwert nutzt.

[0070] • $R_{8;a,b}(A_4, S_7): A_4 > a\% \Rightarrow S_7 > b \text{ bar}$

Diese Regel stellt einen Zusammenhang zwischen den Umgebungsparametern der Arbeitsumgebung, in der die Maschine M_1 betrieben wird, und dem Sensor S_7 der Maschine M_1 her. Wenn z. B. die Luftfeuchtigkeit in der Produktionshalle, in der die Maschine M_1 betrieben wird, einen gewissen Wert überschreitet, muss mehr Druck für die Stanzung aufgewendet werden.

[0071] Fig. 2 zeigt schematisch eine Maschine M' , wobei die Regeln der Maschine M_1 , die im Folgenden als Standardmaschine bezeichnet wird, auf die Maschine M' übertragen werden sollen. Die Maschine M' besitzt eine Einzugs-Einheit 21, die im wesentlichen baugleich zur Einzugs-Einheit 11 der Standardmaschine M_1 ist und an der sich drei Sensoren S'_1, S'_2, S'_3 befinden, wobei die Einzugs-Einheit 21 über einen ersten Förderband-Abschnitt 22 mit einer mit der Stanzungs-Einheit 15 der Standardmaschine M_1 im wesentlichen baugleichen Stanzungs-Einheit 25 verbunden ist und sich auf dem ersten Förderband-Abschnitt 21 ein Sensor S'_4 und auf der Stanzungs-Einheit 25 ein Sensor S'_7 befinden. Die Stanzungs-Einheit 25 ist über einen zweiten Förderband-Abschnitt 26 mit einer mit der Auswurf-Einheit 17 der Standardmaschine M_1 im wesentlichen baugleichen Auswurf-Einheit 27 verbunden, wobei sich auf dem zweiten Förderband-Abschnitt 26 ein Sensor S'_8 befindet. Die Sensoren $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_7, S'_8$ ermitteln wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten physikalische Messwerte.

[0072] Die Maschine M' verfügt somit über eine Anzahl von Sensoren $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_7, S'_8$, deren Position und Sensitivität mit den auf der Standardmaschine M_1 befindlichen Sensoren zumindest teilweise übereinstimmt. Im Vergleich zur Maschine M_1 , d.h. der Standardmaschine, weist die Maschine M' bauliche Unterschiede auf, da der zwischen Einzugs-Einheit 11 und Druck-Einheit 13 verlaufende Förderband-Abschnitt 12 und der darauf befindliche Sensor S_5 sowie die Druck-Einheit 13 und der auf der Druck-Einheit 13 befindliche Sensor S_6 fehlen, die bei der Maschine M_1 vorhanden sind. Die externen Vorgaben zur Durchführung eines Auftrags auf der Maschine M' und die Umgebungsparameter, denen die Maschine M' während eines Produktionsprozesses ausgesetzt ist, sind durch drei Attribute A'_1, A'_2, A'_4 gekennzeichnet. Somit besitzt die Maschine M' folgende Attribute $\mathbb{X}_{M'} = \{S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_7, S'_8, A'_1, A'_2, A'_4\}$.

[0073] Zur Übertragung von für die Standardmaschine M_1 aufgestellten Regeln auf die Maschine M' sieht ein erfindungsgemäßes Verfahren als nächsten Schritt vor, dass diejenigen Sensoren der Maschine M' ermittelt werden, die hinsichtlich Anordnung und Sensitivität einem Sensor der Standardmaschine M_1 paarweise zuordenbar sind, wobei es sich im konkreten Beispiel um

die Sensoren $S_1, S_2, S_3, S_4, S_7, S_8$ bzw. $S'_1, S'_2, S'_3, S'_4, S'_7, S'_8$ handelt. Weiters ist vorgesehen, dass diejenigen externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' ermittelt werden, die mit den externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter der Standardmaschine M_1 übereinstimmen. Im konkreten Beispiel handelt es sich dabei um die Attribute A'_1, A'_2, A'_4 . Es ist weiters vorgesehen, dass auch diejenigen Sensoren der Standardmaschine M ermittelt werden, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor der Maschine M' zuordenbar ist, wobei es sich im gezeigten Beispiel um die Sensoren S_5 und S_6 handelt. Außerdem werden diejenigen externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter der Standardmaschine M_1 ermittelt, die nicht mit den externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' übereinstimmen, wobei es sich im Beispiel um das Attribut A_3 handelt.

[0074] Erfindungsgemäß wird die Funktion $R_M: \mathbb{X} \rightarrow R$, die vom Raum aller Attribute \mathbb{X} auf den Raum aller Regeln R abbildet, genutzt, um diejenigen Regeln zu identifizieren, die auf der Standardmaschine M_1 genutzt werden und auch auf der Maschine M' genutzt werden können, da die Regeln dieselben Attribute betreffen. Es ergeben sich im Beispiel daher folgende Regeln, die von der Standardmaschine M_1 auf die Maschine M' übertragen werden: $R_{M_1}(X_{M'}) = R_{M'} = \{R'_1, R'_2, R'_3, R'_5, R'_7, R'_8\}$.

[0075] Im Falle, dass bei einer Maschine M' Sensoren fehlen, die bei der Standardmaschine M_1 vorhanden sind, sieht ein erfindungsgemäßes Verfahren vorteilhafterweise vor, dass die Regeln, die für diese Sensoren bei der Standardmaschine M_1 gelten, gestrichen werden. Ebenso werden auch Regeln gestrichen, die bei der Standardmaschine M_1 für externe Standardvorgaben oder Standardumgebungsparameter gelten, die bei der Maschine M' nicht als externe Vorgaben oder Umgebungsparameter auftreten.

[0076] Als weiterer Schritt bei der erfindungsgemäßen Übertragung von Regeln wird untersucht, ob die auf die Maschine M' übermittelten Regeln durch die Messwerte derjenigen Sensoren der Maschine M' , die mit den Sensoren der Standardmaschine M_1 hinsichtlich Anordnung und Sensitivität übereinstimmen, erfüllt sind. Wenn dies der Fall ist, werden die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses auf die Maschine M' übernommen. Sofern dies nicht der Fall ist, werden die Regeln an die neuen Messwerte der Maschine M' angepasst, indem die in den abstrakten Regeln vorhandenen Konstanten und Toleranzen für die Maschine M' in einer Lernphase neu gelernt werden, oder die Regeln werden verworfen. Weiters wird untersucht, ob die auf die Maschine M' übermittelten Regeln durch die externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' , die mit den externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter der Standardmaschine M_1 übereinstimmen, erfüllt sind. Wenn dies der Fall ist, werden die Regeln auf die Maschine M' übernommen. Sofern dies nicht der Fall ist, werden die Regeln an die neuen externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' , wie voranstehend beschrieben, angepasst, d.h. indem die in den abstrakten Regeln vorhandenen Konstanten und Toleranzen für die Maschine M' in einer Lernphase neu gelernt werden, oder aber die Regeln letztendlich doch verworfen werden.

[0077] Eine weitere Variante eines erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass bei der Übertragung von Regeln überprüft wird, ob einander zugeordnete Sensoren auf der Maschine M' und der Standardmaschine M_1 dieselbe Kennlinie hinsichtlich der zu ermittelnden physikalischen Größe aufweisen. Im Fall, dass eine Maschine M' , auf die Regeln einer Standardmaschine M_1 übertragen werden sollen, Sensoren umfasst, die dieselben physikalischen Parameter wie Sensoren der Standardmaschine M_1 ermitteln, aber eine unterschiedliche Kennlinie besitzen, werden diejenigen Regeln, die für diese Sensoren auf der Standardmaschine M_1 gelten, an die neue Kennlinie der Maschine M' angepasst.

[0078] Alternativ kann eine Maschine M' , auf die Regeln einer Standardmaschine M_1 übertragen werden sollen, auch derart gebaut werden, dass im Vergleich zur Standardmaschine M_1 keine Bauteile und/oder Sensoren entfallen, sondern dass Bauteile und/oder Sensoren hinzugefügt werden und/oder Bauteile modifiziert werden und/oder Sensoren der Standardmaschine M_1 neu positioniert oder hinsichtlich ihrer Sensitivität oder Kalibrierung geändert werden. Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren kann daher auch vorgesehen sein, dass untersucht wird, ob die

Maschine M', auf die Regeln der Standardmaschine M₁ übertragen werden, Sensoren aufweist, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor der Standardmaschine M₁ zuordenbar ist. In diesem Fall sieht ein erfindungsgemäßes Verfahren vor, dass für die Messwerte der so ermittelten Sensoren der Maschine M' neue Regeln aufgestellt werden, die den normalen Betriebszustand der Maschine M' charakterisieren. Diese neuen Regeln für die Maschine M' werden auf voranstehend beschriebene Weise erstellt, die auch für die Erstellung von Regeln für die Messwerte des Standardprozesses der Standardmaschine M₁ verwendet werden, wobei diese Regeln insbesondere auch Messwerte von Sensoren berücksichtigen können, die sowohl auf der Maschine M', als auch auf der Standardmaschine M₁ vorhanden sind. Weiters wird untersucht, ob die externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' mit den externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter der Standardmaschine M₁ übereinstimmen. In diesem Fall kann vorgesehen sein, dass die Regeln der Standardmaschine M₁, die diese externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter betreffen, auf die Maschine M' übermittelt werden und dass überprüft wird, ob die übermittelten Regeln durch die externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' erfüllt sind. Wenn dies der Fall ist, werden die Regeln auf die Maschine M' übernommen. Sofern dies nicht der Fall ist, werden die Regeln an die neuen externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M', wie voranstehend beschrieben, angepasst.

[0079] Eine weitere Variante eines erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass Regeln von zumindest zwei Standardmaschinen M₁, M₂, die Sensoren umfassen und mit den jeweils gültigen externen Standardvorgaben und mit den jeweils herrschenden Standardumgebungsparametern betrieben werden, auf eine weitere Maschine M' übertragen werden. In diesem Fall werden zunächst für beide Standardmaschinen M₁, M₂ wie voranstehend beschrieben Regeln für das jeweils gültige Set an Attributen gesucht, die den Zusammenhang der von den Sensoren der Standardmaschinen M₁, M₂ ermittelten Messwerte während des normalen Betriebszustands der Standardmaschinen M₁, M₂ in der betreffenden Standardarbeitsumgebung mit den externen Standardvorgaben beschreiben, und die während des normalen Betriebszustands der Standardmaschinen M₁, M₂ erfüllt sind. Zur Übertragung der für die Standardmaschinen M₁, M₂ aufgestellten Regeln auf die Maschine M' ist als nächster Schritt vorgesehen, dass die für die Standardmaschinen M₁, M₂ gültigen Regeln in abstrakter Form dargestellt werden. Anschließend wird überprüft, ob Sensoren der Maschine M' mit Sensoren der Standardmaschinen M₁, M₂ hinsichtlich Sensitivität und Anordnung übereinstimmen und ob externe Vorgaben oder Umgebungsparameter der Maschine M' mit den jeweiligen externen Standardvorgaben oder Standardumgebungsparametern der Standardmaschinen M₁, M₂ übereinstimmen.

[0080] Im Fall der Übereinstimmung von Sensoren und/oder externen Vorgaben und/oder Umgebungsparametern der Maschine M' mit zumindest einer der Standardmaschinen M₁ und M₂, werden diejenigen, dieselben Attribute betreffenden, und auf zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ oder auf beiden Standardmaschinen M₁, M₂ gültigen Regeln auf die Maschine M' übertragen.

[0081] Als weiterer Schritt wird untersucht, ob die von einer der Standardmaschinen M₁, M₂ oder beiden Standardmaschinen M₁, M₂ auf die Maschine M' übermittelten Regeln durch die Messwerte derjenigen Sensoren der Maschine M', die mit den Sensoren zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ hinsichtlich Anordnung und Sensitivität übereinstimmen, erfüllt sind. Weiters wird untersucht, ob die auf die Maschine M' übermittelten Regeln durch die externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M', die mit den externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ übereinstimmen, erfüllt sind. Wenn dies der Fall ist, werden die Regeln auf die Maschine M' übernommen. Weiters kann vorteilhafterweise bei einem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, dass die abstrakten Regelformen der auf die Maschine M' übermittelten Regeln verglichen werden. Im Falle, dass zwei oder mehr Regeln dieselbe abstrakte Form haben und diese Regeln für die Maschine M' gültig sind, werden die jeweils geeigneteren Werte für Variablen und Toleranzen gewählt. Vorteilhafterweise werden bei der Übernahme von Regeln jeweils die geringeren Toleranzen und engeren Intervalle gewählt.

[0082] Sofern die auf die Maschine M' übermittelten Regeln durch die externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M', die mit den externen Standardvorgaben und Standardumgebungsparameter zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ übereinstimmen, nicht erfüllt sind, werden die in den abstrakten Regeln vorhandenen Konstanten und Toleranzen für die Maschine M' in einer Lernphase neu gelernt und die Regeln werden an die neuen externen Vorgaben und Umgebungsparameter der Maschine M' angepasst, oder die Regeln werden verworfen.

[0083] Im Falle, dass bei einer Maschine M' Sensoren fehlen, die bei zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ vorhanden sind, ist vorgesehen, dass die Regeln, die für diese Sensoren bei zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ gelten, gestrichen werden. Ebenso werden auch Regeln gestrichen, die bei zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ für externe Standardvorgaben oder Standardumgebungsparameter gelten, die bei der Maschine M' nicht als externe Vorgaben oder Umgebungsparameter auftreten.

[0084] Im Fall, dass die Maschine M' Sensoren aufweist, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor zumindest einer der Standardmaschinen M₁, M₂ zuordenbar ist, werden wie voranstehend beschrieben neue Regeln aufgestellt, die den normalen Betriebszustand der Maschine M' charakterisieren.

[0085] Alternativ können auch in einer zentralen Schaltstelle Sets von Regeln gespeichert sein, wobei die Regeln die Zusammenhänge der ermittelten Messwerte während der normalen Betriebszustände einer Vielzahl von Standardmaschinen M₁,..., M_n in den betreffenden Arbeitsumgebungen mit den externen Vorgaben beschreiben, die während der normalen Betriebszustände erfüllt sind. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass für einen Arbeitsprozess mit externen Vorgaben in einer Arbeitsumgebung einer der Standardmaschinen M₁,..., M_n ähnlichen oder identischen Maschine M' geeignete Sets von Regeln ausgewählt werden. Zur Auswahl geeigneter Regeln wird überprüft, ob Umgebungsparameter der Arbeitsumgebung und/oder externe Vorgaben und/oder Sensoren der Maschine M' mit Standardumgebungsparametern der Arbeitsumgebung und/oder externen Standardvorgaben und/oder mit Sensoren hinsichtlich Anordnung und Sensitivität zumindest einer der Standardmaschinen M₁,..., M_n übereinstimmen. Die ausgewählten Regeln werden auf den Arbeitsprozess der Maschine M' in der Arbeitsumgebung übertragen.

[0086] Bei einer weiteren Variante eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass für beispielsweise eine Maschine M₁, wie sie in Fig. 1 gezeigt ist, die in einer Arbeitsumgebung betrieben wird und Sensoren S₁,...,S₈ umfasst, wobei die Sensoren während des auf der Maschine M₁ durchgeführten Arbeitsprozesses zu vorgegebenen wiederkehrenden Zeitpunkten Messwerte ermitteln, wie voranstehend beschrieben Regeln R₁,...,R₈ für den normalen Betriebszustand der Maschine M₁ ermittelten werden und diese Regeln R₁,...,R₈ auf die Messwerte der Sensoren der Maschine M₁ angewendet werden. Da die Regeln R₁,...,R₈ während des normalen Betriebszustands der Maschine M₁ in der betreffenden Arbeitsumgebung mit den externen Vorgaben erfüllt sind, kann ein anomaler Zustand der Maschine M₁ und/oder des Arbeitsprozesses identifiziert werden, falls Messwerte vorhanden sind, die den Regeln R₁,...,R₈ für den normalen Betriebszustand nicht genügen.

[0087] Tabelle 3 zeigt ein Beispiel für die Auswertung der voranstehend beschriebenen Regeln R₁,...,R₈ für die in Fig. 1 gezeigte Maschine M₁, wobei die Regeln R₁,...,R₈ für die Messwerte der Sensoren S₁,...,S₈ und die externen Vorgaben und Umgebungsparameter A₁, A₂, A₃, A₄ gelten und über einen Zeitraum T₁ bis T₁₄₀ betrachtet werden.

[0088] Tabelle 3: Beispiel-Auswertung der Regeln für Maschine M₁.

t	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
T ₁	25	1	0.26	0.2601	180	0.2601	9.9	0.2602	3	50	1	36
T ₂	25	1	0.259	0.26	180.2	0.26	9.95	0.2601	3	50	1	37
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
T ₁₄₀	25	0	0.26	0.2603	<u>171</u>	0.2604	<u>9.9</u>	0.2604	3	50	1	<u>41</u>

[0089] Im in Tabelle 3 angegebenen Beispiel ist die Temperatur der Fixierwalze der Druck-Einheit 13 von Maschine M_1 soweit abgesunken, dass der Druck nicht mehr vollwertig auf dem Karton sichtbar ist. Im gezeigten Beispiel wird die Information über eine sich verschlechternde Druckqualität mit einem erfindungsgemäßen Verfahren durch ein Fehlschlagen der Regel R_4 gewonnen. Außerdem ist die Luftfeuchtigkeit zum Zeitpunkt T_{140} auf über 40% gestiegen, was zu einem Fehlschlagen der Regel R_8 führt und die Stanzform übt nur einen Druck von 9.9 bar aus, wodurch Regel R_5 verletzt wird. Da die Messwerte der Sensoren der Maschine M_1 im gezeigten Beispiel den Regeln R_4 , R_5 und R_8 nicht genügen, wird von einem erfindungsgemäßen Verfahren ein anomaler Zustand der Maschine M_1 oder des auf der Maschine M_1 durchgeführten Produktionsprozesses angezeigt.

[0090] Mit einem derartigen Verfahren kann einfach die zeitintensive Fehlersuche bei einem auf der Maschine M_1 durchgeführten Produktionsprozess verkürzt und die Dauer von Stehzeiten verringert werden, wodurch der Produktionsprozess optimiert und dessen Effizienz gesteigert werden können. Durch das automatische Ermitteln der Regeln mit den voranstehend beschriebenen Methoden entfallen vorteilhafterweise auch ein aufwändiges händisches Ermitteln und Konfigurieren der Regeln.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung des normalen Betriebszustands eines Arbeitsprozesses, bei dem eine Maschine (M') in einer Arbeitsumgebung mit externen Vorgaben betrieben wird, wobei die Maschine (M') Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) zur Messung physikalischer Parameter an vorgegebenen Positionen im Bereich der Maschine M' aufweist, wobei
 - a) - ein Standardprozess mit einer Standardmaschine (M_1) in der Standardumgebung mit externen Standardvorgaben gestartet wird,
 - wobei die Standardmaschine (M_1) über eine Anzahl von Sensoren (S_1, \dots, S_n) verfügt,
 - wobei mit den Sensoren (S_1, \dots, S_n) der Standardmaschine (M_1) wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden, und
 - nach Regeln (R_1, \dots, R_p) gesucht wird, die den Zusammenhang der ermittelten Messwerte während des normalen Betriebszustands der Standardmaschine (M_1) in der betreffenden Arbeitsumgebung mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während des normalen Betriebszustands erfüllt sind,
dadurch gekennzeichnet, dass anschließend
 - b) - die für den Standardprozess ermittelten Regeln (R_1, \dots, R_p) auf den Arbeitsprozess einer der Standardmaschine (M_1) ähnlichen oder identischen Maschine (M') in der Arbeitsumgebung übertragen werden,
 - wobei die Maschine (M') über eine Anzahl von Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') verfügt, deren Position und Sensitivität mit den auf der Standardmaschine (M_1) befindlichen Sensoren (S_1, \dots, S_n) zumindest teilweise übereinstimmt und
 - mit den Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') wiederholt zu vorgegebenen Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden,
 - untersucht wird, ob die übermittelten Regeln (R_1, \dots, R_p) durch die Messwerte derjenigen Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M'), die mit den Sensoren (S_1, \dots, S_n) der Standardmaschine (M_1) hinsichtlich Anordnung und Sensitivität übereinstimmen, erfüllt sind, und
 - wenn dies der Fall ist, die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses übernommen werden, und
 - sofern dies nicht der Fall ist, die Regeln an die neuen Messwerte angepasst oder verworfen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass untersucht wird, ob bei der Standardmaschine (M_1) Sensoren (S_1, \dots, S_n) vorhanden sind, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') zuordenbar ist,
 - wobei im Falle des Fehlens von zuordenbaren Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) bei der Maschine (M') die Regeln, die für diese Sensoren bei der Standardmaschine (M_1) gelten, gestrichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, dass untersucht wird, ob einander zugeordnete Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') dieselbe Kennlinie hinsichtlich der zu ermittelnden physikalischen Größe aufweisen,
 - wobei im Fall einander zugeordneter Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') mit einer unterschiedlichen Kennlinie diejenigen Regeln, die für diese Sensoren (S_1, \dots, S_n) bei der Standardmaschine (M_1) gültig sind, an die neue Kennlinie der Maschine (M') angepasst werden.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass untersucht wird, ob bei der Maschine (M') Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) vorhanden sind, denen hinsichtlich Anordnung und Sensitivität kein Sensor (S_1, \dots, S_n) der Standardmaschine (M_1) zuordenbar ist,
 - dass für die Messwerte der so ermittelten Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) der Maschine (M') neue Regeln (R'_1, \dots, R'_q) aufgestellt werden, die den normalen Betriebszustand charakterisieren,

- wobei insbesondere diese Regeln (R'_1, \dots, R'_q) auf dieselbe Weise erstellt werden, die auch für die Erstellung von den Regeln (R_1, \dots, R_p) für die Messwerte des Standardprozesses verwendet werden,
 - wobei diese Regeln (R'_1, \dots, R'_q) insbesondere auch Messwerte von Sensoren (S'_1, \dots, S'_m) berücksichtigen können, die sowohl auf der Maschine (M'), als auch auf der Standardmaschine (M_1) vorhanden sind.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Maschine (M') durch Modifikation der Standardmaschine (M_1) oder einer mit der Standardmaschine (M_1) baugleichen weiteren Standardmaschine (M_2) erstellt wird, indem
 - a) der Standardmaschine (M_1) Bauteile und/oder Sensoren (S_1, \dots, S_n) hinzugefügt werden, und/oder
 - b) von der Standardmaschine (M_1) Bauteile und/oder Sensoren (S_1, \dots, S_n) entfernt werden, und/oder
 - c) Bauteile der Standardmaschine (M_1) modifiziert werden, und/oder
 - d) Sensoren (S_1, \dots, S_n) der Standardmaschine (M_1) neu positioniert oder hinsichtlich ihrer Sensitivität oder Kalibrierung geändert werden.
 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Arbeitsprozess festgelegt wird, in dem die Maschine (M') oder die Standardmaschine (M_1) in einer von der Standardumgebung abweichenden Arbeitsumgebung betrieben wird, wobei sich die Arbeitsumgebung von der Standardumgebung insbesondere hinsichtlich der folgenden Umgebungsparameter unterscheidet:
 - a) Umgebungstemperatur, und/oder
 - b) Umgebungsluftfeuchtigkeit, und/oder
 - c) Umgebungsluftdruck, ...
 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass überprüft wird, ob bei der Maschine (M') externe Vorgaben vorhanden sind, die zumindest teilweise mit den externen Standardvorgaben der Standardmaschine (M_1) übereinstimmen und dass untersucht wird, ob die übermittelten Regeln (R_1, \dots, R_p) durch die externen Vorgaben der Maschine (M'), die mit den externen Standardvorgaben der Standardmaschine (M_1) übereinstimmen, erfüllt sind, und
 - wenn dies der Fall ist, die Regeln zur Charakterisierung des normalen Betriebszustands des Arbeitsprozesses übernommen werden, und
 - sofern dies nicht der Fall ist, die Regeln an die neuen externen Vorgaben angepasst oder verworfen werden oder für diese neuen externen Vorgaben neue Regeln festgelegt werden.
 8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,
 - dass die Maschine (M') in der Arbeitsumgebung betrieben wird,
 - dass während des Arbeitsprozesses zu vorgegebenen wiederkehrenden Zeitpunkten Messwerte ermittelt werden,
 - dass die für den Arbeitsprozess ermittelten Regeln (R'_1, \dots, R'_q) auf die Messwerte angewendet werden, und
 - falls Messwerte vorhanden sind, die den Regeln (R'_1, \dots, R'_q) für den normalen Betriebszustand nicht genügen, ein anomaler Zustand der Maschine (M') und/oder des Arbeitsprozesses identifiziert wird.
 9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf zumindest zwei Standardmaschinen (M_1, M_2) Regeln (R_1, \dots, R_p) ermittelt werden, die den Zusammenhang der ermittelten Messwerte während des normalen Betriebszustands der Standardmaschinen (M_1, M_2) in den betreffenden Arbeitsumgebungen mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während der normalen Betriebszustände erfüllt sind, und
 - wobei die für zumindest zwei Standardmaschinen (M_1, M_2) ermittelten Regeln (R_1, \dots, R_n) auf den Arbeitsprozess einer der Standardmaschinen (M_1, M_2) ähnlichen oder identischen Maschine (M') in der Arbeitsumgebung übertragen werden.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer zentralen Schaltstelle Regelsets (R), insbesondere umfassend eine Anzahl von ermittelten Regeln, gespeichert werden,
 - wobei die Regelsets (R) die Zusammenhänge der ermittelten Messwerte während der normalen Betriebszustände einer Vielzahl von Standardmaschinen (M_1, \dots, M_n) in den betreffenden Arbeitsumgebungen mit den externen Vorgaben beschreiben, und die während der normalen Betriebszustände erfüllt sind,
 - wobei für einen Arbeitsprozess mit externen Vorgaben in einer Arbeitsumgebung einer der Standardmaschinen ähnlichen (M_1, \dots, M_n) oder identischen Maschine (M') geeignete Regelsets (R) ausgewählt werden, wobei die Regelsets (R) nach Übereinstimmung der Sensoren und/oder der Umgebungsparameter der Arbeitsumgebung und/oder der externen Vorgaben der Maschine (M') ausgewählt werden, und
 - wobei die ausgewählten Regelsets (R) auf den Arbeitsprozess der Maschine (M') in der Arbeitsumgebung übertragen werden.
11. Datenträger, auf dem ein Programm zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche abgespeichert ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

1/1

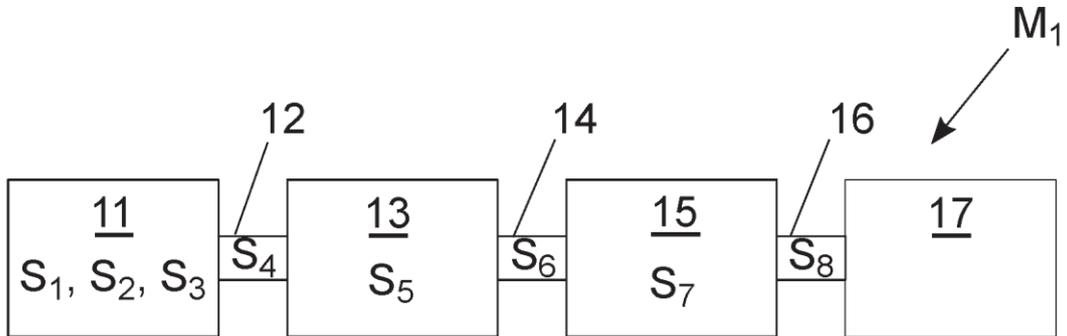


Fig. 1

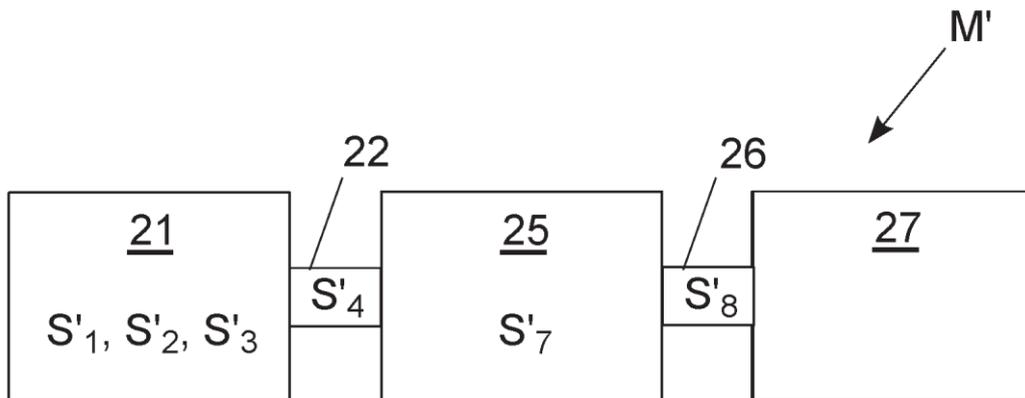


Fig. 2