(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2022 007 265 T5** 2025.03.06

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/228253**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 265.2**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/021128**
(86) PCT-Anmeldetag: **23.05.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **30.11.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **06.03.2025**

(51) Int Cl.: ***G05B 19/4155*** (2006.01)
G05B 19/404 (2006.01)

(71) Anmelder:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80538 München, DE

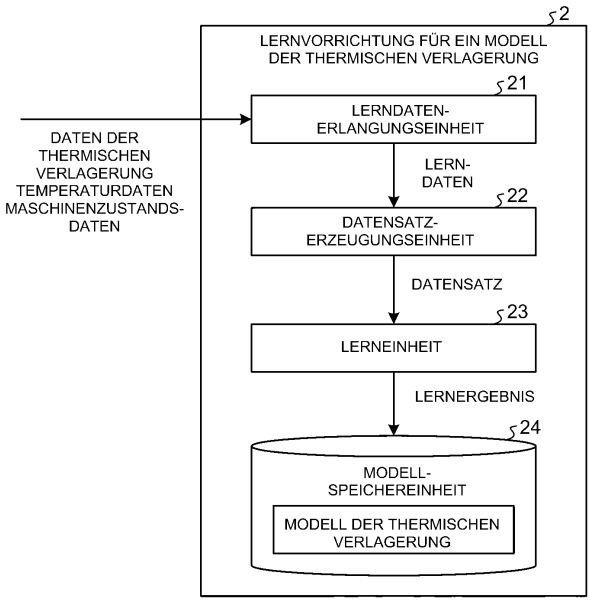
(72) Erfinder:
Ikeda, Ryosuke, Tokyo, JP; Takahei, Kazuki, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **LERNVORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG, SCHÄTZVORRICHTUNG FÜR DIE THERMISCHE VERLAGERUNG, BEARBEITUNGSSYSTEM UND BEARBEITUNGSVERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung (2) beinhaltet Folgendes: eine Lerndatenerlangungseinheit (21), die Lerndaten erlangt, in denen Eingabedaten und Daten der thermischen Verlagerung zeitlich miteinander verknüpft sind, wobei die Eingabedaten mindestens Temperaturdaten beinhalten, die eine Temperatur einer Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, wobei die Daten der thermischen Verlagerung eine Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen; eine Datensatzerzeugungseinheit (22), die Datensätze erzeugt, die durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten aus den Lerndaten erlangt werden; und eine Lerneinheit (23), die unter Verwendung des Datensatzes ein Modell der thermischen Verlagerung erzeugt, das zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung aus den Eingabedaten zu der Werkzeugmaschine trainiert ist. Die Datensatzerzeugungseinheit (22) erzeugt den Datensatz derart, dass mindestens zwei der Datensätze aus einer Vielzahl der Datensätze in Zeitintervallen extrahiert werden, die voneinander unterschiedliche Dauern aufweisen.



Beschreibung

Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung, eine Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung, ein Bearbeitungssystem und ein Bearbeitungsverfahren zum Korrigieren einer thermischen Verlagerung einer Werkzeugmaschine.

Hintergrund

[0002] Eine Werkzeugmaschine ist eine Bearbeitungseinrichtung, die eine Vorschubstange antreibt, um eine relative Position zwischen einem Werkzeug und einem Bearbeitungsziel, das als Werkstück bezeichnet wird, zu verändern, wodurch das Ziel durch spanendes Bearbeiten zu einer gewünschten Form bearbeitet wird. Eine typische Werkzeugmaschine, wie etwa eine Fräsmaschine oder eine Drehmaschine, führt eine Bearbeitung durch, wobei sie eine Spindel dreht, an der das Werkzeug oder das Ziel befestigt ist. Die Werkzeugmaschine beinhaltet einen Aktor zum Antreiben der Vorschubstange und der Spindel, einen Servoverstärker zum Erzeugen von elektrischer Leistung, die den Aktor antreibt, usw. Die Werkzeugmaschine, die den Aktor beinhaltet, misst eine Position der Vorschubstange mit einem Positionssensor und führt eine Positionierung unter einer Steuerung durch, die bewirkt, dass die tatsächliche Position mit einer befohlenen Position übereinstimmt.

[0003] Wenn die Werkzeugmaschine das Werkstück bearbeitet, wird in der Werkzeugmaschine Wärme erzeugt. Zum Beispiel erzeugen der Aktor und der Servoverstärker Wärme, wenn sie elektrische Leistung in Antriebsleistung umwandeln. Darüber hinaus wird bei der Bearbeitung, wie etwa beim Schneiden und Polieren, Wärme durch Materialverformung, Reibung usw. erzeugt. Darüber hinaus erzeugt Reibung, die erzeugt wird, wenn die Vorschubstange betrieben wird, ebenfalls Wärme. Wenn derartige Wärme auf eine Struktur der Werkzeugmaschine übertragen wird, wie etwa einen Ständer oder ein Bett, ist die mechanische Struktur der Werkzeugmaschine einem Temperaturanstieg und einer thermischen Ausdehnung ausgesetzt. Eine Verformung der Struktur aufgrund dieser thermischen Ausdehnung wird als thermische Verlagerung bezeichnet. Möglicherweise ist die Struktur keiner gleichmäßigen Temperaturveränderung ausgesetzt, wobei in diesem Fall unterschiedliche Positionen in der Struktur unterschiedlichen thermischen Verlagerungen unterliegen, sodass eine andere Verlagerung als ein einfaches Ausdehnen und Zusammenziehen, wie etwa Knicken, Dehnen und Verdrehen der Struktur, erfolgen kann. Es ist bekannt, dass eine solche thermische Verlagerung die Positionierungsgenauigkeit der Werkzeugmaschine verringert und somit einen Fehler der relativen Position zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück und somit eine Abnahme der Bearbeitungsgenauigkeit verursachen kann.

[0004] Patentliteratur 1 offenbart eine Technik, die eine Schätzung einer Größe der thermischen Verlagerung anhand von Messdaten durch maschinelles Lernen unter Verwendung einer tatsächlichen Messung der Größe der thermischen Verlagerung und der Messdaten, die während der Bearbeitung durch eine Werkzeugmaschine erlangt werden, ermöglicht. Konkret beinhaltet eine in Patentliteratur 1 offenbarte Vorrichtung zum maschinellen Lernen eine Messdatenerlangungseinheit, eine Erlangungseinheit für die Größe der thermischen Verlagerung, eine Speichereinheit und eine Lerneinheit für die Berechnungsformel. Die Messdatenerlangungseinheit erlangt eine Messdatengruppe. Die Erlangungseinheit für die Größe der thermischen Verlagerung erlangt die tatsächliche Messung der Größe der thermischen Verlagerung. Die Speichereinheit speichert Trainingsdaten. Die Trainingsdaten weisen die Messdatengruppe als Eingabedaten auf, die mit der tatsächlichen Messung der Größe der thermischen Verlagerung als Label verknüpft sind. Die Lerneinheit für die Berechnungsformel legt eine Berechnungsformel zur Vorhersage der Größe der thermischen Verlagerung zum Berechnen der Größe der thermischen Verlagerung auf Grundlage der Messdatengruppe fest, indem sie maschinelles Lernen unter Verwendung der Trainingsdaten durchführt. Die Speichereinheit speichert die Messdatengruppe für einen vorbestimmten Zeitraum als Trainingsdaten.

Liste der Anführungen

Patentliteratur

[0005] Patentliteratur 1: Japanische Offenlegungsschrift Nr. 2019-111648

Kurzdarstellung

Technisches Problem

[0006] Leider leidet die vorstehend beschriebene herkömmliche Technik unter dem Problem einer möglichen Verringerung der Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung, die in der Werkzeugmaschine auftritt, wenn die Speichereinheit die Trainingsdaten in einem Zeitraum speichert, der für die thermische Verlagerung, die in der Werkzeugmaschine auftritt, ungeeignet ist. Zum Beispiel wird die angenommene Zeit, die Wärme einer bestimmten Wärmequelle benötigt, um eine thermische Verlagerung zu bewirken, durch eine Positionsbeziehung mit einer anderen Wärmequelle, die umgebende Umwelt usw. beeinflusst. Wenn der

Speicherzeitraum zu kurz ist, sind die Messdaten, die die thermische Verlagerung beeinflussen, daher zum Zeitpunkt des Lernens möglicherweise nicht in den gespeicherten Trainingsdaten beinhaltet, was die Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung verringern kann. Wenn zudem der Speicherzeitraum zu lang ist, werden die Messdaten, die in den Trainingsdaten beinhaltet sind, aber zum Zeitpunkt des Lernens weniger zu der thermischen Verlagerung beitragen, fälschlich gelernt, was die Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung verringern kann.

[0007] Die vorliegende Offenbarung wurde im Hinblick auf das Vorstehende erstellt und eine ihrer Aufgaben besteht darin, eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung bereitzustellen, die dazu in der Lage ist, die Genauigkeit des Schätzens einer Größe der thermischen Verlagerung zu verbessern.

Lösung des Problems

[0008] Um das vorstehende Problem zu lösen und die Aufgabe zu erfüllen, umfasst eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung der vorliegenden Offenbarung Folgendes: eine Lerndatenerlangungseinheit zum Erlangen von Lerndaten, in denen Eingabedaten und Daten der thermischen Verlagerung zeitlich miteinander verknüpft sind, wobei die Eingabedaten mindestens Temperaturdaten beinhalten, die eine Temperatur einer Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, wobei die Daten der thermischen Verlagerung eine Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen; eine Datensatzerzeugungseinheit zum Erzeugen von Datensätzen, die durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten aus den Lerndaten erhalten werden; und eine Lerneinheit zum Erzeugen, unter Verwendung des Datensatzes, eines Modells der thermischen Verlagerung, das zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten zu der Werkzeugmaschine trainiert wird, wobei die Datensatzerzeugungseinheit die Datensätze derart erzeugt, dass mindestens zwei der Datensätze aus einer Vielzahl von Datensätzen in Zeitintervallen extrahiert werden, die voneinander unterschiedliche Dauern aufweisen.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0009] Die vorliegende Offenbarung hat die Wirkung, die Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung zu verbessern.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 2 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Werkzeugmaschine gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 3 ist eine Darstellung, die Beispiele für eine Einbauposition eines Temperatursensors in der Werkzeugmaschine gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 4 ist eine erläuternde Darstellung eines Beispiels für Veränderungen eines Betriebszustands der Werkzeugmaschine.

Fig. 5 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 6 ist eine erläuternde Darstellung eines ersten Beispiels für ein Verfahren zur Datensatzerzeugung.

Fig. 7 ist eine erläuternde Darstellung eines zweiten Beispiels für das Verfahren zur Datensatzerzeugung.

Fig. 8 ist eine erläuternde Darstellung eines dritten Beispiels für das Verfahren zur Datensatzerzeugung.

Fig. 9 ist eine erläuternde Darstellung eines Verfahrens zum Lernen eines Modells der thermischen Verlagerung.

Fig. 10 ist eine erläuternde Darstellung eines neuronalen Netzes.

Fig. 11 ist ein Ablaufdiagramm zum Erläutern eines Betriebs der in **Fig.** 5 veranschaulichten Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung.

Fig. 12 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems gemäß einer zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 13 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Werkzeugmaschine gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 14 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 15 ist ein Ablaufdiagramm zum Erläutern eines Betriebs des in **Fig.** 12 veranschaulichten Bearbeitungssystems.

Fig. 16 ist eine Darstellung, die ein Beispiel für eine Hardwareausgestaltung veranschaulicht.

Fig. 17 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung gemäß

einer Variation der zweiten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 18 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems gemäß einer dritten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 19 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems gemäß einer vierten Ausführungsform veranschaulicht.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0010] Nachfolgend werden eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung, eine Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung, ein Bearbeitungssystem und ein Bearbeitungsverfahren gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben.

Erste Ausführungsform.

[0011] **Fig.** 1 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems 100-1 gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht. Das Bearbeitungssystem 100-1 beinhaltet eine Werkzeugmaschine 1 und eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2. Die Werkzeugmaschine 1 ist eine Bearbeitungseinrichtung, die eine spanende Bearbeitung an einem Bearbeitungsziel durchführt. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 lernt ein Modell der thermischen Verlagerung zum Schätzen einer Größe der thermischen Verlagerung anhand von Eingabedaten auf Grundlage von Daten der thermischen Verlagerung, Temperaturdaten und Maschinenzustandsdaten, die von der Werkzeugmaschine 1 erlangt wurden.

[0012] **Fig.** 2 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung der Werkzeugmaschine 1 gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht. Die Werkzeugmaschine 1 beinhaltet eine Vorschubstange 11, einen Vorschubstangenmotor 12, eine Spindel 13, einen Spindelmotor 14, eine Steuerung 15, eine Peripherievorrichtung 16, einen Temperatursensor TS und einen Verlagerungssensor DS. Die Vorschubstange 11, auf der ein Werkzeug T zum Bearbeiten eines Werkstücks W angebracht ist, verändert eine relative Position zwischen dem Werkzeug T und dem Werkstück W. Der Vorschubstangenmotor 12 ist ein Aktor zum Antreiben der Vorschubstange 11. Die Spindel 13 dreht das Werkzeug T oder das Werkstück W. Der Spindelmotor 14 ist ein Aktor zum Antreiben der Spindel 13. Die Steuerung 15 steuert die Werkzeugmaschine 1. Die Peripherievorrichtung 16 ist eine Kühlvorrichtung zum Reduzieren von Wärme, die erzeugt wird, wenn der Aktor angetrieben wird. Der Temperatursensor TS ist zum Messen einer Temperatur der Werkzeugmaschine 1 bereitgestellt. Der Verlagerungssensor DS misst eine relative Position zwischen dem Werkzeug T und dem Werkstück W.

[0013] Der Verlagerungssensor DS ist derart in die Werkzeugmaschine 1 eingebaut, dass der Verlagerungssensor DS die relative Position zwischen dem Werkzeug T und dem Werkstück W erfassen kann. Der Verlagerungssensor DS misst die relative Position und gibt die gemessene relative Position als die Daten der thermischen Verlagerung an die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 aus. Der Verlagerungssensor DS, bei dem es sich um einen beliebigen Sensor handelt, der zum Erfassen einer Verlagerung in mindestens einer axialen Richtung in der Lage ist, kann zum Beispiel ein Triangulationslasersensor oder ein Laufzeitlasersensor (time of flight sensor - TOF) sein. Es ist anzumerken, dass eine Vielzahl von Verlagerungssensoren, die orthogonal zueinander sind, eingebaut werden kann, um eine Verlagerung in eine Vielzahl von axialen Richtungen zu erfassen.

[0014] Der Temperatursensor TS ist in die Werkzeugmaschine 1 eingebaut. Der Temperatursensor TS erfasst eine Temperatur und gibt die erfasste Temperatur als die Temperaturdaten an die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 aus. Obwohl in **Fig.** 2 der einzelne Temperatursensor TS veranschaulicht ist, beinhaltet das Bearbeitungssystem 100-1 wünschenswerterweise eine Vielzahl der Temperatursensoren TS. Der Temperatursensor TS ist wünschenswerterweise an einer Stelle eingebaut, die erwartungsgemäß einer großen Temperaturveränderung unterliegt, und an einer Stelle, die erwartungsgemäß einen großen Einfluss auf die thermische Verlagerung hat. Zusätzlich ist der Temperatursensor TS wünschenswerterweise auch außerhalb der Werkzeugmaschine 1 verbaut, sodass der Temperatursensor TS die Temperatur des Raums messen kann, in dem die Werkzeugmaschine 1 aufgebaut ist.

[0015] **Fig.** 3 ist eine Darstellung, die Beispiele für die Einbauposition des Temperatursensors TS in der Werkzeugmaschine 1 gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht. Die in **Fig.** 3 veranschaulichte Werkzeugmaschine 1 ist eine Fräsbearbeitungseinrichtung, die ein Bett 17 beinhaltet, an dem der Vorschubstangenmotor 12 für eine Y-Achse und ein Tisch TA angebaut sind. Auf dem Tisch TA wurde das Werkstück W platziert. Darüber hinaus beinhaltet die Werkzeugmaschine 1 ferner einen Ständer 18, an dem die Vorschubstangenmotoren 12 für die X-Achse und Z-Achse, die Spindel 13 und der Spindelmotor 14 angebaut sind. In **Fig.** 3 geben schwarze Kreise jeweils ein Beispiel für die Einbauposition des Temperatursensors TS an. Wie vorstehend beschrieben, ist der Temperatursensor TS vorzugsweise an der Stelle eingebaut, die erwartungsgemäß

einer großen Temperaturveränderung unterliegt, und an der Stelle, die erwartungsgemäß einen großen Einfluss auf die thermische Verlagerung hat. Die Stelle, die erwartungsgemäß einer großen Temperaturveränderung unterliegt, beinhaltet zum Beispiel Antriebsmechanismen, wie etwa die Vorschubstangenmotoren 12 zum Antreiben der X-, Y- und Z-Achse und den Spindelmotor 14 zum Drehen der Spindel 13. Die Stelle, die erwartungsgemäß einen großen Einfluss auf die thermische Verlagerung hat, beinhaltet zum Beispiel Strukturen der Werkzeugmaschine 1, wie etwa das Bett 17, den Ständer 18 und eine Vorschubspindel 19. Der Temperatursensor TS ist vorzugsweise an einem Scheitelpunkt der Struktur, an einem Punkt zwischen einer Vielzahl von Scheitelpunkten der Struktur, an einer Innenseite der Struktur usw. eingebaut.

[0016] Es wird erneut auf **Fig.** 2 Bezug genommen. Die Peripherievorrichtung 16, bei der es sich um die Kühlvorrichtung handelt, ist eingebaut, um die Werkzeugmaschine 1 zu kühlen und thermische Verlagerung zu verhindern. Die Peripherievorrichtung 16 bewirkt einen Wärmeaustausch zwischen der Struktur der Werkzeugmaschine 1, dem Werkstück W und dem Werkzeug T und Außenluft, die sich außerhalb der Werkzeugmaschine 1 befindet. Zum Beispiel beinhaltet die Peripherievorrichtung 16 eine Kühlmittelvorrichtung, die Schneidöl zum Kühlen des Werkstücks W einspritzt, eine Pumpe, die ein Kältemittel zum Kühlen eines Wärmeaustauschrohrs, das in die Werkzeugmaschine 1 eingebaut ist, zirkuliert usw. Die Peripherievorrichtung 16 gibt Betriebsinformationen über die Peripherievorrichtung 16 an die Steuerung 15 aus.

[0017] Die Betriebsinformationen über die Peripherievorrichtung 16 beinhalten mindestens einen Betriebsstatus, der angibt, ob die Peripherievorrichtung 16 betrieben wird oder nicht. Zusätzlich zu dem Betriebsstatus können die Betriebsinformationen über die Peripherievorrichtung 16 Leistungsverbrauch, Leistung der Peripherievorrichtung 16 usw. beinhalten. Der Betriebsstatus, der in den Betriebsinformationen über die Peripherievorrichtung 16 beinhaltet ist, kann durch einen Zahlenwert dargestellt werden. Zum Beispiel steht der Betriebsstatus „1“ für „einen Zustand, in dem die Peripherievorrichtung 16 in Betrieb ist“ und steht der Betriebsstatus „0“ für „einen Zustand, in dem die Peripherievorrichtung 16 nicht in Betrieb ist“.

[0018] Ein Bearbeitungsprogramm ist eine Reihe von Anweisungen, die der Steuerung 15 erteilt werden, damit die Vorschubstange 11, die Spindel 13 und die Peripherievorrichtung 16 der Werkzeugmaschine 1 gewünschte Vorgänge durchführen können. Konkret kann das Bearbeitungsprogramm Informationen beinhalten, die einen Positionsbefehl für die Vorschubstange 11, einen Geschwindigkeitsbefehl für die Vorschubstange 11, einen Drehzahlbefehl für die Spindel 13, einen Start- und Stopp-Befehl für die Peripherievorrichtung 16 usw. darstellen.

[0019] Die Steuerung 15 liest das Bearbeitungsprogramm und analysiert den im Bearbeitungsprogramm beschriebenen Befehl. Darüber hinaus erzeugt die Steuerung 15 eine Befehlsposition und eine Befehlsgeschwindigkeit für die Vorschubstange 11, um zu ermöglichen, dass die Vorschubstange 11 einen gewünschten Vorgang durchführt, und erteilt dem Vorschubstangenmotor 12 eine Steuereingabe. Die Steuerung 15 erzeugt zudem eine Befehlsgeschwindigkeit für die Spindel 13, um der Spindel 13 zu ermöglichen, einen gewünschten Vorgang durchzuführen, und erteilt dem Spindelmotor 14 eine Steuereingabe.

[0020] Darüber hinaus gibt die Steuerung 15 die Maschinenzustandsdaten, die einen Betriebszustand der Werkzeugmaschine 1 darstellen, an die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 aus. Die Maschinenzustandsdaten, bei denen es sich um Daten handelt, die den Betriebszustand der Werkzeugmaschine 1 darstellen, geben zum Beispiel den Betriebszustand der Peripherievorrichtung 16, die die Temperatur der Werkzeugmaschine 1 anpasst, und einen Betriebszustand des Aktors der Werkzeugmaschine 1 an. Konkret beinhalten die Maschinenzustandsdaten mindestens eine oder mehrere Arten von Informationen aus der Befehlsposition für die Vorschubstange 11, der Befehlsgeschwindigkeit für die Vorschubstange 11, der Befehlsgeschwindigkeit für die Spindel 13 und den Betriebsinformationen über die Peripherievorrichtung 16.

[0021] In einem Fall, in dem der Positionssensor in die Werkzeugmaschine 1 eingebaut ist, kann die Steuerung 15 eine Rückkopplungsregelung derart durchführen, dass eine Differenz zwischen einer durch den Positionssensor erfassten tatsächlichen Position und der Befehlsposition oder zwischen einer tatsächlichen Geschwindigkeit und der Befehlsgeschwindigkeit null wird. In diesem Fall können die Maschinenzustandsdaten eine oder mehrere Arten von Informationen aus der tatsächlichen Position der Vorschubstange 11, der tatsächlichen Geschwindigkeit der Vorschubstange 11 und der tatsächlichen Geschwindigkeit der Spindel 13 beinhalten.

[0022] Es folgt eine Beschreibung der Wärme, die innerhalb und außerhalb der Werkzeugmaschine 1 erzeugt wird, und der Wärmeübertragung. Ein Teil der elektrischen Energie, die zugeführt wird, wenn die Steuerung 15 den Vorschubstangenmotor 12 und den Spindelmotor 14 antreibt, wird zu einem Wärmeverlust. Darüber hinaus wird ein Wärmeverlust aufgrund mechanischer Reibung während des

Betriebs der Vorschubstange 11 und der Spindel 13 verursacht. Diese Wärmeverluste wirken sich so aus, dass die Temperatur der Struktur der Werkzeugmaschine 1 erhöht wird, aber gleichzeitig wird die Werkzeugmaschine 1 durch die Peripherievorrichtung 16 gekühlt. Zudem wird Bearbeitungswärme erzeugt, wenn das Werkstück W mit dem Werkzeug T bearbeitet wird. Ferner verändert sich, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen dem Hauptkörper der Werkzeugmaschine 1 und der umliegenden Umgebung vorliegt, die Temperatur der Struktur der Werkzeugmaschine 1 im Laufe der Zeit gemäß der Temperaturdifferenz. Die Wärmeerzeugung, Wärmeableitung und Zwangskühlung, die innerhalb und außerhalb der Werkzeugmaschine 1, wie vorstehend beschrieben, auftreten, bewirken eine Veränderung der Temperatur der Struktur und bewirken eine thermische Ausdehnung und thermische Spannung in der Struktur. Eine solche thermische Veränderung der Struktur führt zu einem Bearbeitungsfehler zwischen dem Werkzeug T und dem Werkstück W. In der vorliegenden Offenbarung wird der Bearbeitungsfehler zwischen dem Werkzeug T und dem Werkstück W, der durch die thermische Veränderung der Werkzeugmaschine 1 verursacht wird, als thermische Verlagerung bezeichnet.

[0023] Als Nächstes wird der Betriebszustand der Werkzeugmaschine beschrieben. **Fig.** 4 ist eine erläuternde Darstellung eines Beispiels für Veränderungen des Betriebszustands der Werkzeugmaschine 1. **Fig.** 4 veranschaulicht Veränderungen des Betriebszustands über eine Zeitdauer, in der die Werkzeugmaschine 1 zuerst eingeschaltet ist, dann gemäß dem Bearbeitungsprogramm betrieben und schließlich abgeschaltet wird.

[0024] **Fig.** 4 veranschaulicht ein Beispiel für einen zeitlich variierenden Übergang eines Ausführungsstatus des Bearbeitungsprogramms und des Betriebsstatus jeder der Komponenten der Werkzeugmaschine 1, d. h. der Spindel 13, der Vorschubstange 11 und der Peripherievorrichtung 16. Die horizontale Achse in **Fig.** 4 stellt die Zeit dar und „t0“ bis „t9“ stellen die Zeit dar. Einzelheiten zu Zeitpunkt t0 bis Zeitpunkt t9 werden nachstehend beschrieben. Der Ausführungsstatus des Bearbeitungsprogramms gibt an, ob die Werkzeugmaschine 1 einen Programmbetrieb ausführt oder angehalten wurde. Der Begriff „Programmbetrieb“ bedeutet, dass die Werkzeugmaschine 1 gemäß einem im Bearbeitungsprogramm beschriebenen Befehl betrieben wird. Die Werkzeugmaschine 1 befolgt die folgende Vorgehensweise: Die Werkzeugmaschine 1 führt den Programmbetrieb für eine bestimmte Bearbeitung durch. Wenn der Programmbetrieb beendet ist, führt ein Bediener einen Arbeitsgang, wie etwa Austauschen des Werkstückes W, durch. Danach erfolgt ein Arbeitsgang, wie etwa die Durchführung des Programmbetriebs für die nächste Bearbeitung durch die Werkzeugmaschine.

[0025] In dem in **Fig.** 4 veranschaulichten Beispiel wird die Werkzeugmaschine 1 zum Zeitpunkt t0 eingeschaltet und zum Zeitpunkt t 9 abgeschaltet. Ein Zeitraum vom Zeitpunkt t0 bis zum Zeitpunkt t1 stellt einen Bereitschaftszustand dar, bevor der Betrieb gemäß dem Bearbeitungsprogramm gestartet wird. Ein Zeitraum vom Zeitpunkt t8 bis zum Zeitpunkt t9 stellt einen Zeitraum vom Abschluss des Betriebs gemäß dem Bearbeitungsprogramm bis zu dem Zeitpunkt dar, zu dem die Werkzeugmaschine 1 abgeschaltet wird.

[0026] Zudem wird, wie durch den Ausführungsstatus des Bearbeitungsprogramms angegeben, der Programmbetrieb gemäß einem Bearbeitungsprogramm Nr. 1 vom Zeitpunkt t1 bis zum Zeitpunkt t5 durchgeführt und wird der Programmbetrieb gemäß einem Bearbeitungsprogramm Nr. 2 vom Zeitpunkt t6 bis zum Zeitpunkt t8 durchgeführt. Wenn diese Bearbeitungsprogramme ausgeführt werden, verändern sich die Spindelgeschwindigkeit als die Drehzahl der Spindel 13, die Vorschubgeschwindigkeit als die Geschwindigkeit der Vorschubstange 11 und der Betriebszustand der Peripherievorrichtung 16 im Zeitverlauf.

[0027] Die „Spindelgeschwindigkeit“ in **Fig.** 4 gibt die Drehzahl der Spindel 13 an. In **Fig.** 4 gibt „S1000“ an, dass sich die Spindel 13 mit 1000 Umdrehungen pro Minute dreht. Wie durch die Spindelgeschwindigkeit in **Fig.** 4 angegeben, dreht sich der Spindelmotor 14 vom Zeitpunkt t1 bis zum Zeitpunkt t4 mit einer Drehzahl von 1000 Umdrehungen pro Minute, vom Zeitpunkt t4 bis zum Zeitpunkt t5 mit einer Drehzahl von 3000 Umdrehungen pro Minute und vom Zeitpunkt t6 bis zum Zeitpunkt t8 mit einer Drehzahl von 3000 Umdrehungen pro Minute. Wenn sich die Spindel 13 dreht, wird Wärme von der Struktur des Spindelmotors 14 und der Spindel 13 erzeugt. Je höher die Spindelgeschwindigkeit, desto größer ist die von der Spindel 13 erzeugte Wärmemenge. Da sich die Spindelgeschwindigkeit gemäß den Anweisungen des Bearbeitungsprogramms ändert, ändert sich auch die von der Spindel 13 erzeugte Wärmemenge gemäß dem Bearbeitungsprogramm.

[0028] Die „Vorschubgeschwindigkeit“ in **Fig.** 4 gibt die Bewegungsgeschwindigkeit der Vorschubstange 11 an. In **Fig.** 4 gibt „F100“ an, dass die Vorschubstange 11 mit 100 mm pro Minute betrieben wird. Wie durch die Vorschubgeschwindigkeit in **Fig.** 4 angegeben, dreht sich der Vorschubstangenmotor 12 mit einer Drehzahl, die bewirkt, dass die Vorschubstange 11 vom Zeitpunkt t1 bis zum Zeitpunkt t3 mit 100 mm pro Minute betrieben wird, mit einer Drehzahl, die bewirkt, dass die Vorschubstange 11 vom Zeitpunkt t3 bis zum Zeitpunkt t5 mit 300 mm

pro Minute betrieben wird, und mit einer Drehzahl, die bewirkt, dass die Vorschubstange 11 vom Zeitpunkt t6 bis zum Zeitpunkt t8 mit 300 mm betrieben wird. Wenn die Vorschubstange 11 betrieben wird, wird Wärme von der Struktur des Vorschubstangenmotors 12 und der Vorschubstange 11 erzeugt. Je höher die Vorschubgeschwindigkeit, desto größer die erzeugte Wärmemenge. Da sich die Vorschubgeschwindigkeit gemäß den Anweisungen des Bearbeitungsprogramms verändert, verändert sich auch die von der Vorschubstange 11 erzeugte Wärmemenge gemäß dem Bearbeitungsprogramm.

[0029] Der „Betriebsstatus der Peripherievorrichtung“ in **Fig.** 4 gibt an, ob die Peripherievorrichtung 16 zum Kühlen der Werkzeugmaschine 1 in Betrieb ist oder nicht in Betrieb ist. Die Peripherievorrichtung 16 ist während der Bearbeitung nicht immer in Betrieb, sondern wird gemäß den im Bearbeitungsprogramm beschriebenen Anweisungen betrieben oder angehalten. In dem Beispiel für den Betriebsstatus der Peripherievorrichtung in **Fig.** 4 ist die Peripherievorrichtung 16 vom Zeitpunkt t2 bis zum Zeitpunkt t5 in Betrieb, ist die Peripherievorrichtung 16 ist vom Zeitpunkt t5 bis zum Zeitpunkt t7 nicht in Betrieb und ist die Peripherievorrichtung 16 vom Zeitpunkt t7 bis zum Zeitpunkt t8 in Betrieb. Wenn die Peripherievorrichtung 16 betrieben wird, wird Wärme von der Werkzeugmaschine 1 an die Umgebung außerhalb der Werkzeugmaschine 1 übertragen, sodass die Werkzeugmaschine 1 gekühlt wird. Da sich der Betriebsstatus der Peripherievorrichtung 16 gemäß Anweisungen des Bearbeitungsprogramms verändert, verändert sich der durch die Peripherievorrichtung 16 bereitgestellte Kühlzustand ebenfalls gemäß dem Bearbeitungsprogramm.

[0030] Da, wie unter Bezugnahme auf **Fig.** 4 beschrieben, die in der Vorschubstange 11 und der Spindel 13 erzeugte Wärme und der durch die Peripherievorrichtung 16 bereitgestellte Kühlzustand nicht konstant sind, verändert sich die Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine 1 im Zeitverlauf gemäß dem Bearbeitungsprogramm ebenfalls.

[0031] Es gibt auch einen Zeitraum, wie etwa zwischen dem Zeitpunkt t5 und dem Zeitpunkt t6, in dem der Betrieb gemäß dem Bearbeitungsprogramm nicht durchgeführt wird. Zwischen dem Zeitpunkt t5 und t6 kann die Werkzeugmaschine 1 zum Beispiel aufgrund von Einrichtungsarbeit, wie etwa durch einen Bediener, der das Werkstück W löst oder das Innere der Werkzeugmaschine 1 reinigt, angehalten sein. Wenn die Werkzeugmaschine 1, wie vorstehend beschrieben, angehalten ist, unterscheiden sich die Betriebsstatus der Spindel 13, der Vorschubstange 11 und der Peripherievorrichtung 16 von denen während des Programmbetriebs, sodass sich die Größe der erzeugten thermische Verlagerung tendenziell von der während des Programmbetriebs unterscheidet.

[0032] Wie vorstehend beschrieben, wirken sich die Geschwindigkeiten der Vorschubstange 11 und der Spindel 13 und der Betriebszustand der Peripherievorrichtung 16 auf das Auftreten von thermischer Verlagerung aus. In der vorliegenden Ausführungsform sind einzelne Intervalle mit unterschiedlichen Betriebszuständen der Werkzeugmaschine 1, wie etwa ein Intervall vom Zeitpunkt t0 bis zum Zeitpunkt t1 und ein Intervall vom Zeitpunkt t1 bis zum Zeitpunkt t2, als eine „Betriebseinheit“ definiert. Die Dauer der Betriebseinheit ändert sich in Abhängigkeit von der Zeitvorgabe der in dem Bearbeitungsprogramm beschriebenen Anweisungen und ist somit variabel.

[0033] Es ist anzumerken, dass, obwohl **Fig.** 4 das Beispiel veranschaulicht, in dem die Werkzeugmaschine 1 zwei unterschiedliche Arten der Bearbeitungsprogramme ausführt, das Bearbeitungsprogramm nur mindestens einmal ausgeführt werden muss und die Art und die Anzahl der Ausführungen des Bearbeitungsprogramms nicht auf dieses Beispiel beschränkt sind.

[0034] Zudem kann die Werkzeugmaschine 1, nachdem sie abgeschaltet wurde, wieder eingeschaltet werden und das Bearbeitungsprogramm ausführen. In diesem Fall ist ein Zeitintervall von dem Zeitpunkt, zu dem die Werkzeugmaschine 1 abzuschalten ist, bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Werkzeugmaschine 1 wieder einzuschalten ist, als eine Betriebseinheit definiert.

[0035] Als Nächstes wird eine funktionelle Ausgestaltung der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 beschrieben. **Fig.** 5 ist eine Darstellung, die die funktionelle Ausgestaltung der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 gemäß der ersten Ausführungsform veranschaulicht. Unter Verwendung der von der Werkzeugmaschine 1 im Betrieb ausgegebenen Daten lernt die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 das Modell der thermischen Verlagerung zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten, die mindestens die Temperaturdaten beinhalten.

[0036] Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 beinhaltet eine Lerndatenerlangungseinheit 21, eine Datensatzerzeugungseinheit 22, eine Lerneinheit 23 und eine Modellspeichereinheit 24.

[0037] Die Lerndatenerlangungseinheit 21 erlangt die Daten der thermischen Verlagerung, die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten, die alle von der Werkzeugmaschine 1 ausgegeben werden,

und erzeugt Lerndaten, bei denen die erlangten Daten zeitlich synchronisiert sind. Die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten sind Beispiele für Informationen, die in den Eingabedaten beinhaltet sind. Die Eingabedaten beinhalten mindestens die Temperaturdaten. Die Lerndaten sind Zeitreihendaten, in denen die Daten der thermischen Verlagerung, die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten in einem „festen Zeitraum“ angeordnet sind. Der Ausdruck „fester Zeitraum“ stellt einen Abtastzeitraum dar, der in der Lerndatenerlangungseinheit 21 voreingestellt ist. Die Lerndatenerlangungseinheit 21 empfängt von der Werkzeugmaschine 1 die Daten für die Betriebseinheit, bei der es sich um mindestens ein oder mehrere Zeitintervalle handelt, und erzeugt die Lerndaten. Die Lerndatenerlangungseinheit 21 gibt die erzeugten Lerndaten an die Datensatzerzeugungseinheit 22 aus.

[0038] Die Datensatzerzeugungseinheit 22 erfasst einen spezifischen Zeitpunkt auf Grundlage des Betriebszustands der Werkzeugmaschine 1, extrahiert aus den Lerndaten die Daten der thermischen Verlagerung, die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten in Bezug auf den erfassten Zeitpunkt, setzt die extrahierten Daten als Datensatz zusammen und gibt eine Vielzahl der Datensätze an die Lerneinheit 23 aus. Im Folgenden wird der Begriff „spezifischer Zeitpunkt“, der von der Datensatzerzeugungseinheit 22 erfasst wird, als ein „Extraktionsreferenzzeitpunkt“ bezeichnet. Der Extraktionsreferenzzeitpunkt wird unter Bezugnahme auf **Fig.** 4 beschrieben. Die Datensatzerzeugungseinheit 22 erfasst jeden der Zeitpunkte t1 bis t8. Der erfasste Zeitpunkt ist als der Zeitpunkt definiert, zu dem sich der Betriebszustand der Werkzeugmaschine 1 verändert. Es ist anzumerken, dass in **Fig.** 4 der Zeitpunkt, zu dem eine Veränderung an eines beliebigen der Spindelgeschwindigkeit, der Vorschubgeschwindigkeit, des Betriebsstatus der Peripherievorrichtung 16 und des Starts/Endes des Bearbeitungsprogramms auftritt, als der Extraktionsreferenzzeitpunkt definiert ist, der Extraktionsreferenzzeitpunkt jedoch nicht auf diese Beispiele beschränkt ist. Zum Beispiel können die Zeitvorgabe zum Abrufen und Beenden eines Unterprogramms, die Zeitvorgabe zum Austauschen des Werkzeugs T und dergleichen ebenfalls als die Veränderung des Betriebszustands der Werkzeugmaschine 1 angesehen werden. Darüber hinaus kann in einem Fall, in dem eine Zeitvorgabe für eine Veränderung des Betriebszustands im Voraus in dem Bearbeitungsprogramm angewiesen ist, die Datensatzerzeugungseinheit 22 diese Informationen auslesen. Es ist anzumerken, dass die Datensatzerzeugungseinheit 22 zusätzlich einen neuen Extraktionsreferenzzeitpunkt durch zeitliches Interpolieren von zwei Extraktionsreferenzzeitpunkten festlegen kann.

[0039] Die Datensatzerzeugungseinheit 22 erzeugt den Datensatz durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten daraus in Bezug auf den Extraktionsreferenzzeitpunkt.

[0040] **Fig.** 6 ist eine erläuternde Darstellung eines ersten Beispiels für ein Verfahren zur Datensatzerzeugung. Das erste Beispiel für das Verfahren für die Datensatzerzeugungseinheit 22 zum Erzeugen der Datensätze aus den Lerndaten wird unter Verwendung von **Fig.** 6 beschrieben. **Fig.** 6 veranschaulicht die Datensätze Nr. a1 bis Nr. an, die aus den Lerndaten extrahiert werden, in einem Fall, in dem ein Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 ein Startreferenzzeitpunkt für die Datenextraktion ist. Eingabedatenelemente Nr. a1 bis Nr. an sind die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten mit dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 als Anfangszeitpunkt. Wenn ein Element von i-ten Eingabedaten ein Eingabedatenelement Nr. ai ist, wird das Zeitintervall des Eingabedatenelements Nr. ai um eine vorbestimmte Zeitverlängerungsbreite T1 zeitlich auf ein Ende des Zeitintervalls eines Eingabedatenelements Nr. ai-1 folgend verlängert. Die Dauer des Eingabedatenelements Nr. a2 ist um die Zeitverlängerungsbreite T1 länger als die Dauer des Eingabedatenelements Nr. a1. Gleichermaßen ist die Dauer des Eingabedatenelements Nr. a3 um die Zeitverlängerungsbreite T1 länger als die Dauer des Eingabedatenelements Nr. a2. Das heißt, wenn die Zeitbreite des Eingabedatenelements Nr. a1 T ist, ist die Zeitbreite des Eingabedatenelements Nr. ai „T+(1i-1)T1“. Die Eingabedatenelemente Nr. a1 bis Nr. an sind Datenelemente in Zeitintervallen, die bei dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 beginnen, und jedes Eingabedatenelement weist die entsprechende Zeitbreite „T+(i-1)T1“ auf. Bei jedem Trainingsdatenelement Nr. a1 bis Nr. an handelt es sich um die Daten der thermischen Verlagerung zum Endzeitpunkt des entsprechenden der Eingabedatenelemente Nr. a1 bis Nr. an. Wie in **Fig.** 6 veranschaulicht, erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Vielzahl der Datensätze Nr. a1 bis Nr. an anhand des einzelnen Extraktionsreferenzzeitpunkts t1. Durch die vorstehende Verarbeitung kann die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze derart erzeugen, dass die extrahierten Zeitintervalle der Vielzahl der Datensätze Nr. a1 bis Nr. an, die anhand des einzelnen Extraktionsreferenzzeitpunkts t1 erzeugt werden, unterschiedliche Dauern aufweisen. Die Datensatzerzeugungseinheit 22 führt die vorstehende Verarbeitung für jeden einer Vielzahl von Extraktionsreferenzzeitpunkten durch, die in den Lerndaten beinhaltet sind. Es ist anzumerken, dass, wie bei dem Datensatz Nr. an, der Endzeitpunkt nach „t2“ liegen kann, wobei es sich um den Extraktionsreferenzzeitpunkt nach dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 handelt.

[0041] **Fig.** 7 ist eine erläuternde Darstellung eines zweiten Beispiels für das Verfahren zur Datensatzerzeugung. Das zweite Beispiel für das Verfahren für die Datensatzerzeugungseinheit 22 zum Erzeugen der Datensätze aus den Lerndaten wird unter Verwendung von **Fig.** 7 beschrieben. **Fig.** 7 veranschaulicht die aus den Lerndaten extrahierten Datensätze Nr. b1 bis Nr. bn in einem Fall, in dem der Extraktionsreferenzzeitpunkt t2 ein Endreferenzzeitpunkt für die Datenextraktion ist. Eingabedatenelemente Nr. b1 bis Nr. bn sind die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten mit dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t2 als den Endzeitpunkt. Wenn ein Element von i-ten Eingabedaten ein Eingabedatenelement Nr. bi ist, wird das Zeitintervall des Eingabedatenelements Nr. bi um die vorbestimmte Zeitverlängerungsbreite T1 zeitlich von einem Startpunkt des Zeitintervalls eines Eingabedatenelements Nr. bi-1 zurückgehend verlängert. Wenn die Zeitbreite des Eingabedatenelements Nr. b1 T ist, ist wie beim ersten Beispiel die Zeitbreite des Eingabedatenelements Nr. bi „T+(1i-1)T1“. Die Eingabedatenelemente Nr. b1 bis Nr. bn sind Datenelemente in Zeitintervallen, die bei dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t2 enden, und jedes Eingabedatenelement weist die entsprechende Zeitbreite „T+(i-1)T1“ auf. Bei jedem Trainingsdatenelement Nr. b1 bis Nr. bn handelt es sich um die Daten der thermischen Verlagerung zum Endzeitpunkt des entsprechenden der Eingabedatenelemente Nr. b1 bis Nr. bn. Wie in **Fig.** 7 veranschaulicht, erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Vielzahl der Datensätze Nr. b1 bis Nr. bn anhand des einzelnen Extraktionsreferenzzeitpunkts t2. Durch die vorstehende Verarbeitung kann die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze derart erzeugen, dass die extrahierten Zeitintervalle der Vielzahl der Datensätze Nr. b1 bis Nr. bn, die anhand des einzelnen Extraktionsreferenzzeitpunkts t2 erzeugt werden, unterschiedliche Dauern aufweisen. Die Datensatzerzeugungseinheit 22 führt die vorstehende Verarbeitung für jeden einer Vielzahl von Extraktionsreferenzzeitpunkten durch, die in den Lerndaten beinhaltet sind. Es ist anzumerken, dass der Startzeitpunkt wie bei dem Datensatz Nr. bn zu einem vergangenen Zeitpunkt „t1“ zurückgehen kann, bei dem es sich um den Extraktionsreferenzzeitpunkt vor dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t2 handelt.

[0042] **Fig.** 8 ist eine erläuternde Darstellung eines dritten Beispiels für das Verfahren zur Datensatzerzeugung. In dem dritten Beispiel erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze derart, dass ein Aggregat der Daten, die in allen Datensätzen beinhaltet sind, einheitlich die gesamten erlangten Daten beinhaltet. Konkret erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze, indem ein Zeitraum von dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 bis zu dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t2, der auf den Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 folgt, in „n“ gleiche Intervalle aufgeteilt wird, wobei „n“ eine natürliche Zahl ist. **Fig.** 8 veranschaulicht die Datensätze Nr. c1 bis Nr. cn, die aus den Lerndaten zwischen dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1, bei dem es sich um den Anfangsreferenzzeitpunkt für die Datenextraktion handelt, und dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t2 als Ende extrahiert werden. Bei dem Eingabedatenelement Nr. c1 handelt es sich um die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten mit dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 als den Startzeitpunkt und den Zeitpunkt „t1+(t2-t1)/n“ als den Endzeitpunkt. Bei dem Eingabedatenelement Nr. c2 handelt es sich um die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten mit dem Zeitpunkt „t1 +(t2-t1)/n“ als den Startzeitpunkt und den Zeitpunkt „t1+2×(t2-t1)/n“ als den Endzeitpunkt. Bei dem Eingabedatenelement Nr. ci handelt es sich um die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten mit dem Zeitpunkt „t1+(i-1)×(t2-t1)/n“ als den Startzeitpunkt und den Zeitpunkt „t1+i×(t2-t1)/n“ als den Endzeitpunkt. Bei jedem Trainingsdatenelement Nr. c1 bis Nr. cn handelt es sich um die Daten der thermischen Verlagerung zum Endzeitpunkt des entsprechenden der Eingabedatenelemente Nr. c1 bis Nr. cn. Durch die vorstehende Verarbeitung kann die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze derart erzeugen, dass die Datenelemente zwischen dem Extraktionsreferenzzeitpunkt t1 und dem Zeitpunkt t2 gleichmäßig in den Eingabedaten beinhaltet sind, ohne sich zu überlappen. Die Datensatzerzeugungseinheit 22 führt die vorstehende Verarbeitung für jeden einer Vielzahl von Extraktionsreferenzzeitpunkten durch, die in den Lerndaten beinhaltet sind. Es ist anzumerken, dass in dem dritten Beispiel die extrahierten Zeitintervalle für die Datensätze Nr. c1 bis Nr. cn, die zwischen den Extraktionsreferenzzeitpunkten t1 und t2 erzeugt werden, einheitliche Dauern aufweisen. Wie jedoch in **Fig.** 4 veranschaulicht, sind die Dauern zwischen den benachbarten Extraktionsreferenzzeitpunkten nicht einheitlich, und somit wird die Dauer des Zeitintervalls, das extrahiert wird, wenn die Datensatzerzeugungseinheit 22 den Datensatz erzeugt, in Abhängigkeit von der Dauer zwischen den zwei benachbarten Extraktionsreferenzzeitpunkten bestimmt. Daher wird durch Durchführen der vorstehenden Verarbeitung an jedem von allen Extraktionsreferenzzeitpunkten als Ganzes die Vielzahl der Datensätze in extrahierten Zeitintervallen, die unterschiedliche Dauern aufweisen, erzeugt.

[0043] In dem ersten Beispiel bis zum dritten Beispiel für das vorstehend beschriebene Verfahren zur Datensatzerzeugung handelt es sich bei jedem Trainingsdatenelement Nr. a1 bis Nr. an, Nr. b1 bis Nr. bn und Nr. c1 bis Nr. cn um die Daten der thermischen Verlagerung zu einem Zeitabschnitt, der dem Endzeitpunkt für das entsprechende Eingabedatenelement Nr. a1 bis Nr. an, Nr. b1 bis Nr. bn und Nr. c1 Nr. cn bis Nr. cn entspricht, aber die Dauer des Trainingsdatenelements ist nicht auf den Zeitabschnitt

beschränkt und es kann sich dabei um Zeitreihendaten handeln. Zum Beispiel können die Trainingsdatenelemente Nr. a1 bis Nr. an, Nr. b1 bis Nr. bn und Nr. c1 bis Nr. cn Zeitreihendaten sein, die die gleiche Dauer aufweisen wie die Eingabedatenelemente Nr. a1 bis Nr. an, Nr. b1 bis Nr. bn bzw. Nr. c1 bis Nr. cn.

[0044] Es ist anzumerken, dass im ersten Beispiel für das vorstehend beschriebene Verfahren zur Datensatzerzeugung ein Zeitintervall Nr. a1, das dem Eingabedatenelement Nr. a1 entspricht, „n"-mal für die Eingabedatenelemente Nr. a1 bis Nr. an ausgewählt und als Eingabedaten eingesetzt wird. Dahingegen ist die Anzahl, wie häufig ein Verlängerungsintervall Nr. a2 als die Eingabedaten übernommen wird, (n-1), und wird ein Verlängerungsintervall Nr. an nur einmal als die Eingabedaten eingesetzt. Ebenso wird in dem zweiten Beispiel ein Zeitintervall Nr. b1, das dem Eingabedatenelement Nr. b1 entspricht, „n"-mal für die Eingabedatenelemente Nr. b1 bis Nr. bn ausgewählt und als die Eingabedaten eingesetzt. Dahingegen ist die Anzahl, wie häufig ein Verlängerungsintervall Nr. b2 als die Eingabedaten übernommen wird, (n-1), und wird ein Verlängerungsintervall Nr. bn nur einmal als die Eingabedaten eingesetzt. Das heißt, eine Vielzahl von Eingabedatenelementen, die mit einem Extraktionsreferenzzeitpunkt als eine zeitliche Referenz erzeugt wird, beinhaltet ein Intervall, das viele Male extrahiert wurde, und ein Intervall, das die geringere Anzahl von Malen extrahiert wurde. Beim Erzeugen der Datensätze anhand der Extraktionsreferenzzeitpunkte gleicht die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Anzahl der Extraktionen von jedem des Zeitintervalls und des Verlängerungsintervalls über die gesamten Lerndaten aus. Konkret führt die Datensatzerzeugungseinheit 22, wenn alle Sätze der Datensätze, die in Bezug auf die Extraktionsreferenzzeitpunkte erzeugt wurden, kombiniert werden, eine Histogrammausgleichsverarbeitung aus, wenn eine Variation der Anzahl der Häufigkeit, mit der die Zeitintervalle extrahiert werden, größer oder gleich einer Toleranz ist. Hier kann ein bekannter Algorithmus als die Histogrammausgleichsverarbeitung übernommen werden. Durch eine derartige Verarbeitung kann die Datensatzerzeugungseinheit 22 das Ungleichgewicht bei der Anzahl von Datenextraktionen über die gesamten Lerndaten ausgleichen. Infolgedessen erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 die Datensätze als Ganzes, ohne nur ein spezifisches Intervall der Lerndaten zu extrahieren, sodass die somit erzeugten mehreren Datensätze den Betriebszustand, der in den Lerndaten beinhaltet ist, einheitlich widerspiegeln. Es ist anzumerken, dass, obwohl hier der Ausgleich der Anzahl von Extraktionen mit Fokus auf die Eingabedaten beschrieben wurde, die Anzahl von Extraktionen mit Fokus auf die Trainingsdaten ausgeglichen werden kann.

[0045] Wie vorstehend beschrieben, können das erste bis dritte Beispiel des vorstehend beschriebenen Verfahrens zur Datensatzerzeugung die Vielzahl der Datensätze, deren extrahierte Zeitintervalle unterschiedliche Dauern aufweisen, auf Grundlage des Extraktionsreferenzzeitpunkts, zu dem sich der Betriebszustand der Werkzeugmaschine 1 verändert, erzeugen. Darüber hinaus werden die Datensätze in dem dritten Beispiel derart erzeugt, dass das Aggregat der Daten, die in allen Datensätzen beinhaltet sind, einheitlich die gesamten erlangten Daten beinhaltet. Infolgedessen können, wenn die Lerneinheit 23, die nachfolgend beschrieben werden soll, das Modell der thermischen Verlagerung lernt, die gesamten Lerndaten einheitlich dem Lernen unterzogen werden, was ferner die Wirkung zur Folge hat, dass eine Überanpassung verhindert wird, die es dem Modell ermöglicht, nur einige Daten abzugleichen, und dass eine Verallgemeinerungsleistung des Modells der thermischen Verlagerung verbessert wird.

[0046] Zusätzlich wurde in dem dritten Beispiel des vorstehend beschriebenen Verfahrens zur Datensatzerzeugung das Beispiel beschrieben, bei dem der Zeitraum zwischen den zwei benachbarten Extraktionsreferenzzeitpunkten in „n" gleiche Intervalle unterteilt wird, aber selbst wenn der Zeitraum zwischen den zwei benachbarten Extraktionsreferenzzeitpunkten in nicht einheitliche Dauern unterteilt wird, sodass es nicht zu einer Überlappung der Eingabedatenelemente kommt, kann eine Wirkung ähnlich der des dritten Beispiels erlangt werden.

[0047] Als Nächstes wird die Lerneinheit 23 beschrieben. **Fig.** 9 ist eine erläuternde Darstellung eines Verfahrens zum Lernen des Modells der thermischen Verlagerung. Die Lerneinheit 23 weist eine Funktion des Lernens des Modells der thermischen Verlagerung zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten unter Verwendung der Eingabedaten und der Trainingsdaten auf, die in dem von der Datensatzerzeugungseinheit 22 erzeugten Datensatz beinhaltet sind. Die Lerneinheit 23 beinhaltet intern das Modell der thermischen Verlagerung, das die Größe der thermischen Verlagerung in Zeitreihen ausgibt, wenn sie die Eingabedaten in Zeitreihen empfängt, die in dem Datensatz beinhaltet sind. Die Lerneinheit 23 optimiert interne Parameter des Modells der thermischen Verlagerung, um eine Differenz zwischen einem geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung, wobei der geschätzte Wert die Ausgabe von dem Modell der thermischen Verlagerung ist, und den Trainingsdaten, die in den Datensätzen beinhaltet sind, zu minimieren. Die Lerneinheit 23 ermittelt somit das Modell der thermischen Verlagerung, das dazu in der Lage ist, die Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten zu schätzen, und gibt das Modell der thermischen Ver-

lagerung als ein trainiertes Modell der thermischen Verlagerung aus.

[0048] Die Datensätze, die von der Datensatzerzeugungseinheit 22 der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 ausgegeben werden, weisen variable Längen auf. Das heißt, mindestens zwei der Vielzahl von Datensätzen, die von der Datensatzerzeugungseinheit 22 ausgegeben werden, werden in den Zeitintervallen extrahiert, die unterschiedliche Dauern aufweisen. Daher verwendet die Lerneinheit 23 das Modell der thermischen Verlagerung, das dazu in der Lage ist, die Eingabedaten mit variabler Länge zu handhaben. Die Lerneinheit 23 lernt die Größe der thermischen Verlagerung zum Beispiel durch so genanntes überwachtes Lernen gemäß einem neuronalen Netz. Überwachtes Lernen bezieht sich auf ein Verfahren, das einer Lernvorrichtung die Lerndaten bereitstellt, bei denen es sich um Sätze von Eingabedaten und Ergebnisdaten handelt, wodurch es der Lernvorrichtung ermöglicht wird, Merkmale in den Lerndaten zu lernen, sodass die Lernvorrichtung das Ergebnis aus der Eingabe ableitet. Als Beispiel erfolgt eine Beschreibung, bei der die Lerneinheit 23 das Modell der thermischen Verlagerung unter Verwendung eines rekurrenten neuronalen Netzes (recurrent neural network - RNN) lernt.

[0049] Das RNN ist ein neuronales Netz, das eine Struktur aufweist, bei der die Ausgabe einer mittleren Schicht rekursiv in die Schicht eingegeben wird, die das Ergebnis ausgegeben hat. Die Lerneinheit 23 kann zum Beispiel ein neuronales Netz verwenden, das eine Struktur aufweist, die in **Fig.** 10 veranschaulicht ist. **Fig.** 10 ist eine erläuternde Darstellung des neuronalen Netzes. Das in **Fig.** 10 veranschaulichte neuronale Netz ist das RNN, bei dem eine Eingabeschicht „n“ Eingaben von „x1“ bis „xn“ beinhaltet, eine mittlere Schicht „m“ Knoten von „h1“ bis „hm“ beinhaltet und eine Ausgabeschicht eine Ausgabe von „y1“ beinhaltet. Ein oberes Diagramm in **Fig.** 10 veranschaulicht einen Zustand des neuronalen Netzes zum Zeitpunkt t-1 und ein unteres Diagramm in **Fig.** 10 veranschaulicht einen Zustand des neuronalen Netzes zum Zeitpunkt t. Die mittlere Schicht gibt zum Zeitpunkt t eine gewichtete Summe von Werten, die anhand von Eingaben der Eingabeschicht zum Zeitpunkt t berechnet wurden, und Termen, die anhand von Werten, die von der mittleren Schicht zum Zeitpunkt t-1 eingegeben wurden, berechnet wurden, an die Ausgabeschicht aus. Wenn „x_t“ einen Vektor darstellt, der die Eingaben „x1“ bis „xn“ der Eingabeschicht zum Zeitpunkt t kombiniert, und „h_t“ einen Vektor darstellt, der die Knoten „h1“ bis „hm“ der mittleren Schicht zum Zeitpunkt t kombiniert, dann kann „h_t“ durch die folgende Formel (1) ausgedrückt werden. Es ist anzumerken, dass in Formel (1), wenn der Vektor x_t eine Dimension „n“ aufweist und der Vektor ht eine Dimension „m“ aufweist, „W“ eine n×m-dimensionale lineare Transformationsmatrix ist. Zusätzlich steht „R“ für eine M×M-dimensionale lineare Transformationsmatrix, steht „b“ für einen Verzerrungsvektor und steht „g“ für eine Aktivierungsfunktion.

$$h_t = g\left(Wx_t + Rh_{t-1} + b\right) \qquad .. (1)$$

[0050] Unter Verwendung von Rückpropagierung durch die Zeit passt die Lerneinheit 23 die Gewichtung des neuronalen Netzes derart an, dass die Größe der thermischen Verlagerung, bei der es sich um die Ausgabe handelt, mit den Daten der thermischen Verlagerung übereinstimmt.

[0051] Es ist anzumerken, dass, obwohl **Fig.** 10 das Beispiel des neuronalen Netzes veranschaulicht, bei dem die Eingabeschicht n-dimensional ist, die mittlere Schicht m-dimensional ist und die Ausgabeschicht eindimensional ist, keine der Schichten auf die in diesem Beispiel veranschaulichte Dimension beschränkt ist und eine beliebige Dimension aufweisen kann. Darüber hinaus kann, obwohl **Fig.** 10 das Beispiel des neuronalen Netzes mit einer mittleren Schicht veranschaulicht, eine Vielzahl von mittleren Schichten beinhaltet sein.

[0052] Es ist anzumerken, dass, um die Generalisierungsleistung des Modells der thermischen Verlagerung zu verbessern, die Lerneinheit 23 auch ein Verfahren, wie etwa „Dropout“, das Neuronen zum Zeitpunkt des Lernens zufällig ausschließt, oder „early stopping“, das Fehler überwacht und das Lernen frühzeitig beendet, verwenden kann.

[0053] Es ist anzumerken, dass die RNNs unter Verwendung des Elman-Netzes als Beispiel beschrieben wurden, das Lernen jedoch durch Konstruieren des Modells der thermischen Verlagerung unter Verwendung eines anderen bekannten RNN wie etwa eines Long Short Term Memory (LSTM) oder einer Gated Recurrent Unit (GRU) durchgeführt werden. Als noch ein anderes Verfahren kann die Lerneinheit 23 Lernen durch Regressionsanalyse unter Verwendung eines autoregressiven Modells durchführen.

[0054] **Fig.** 11 ist ein Ablaufdiagramm zum Erläutern des Betriebs der in **Fig.** 5 veranschaulichten Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 kann das trainierte Modell der thermischen Verlagerung durch Ausführen der in **Fig.** 11 veranschaulichten Verarbeitung erzeugen.

[0055] Die Lerndatenerlangungseinheit 21 der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 erlangt die Daten der thermischen Verlagerung, die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten von der Werkzeugmaschine 1 (Schritt S101). Die Lerndatenerlangungs-

einheit 21 erzeugt die Lerndaten durch temporales Verknüpfen der Daten der thermischen Verlagerung, der Temperaturdaten und der erlangten Maschinenzustandsdaten (Schritt S102).

[0056] Die Datensatzerzeugungseinheit 22 erzeugt die Vielzahl der Datensätze aus den Lerndaten (Schritt S103). Unter Verwendung der Datensätze lernt die Lerneinheit 23 das Model der thermischen Verlagerung durch Optimieren der internen Parameter des Modells der thermischen Verlagerung derart, dass als Reaktion auf das Empfangen einer Eingabe der in den Datensätzen beinhalteten Eingabedaten das Modell der thermischen Verlagerung die Größe der thermischen Verlagerung ausgibt, die mit den in den Datensätzen beinhalteten Trainingsdaten übereinstimmt (Schritt S104).

[0057] Wie vorstehend beschrieben, erzeugt die Datensatzerzeugungseinheit 22 gemäß der ersten Ausführungsform die Vielzahl von Arten der Datensätze, die variable Längen aufweisen, und wird das Lernen des Modells der thermischen Verlagerung unter Verwendung der Vielzahl der Datensätze durchgeführt, von denen mindestens zwei in den Zeitintervallen, die unterschiedliche Dauern aufweisen, extrahiert werden. Infolgedessen kann die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 das Modell der thermischen Verlagerung unter Verwendung der Datensätze lernen, die unter Verwendung der Zeitintervalle erzeugt wurden, die die geeigneten Dauern für die thermische Verlagerung, die in der Werkzeugmaschine 1 erzeugt wird, aufweisen, und die Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung verbessern. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 kann die Genauigkeit des Schätzens der Größe der thermischen Verlagerung unabhängig von der Betriebsdauer der Werkzeugmaschine 1 verbessern.

[0058] Die Werkzeugmaschine 1 wird gemäß dem Bearbeitungsprogramm betrieben, das variable Dauern und damit unterschiedliche Betriebsmuster in Entsprechung zu Endformen verschiedener Arten der Werkstücke W aufweist. Um das Modell der thermischen Verlagerung zu erzeugen, das dazu in der Lage ist, die Größe der thermischen Verlagerung genau zu schätzen, müssen die Datensätze, die zum Lernen verwendet werden, anhand des Bearbeitungsprogramms erlangt werden und in der Dauer variabel sein.

[0059] In der ersten Ausführungsform werden die Datensätze, die von der Lerneinheit 23 zum Lernen des Modells der thermischen Verlagerung verwendet werden, auf Grundlage der Zeitpunkte erzeugt, zu denen sich der Betriebszustand der Werkzeugmaschine 1, die auf Grundlage des Bearbeitungsprogramms betrieben wird, verändert. Dementsprechend kann die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 der ersten Ausführungsform das Lernen des Modells der thermischen Verlagerung unter Verwendung der Datensätze auf einer zeitlichen Basis als die Veränderungen des Betriebszustands der Werkzeugmaschine 1 bei der tatsächlichen Bearbeitung ausführen. Das Modell der thermischen Verlagerung kann daher die Eingabe/Ausgabe-Beziehung lernen, die den Betriebszustand der Werkzeugmaschine widerspiegelt.

[0060] Darüber hinaus kann in einem Fall der Verwendung des ersten Beispiels und des zweiten Beispiels für das vorstehend beschriebene Verfahren zur Datensatzerzeugung die Datensatzerzeugungseinheit 22 den Datensatz durch Extrahieren, aus den Lerndaten, der Daten, die die Zeitbreite aufweisen, die ein Vielfaches der vorbestimmten Zeitverlängerungsbreite T1 ist, anhand des Zeitpunkts, der als der Extraktionsreferenzzeitpunkt definiert ist, erzeugen.

[0061] Da es sich bei dem Modell der thermischen Verlagerung darüber hinaus um ein zeitlich rekursives Modell handelt, kann das Lernen durchgeführt werden, um die Größe der thermischen Verlagerung zu berechnen, die durch die Informationen beeinflusst wird, die nicht nur in den Eingabedaten, die zum Zeitpunkt der Berechnung des geschätzten Wertes der Größe der thermischen Verlagerung eingegeben werden, sondern auch in den vergangenen Eingabedaten vor diesem Zeitpunkt beinhaltet sind. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 kann daher das Lernen nicht nur mit den Temperaturdaten und den Maschinenzustandsdaten zum Zeitpunkt der Berechnung der thermischen Verlagerung durchführen, sondern auch unter Berücksichtigung des Einflusses der zeitlichen Veränderungen in diesen Datenelementen.

Zweite Ausführungsform.

[0062] Fig. 12 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems 100-2 gemäß einer zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Das Bearbeitungssystem 100-2 gemäß der zweiten Ausführungsform beinhaltet eine Werkzeugmaschine 1A, die Lernvorrichtung 2 für das Modell der thermischen Verlagerung und eine Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3. Das Bearbeitungssystem 100-2 beinhaltet die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 zusätzlich zu der Ausgestaltung des Bearbeitungssystems 100-1 gemäß der ersten Ausführungsform und beinhaltet die Werkzeugmaschine 1A anstelle der Werkzeugmaschine 1 des Bearbeitungssystems 100-1.

[0063] Die Lernvorrichtung 2 für das Modell der thermischen Verlagerung führt eine ähnliche Verarbei-

tung wie bei der ersten Ausführungsform durch, mit Ausnahme des Ausgebens eines trainierten Modells der thermischen Verlagerung an die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3, und daher wird hier auf die Beschreibung der Verarbeitung, die von der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 durchgeführt wird, verzichtet. Die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 erlangt das trainierte Modell der thermischen Verlagerung, das von der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 erzeugt wurde, und Eingabedaten für die Inferenz. Die Eingabedaten für die Inferenz beinhalten mindestens Temperaturdaten, die die Temperatur der Werkzeugmaschine 1A in Zeitreihen darstellen, wobei die Werkzeugmaschine 1A ein Inferenzziel ist. Die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 verwendet das Modell der thermischen Verlagerung, um anhand der Eingabedaten einen geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine 1A als das Inferenzziel zu erzeugen. Die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 gibt den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung an die Werkzeugmaschine 1A aus.

[0064] Zusätzlich zu den Funktionen der Werkzeugmaschine 1 weist die Werkzeugmaschine 1A eine Funktion zum Ausgeben der Temperaturdaten und der Maschinenzustandsdaten an die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 und eine Funktion zum Korrigieren der thermischen Verlagerung auf Grundlage des geschätzten Wertes der Größe der thermischen Verlagerung, der durch die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 ausgegeben wird, auf.

[0065] Fig. 13 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung der Werkzeugmaschine 1A gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Die Ausgestaltung der Werkzeugmaschine 1A ähnelt der von Werkzeugmaschine 1, mit der Ausnahme, dass eine Steuerung 15A anstelle der Steuerung 15 der Werkzeugmaschine 1 beinhaltet ist. Die Steuerung 15A korrigiert die thermische Verlagerung durch Korrigieren der Steuereingabe für mindestens eines von dem Spindelmotor 14, der die Spindel 13 antreibt, und dem Vorschubstangenmotor 12, der die Vorschubstange 11 antreibt, auf Grundlage des geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung, der durch die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 ausgegeben wird. Die Werkzeugmaschine 1A führt unter Verwendung der korrigierten Steuereingabe eine spanende Bearbeitung durch.

[0066] Fig. 14 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 gemäß der zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 beinhaltet eine Inferenzdatenerlangungseinheit 31, eine Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32 und eine Inferenzeinheit 33.

[0067] Die Inferenzdatenerlangungseinheit 31 erlangt die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten von der Werkzeugmaschine 1A als das Inferenzziel und gibt Inferenzdaten an die Inferenzeinheit 33 aus. Bei den Inferenzdaten sind die erlangten Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten zeitlich miteinander synchronisiert. Die Inferenzdaten, die mindestens die Temperaturdaten beinhalten, werden derart erzeugt, dass sie eine Datenkombination aufweisen, die jener der Eingabedaten ähnlich ist, die das trainierte Modell der thermischen Verlagerung zum Zeitpunkt des Lernens verwendet. Darüber hinaus werden die Inferenzdaten nacheinander im gleichen Zeitraum ausgegeben wie die Lerndaten, die von der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 erzeugt werden.

[0068] Die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32 erlangt von der Modellspeichereinheit 24 der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 das trainierte Modell für die thermische Verlagerung, das zum Zweck der Inferenz verwendet wird. Die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32 gibt das erlangte Modell der thermischen Verlagerung an die Inferenzeinheit 33 aus.

[0069] Die Inferenzeinheit 33 verwendet das trainierte Modell der thermischen Verlagerung, um den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung anhand der in den Inferenzdaten beinhalteten Eingabedaten auszugeben. Die Inferenzeinheit 33 gibt den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung an die Werkzeugmaschine 1A aus. Die Inferenzeinheit 33 gibt die in den Inferenzdaten beinhalteten Maschinenzustandsdaten in das trainierte Modell der thermischen Verlagerung in einem Zeitraum ähnlich dem zum Zeitpunkt des Lernens ein. Die Maschinenzustandsdaten, die in das trainierte Modell der thermischen Verlagerung eingegeben werden, weisen eine Datenstruktur auf, die jener zum Zeitpunkt des Lernens ähnelt. Durch derartiges Eingeben der Maschinenzustandsdaten kann die Inferenzeinheit 33 den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung zu dem Zeitraum, der dem der Eingabe ähnelt, berechnen. Die Inferenzeinheit 33 gibt den berechneten geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung an die Steuerung 15A der Werkzeugmaschine 1A in dem gleichen Zeitraum wie dem Eingabezyklus der Inferenzdaten aus.

[0070] Die Steuerung 15A der Werkzeugmaschine 1A empfängt den geschätzten Wert der Größe der

thermischen Verlagerung, der durch die Inferenzeinheit 33 ausgegeben wird, und korrigiert zum Beispiel den Positionsbefehl für die Vorschubstange 11, um die thermische Verlagerung, die durch den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung angegeben wird, zu kompensieren. Der korrigierte Positionsbefehl wird dann verwendet, um den Vorschubstangenmotor 12 zu betreiben, der der Aktor der Vorschubstange 11 ist. Die Korrektur des Positionsbefehls wird für jeden Eingabezyklus der Inferenzdaten aktualisiert.

[0071] Fig. 15 ist ein Ablaufdiagramm zur Erläuterung des Betriebs des Bearbeitungssystems 100-2, das in **Fig.** 12 veranschaulicht ist. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 des Bearbeitungssystems 100-2 führt eine Verarbeitung zur Erzeugung des Modells der thermischen Verlagerung durch (Schritt S121). Es ist anzumerken, dass die Verarbeitung in Schritt S121 den in **Fig.** 11 veranschaulichten Verarbeitungen in den Schritten S101 bis S104 entspricht. Diese Verarbeitungen werden durchgeführt, bevor eine Bearbeitung durchgeführt wird, für die die thermische Verlagerung korrigiert werden sollte.

[0072] Die Werkzeugmaschine 1A beginnt mit dem Programmbetrieb der Bearbeitung, für die die thermische Verlagerung korrigiert werden sollte (Schritt S122). Die Verarbeitung in und nach Schritt S123 wird während der Bearbeitung durchgeführt, für die die thermische Verlagerung korrigiert werden sollte.

[0073] Die Inferenzdatenerlangungseinheit 31 empfängt die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten, die nacheinander während der Bearbeitung durch die Werkzeugmaschine 1A ausgegeben werden, und erzeugt die Inferenzdaten anhand der empfangenen Daten (Schritt S123). Die Inferenzdaten weisen eine Datenstruktur auf, die jener der Eingabedaten für das in Schritt S121 erzeugte Modell der thermischen Verlagerung ähnelt. Die erzeugten Inferenzdaten werden nacheinander im gleichen Zeitraum wie die Lerndaten, die von der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 erzeugt werden, an die Inferenzeinheit 33 ausgegeben.

[0074] Die Inferenzeinheit 33 schätzt die Größe der thermischen Verlagerung anhand der Inferenzdaten unter Verwendung des Modells der thermischen Verlagerung (Schritt S124). Der geschätzte Wert der Größe der thermischen Verlagerung wird zu dem Zeitraum berechnet, der dem der in Schritt S123 erzeugten Inferenzdaten ähnelt, und wird an die Steuerung 15A der Werkzeugmaschine 1A ausgegeben.

[0075] Die Steuerung 15A der Werkzeugmaschine 1A korrigiert die Steuereingabe an den Aktor unter Verwendung des geschätzten Werts des Umfangs der thermischen Verlagerung, wodurch der Positionsbefehl korrigiert und die Bearbeitung durchgeführt wird (Schritt S125). Die Werkzeugmaschine 1A bestimmt, ob der Programmbetrieb der Bearbeitung, für die die thermische Verlagerung korrigiert werden sollte, beendet ist oder nicht (Schritt S126). Wenn der Programmbetrieb nicht beendet ist (Nein in Schritt S126), kehrt die Verarbeitung zu Schritt S123 zurück und das Bearbeitungssystem 100-2 wiederholt die Verarbeitung von Schritt S123 zu Schritt S126. Wenn der Programmbetrieb beendet ist (Ja in Schritt S126), beendet das Bearbeitungssystem 100-2 die Verarbeitung.

[0076] Wie vorstehend beschrieben, beinhaltet das Bearbeitungssystem 100-2 gemäß der zweiten Ausführungsform die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3, die die Größe der thermischen Verlagerung unter Verwendung des trainierten Modells der thermischen Verlagerung schätzt. Darüber hinaus korrigiert die Werkzeugmaschine 1A die Steuereingabe für den Aktor der Werkzeugmaschine 1A auf Grundlage des geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung, um die durch den geschätzten Wert angegebene thermische Verlagerung zu kompensieren.

[0077] Zusätzlich kann die Inferenzeinheit 33 nacheinander den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung für die nacheinander eingegebenen Inferenzdaten berechnen und den geschätzten Wert an die Werkzeugmaschine 1A ausgeben. Daher kann, egal wie lang die Zeit ist, die durch das von der Werkzeugmaschine 1A ausgeführte Bearbeitungsprogramm benötigt wird, die Größe der thermischen Verlagerung geschätzt werden. Ferner kann, da der geschätzte Wert der Größe der thermischen Verlagerung anhand des Modells der thermischen Verlagerung berechnet wird, bei dem es sich um ein zeitlich rekursives Modell handelt, die Größe der thermischen Verlagerung nicht nur durch die Temperaturdaten und die Maschinenzustandsdaten zum Zeitpunkt der Berechnung des geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung geschätzt werden, sondern kann auch der Einfluss der zeitlichen Veränderungen in diesen Daten berücksichtigt werden. Die Werkzeugmaschine 1A kann daher die thermische Verlagerung unabhängig von der verstrichenen Zeit ab Betriebsbeginn der Werkzeugmaschine 1A genau korrigieren.

[0078] Es ist zu beachten, dass als ein anderes Verfahren in Schritt S126, der in **Fig.** 15 veranschaulicht wird, bestimmt werden kann, ob die Werkzeugmaschine 1A abgeschaltet ist oder nicht, und das Bearbeitungssystem 100-2 kann zu Schritt S123 zurückkehren und die Verarbeitung fortsetzen, bis die Werkzeugmaschine 1A abgeschaltet wird. In diesem

Fall kann die Korrektur der thermischen Verlagerung fortgesetzt werden, selbst wenn der Programmbetrieb eine Vielzahl von Malen hintereinander durchgeführt wird.

[0079] Es wird eine Hardwareausgestaltung der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 beschrieben. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform ist zum Beispiel durch ein Computersystem umgesetzt. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 kann durch ein Computersystem oder durch eine Vielzahl von Computersystemen umgesetzt sein. Zum Beispiel kann die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 durch ein Cloud-System umgesetzt sein. In dem Cloud-System kann die Trennung zwischen Hardware des Computersystems und Vorrichtungen, wie etwa einem Server, für jede Funktion beliebig festgelegt werden. Beispielsweise kann ein Computersystem eine Funktion als eine Vielzahl von Vorrichtungen aufweisen oder kann eine Vielzahl von Computersystemen eine Funktion als eine Vorrichtung aufweisen.

[0080] Es wird eine beispielhafte Ausgestaltung des Computersystems beschrieben, das die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 umsetzt. **Fig.** 16 ist eine Darstellung, die ein Beispiel für die Hardwareausgestaltung veranschaulicht. Wie in **Fig.** 16 veranschaulicht, beinhaltet dieses Computersystem eine Steuereinheit 101, eine Eingabeeinheit 102, eine Speichereinheit 103, eine Anzeigeeinheit 104, eine Kommunikationseinheit 105 und eine Ausgabeeinheit 106, die über einen Systembus 107 verbunden sind.

[0081] In **Fig.** 16 ist die Steuereinheit 101 beispielsweise eine zentrale Verarbeitungseinheit (central processing unit - CPU) oder dergleichen. Die Steuereinheit 101 führt ein Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung aus, in dem jede Verarbeitung beschrieben wird, die durch die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 der vorliegenden Ausführungsform durchgeführt wird. Die Eingabeeinheit 102 beinhaltet zum Beispiel eine Tastatur, eine Maus und dergleichen und wird durch einen Benutzer des Computersystems dazu verwendet, verschiedene Informationen einzugeben. Die Speichereinheit 103 beinhaltet verschiedene Speicher, wie etwa einen Direktzugriffsspeicher (random access memory - RAM) und einen Festwertspeicher (read only memory - ROM) sowie eine Speichervorrichtung, wie etwa eine Festplatte, und speichert ein von der vorstehenden Steuereinheit 101 auszuführendes Programm, notwendige im Verlauf der Verarbeitung erlangte Daten und dergleichen. Die Speichereinheit 103 wird zudem als temporärer Speicherbereich für das Programm verwendet. Die Anzeigeeinheit 104 beinhaltet ein Feld mit einer Flüssigkristallanzeige (Liquid Crystal Display - LCD) oder dergleichen und zeigt dem Benutzer des Computersystems verschiedene Bildschirme an. Die Kommunikationseinheit 105 ist eine Kommunikationsschaltung oder dergleichen, die eine Kommunikationsverarbeitung durchführt. Die Kommunikationseinheit 105 kann eine Vielzahl von Kommunikationsschaltungen beinhalten, die einer Vielzahl von jeweiligen Kommunikationssystemen entsprechen. Die Ausgabeeinheit 106 ist eine Ausgabeschnittstelle, die Daten an eine externe Vorrichtung, wie etwa einen Drucker oder eine externe Speichervorrichtung, ausgibt.

[0082] Es ist anzumerken, dass **Fig.** 16 ein Beispiel veranschaulicht und die Ausgestaltung des Computersystems nicht einschränkt. Beispielsweise muss das Computersystem die Ausgabeeinheit 106 nicht beinhalten. In einem Fall, in dem die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 durch eine Vielzahl der Computersysteme umgesetzt ist, müssen darüber hinaus nicht alle diese Computersysteme das in **Fig.** 16 veranschaulichte Computersystem sein. Zum Beispiel müssen einige der Computersysteme nicht mindestens eine von der Anzeigeeinheit 104, der Ausgabeeinheit 106 und der Eingabeeinheit 102, die in **Fig.** 16 veranschaulicht sind, beinhalten.

[0083] Eine Beschreibung eines beispielhaften Betriebs des Computersystems wird bereitgestellt, bevor das Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung bereit zur Ausführung ist, wobei das Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung die Verarbeitung der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform beschreibt. In dem Computersystem, das die vorstehende Ausgestaltung aufweist, wird das Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung auf der Speichereinheit 103 zum Beispiel von einer Compact-Disk-ROM (CD-ROM) oder einer Digital-Versatile-Disk-ROM (DVD-ROM), die in ein CD-ROM-Laufwerk oder ein DVD-ROM-Laufwerk, das nicht veranschaulicht ist, eingelegt werden, installiert. Bei der Ausführung wird das aus der Speichereinheit 103 gelesene Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung in einem Bereich gespeichert, der als Hauptspeicher der Speichereinheit 103 dient. In diesem Zustand führt die Steuereinheit 101 die Verarbeitung als die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform gemäß dem in der Speichereinheit 103 gespeicherten Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung aus.

[0084] Es ist anzumerken, dass die vorstehende Beschreibung das Programm bereitstellt, das die

Verarbeitung der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 unter Verwendung der CD-ROM oder DVD-ROM als ein Aufzeichnungsmedium beschreibt, aber in Abhängigkeit von der Ausgestaltung des Computersystems, der Kapazität des bereitgestellten Programms und dergleichen kann das Programm zum Beispiel zur Verwendung durch ein Übertragungsmedium, wie etwa das Internet, über die Kommunikationseinheit 105 bereitgestellt werden.

[0085] Das Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung in der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform bewirkt, dass ein Computer Folgendes ausführt: einen Schritt zum Erlangen der Lerndaten, in denen die Eingabedaten, die mindestens die Temperaturdaten beinhalten, die die Temperatur der Werkzeugmaschine 1 in Zeitreihen darstellen, zeitlich mit den Daten der thermischen Verlagerung, die die Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine 1 in Zeitreihen angeben, verknüpft sind; einen Schritt zum Erzeugen der Datensätze, die durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten aus den Lerndaten erlangt werden; und einen Schritt zum Erzeugen des trainierten Modells der thermischen Verlagerung unter Verwendung der Datensätze zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten der Werkzeugmaschine 1A. Hierbei werden in dem Schritt zum Erzeugen der Datensätze die Datensätze derart erzeugt, dass mindestens zwei der Vielzahl von Datensätzen in den Zeitintervallen, die eine unterschiedliche Dauer aufweisen, extrahiert werden.

[0086] Die in **Fig.** 5 veranschaulichte Lerndatenerlangungseinheit 21 wird durch die in **Fig.** 16 veranschaulichte Kommunikationseinheit 105 umgesetzt, die in **Fig.** 5 veranschaulichte Modellspeichereinheit 24 ist ein Teil der in **Fig.** 16 veranschaulichten Speichereinheit 103 und die in **Fig.** 5 veranschaulichte Datensatzerzeugungseinheit 22 und die Lerneinheit 23 werden durch die in **Fig.** 16 veranschaulichte Steuereinheit 101 umgesetzt.

[0087] Wie bei der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 wird die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 auch durch ein oder eine Vielzahl von Computersystemen umgesetzt. Ein Programm für die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 zum Durchführen des in der zweiten Ausführungsform beschriebenen Betriebs wird durch ein Speichermedium, ein Übertragungsmedium oder dergleichen bereitgestellt und auf dem Computersystem installiert, wie bei dem vorstehend beschriebenen Lernprogramm für das Modell der thermischen Verlagerung. Folglich wird der vorstehend beschriebene Betrieb der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 umgesetzt.

[0088] Die Inferenzdatenerlangungseinheit 31 und die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32, die in **Fig.** 14 veranschaulicht sind, werden durch die in **Fig.** 16 veranschaulichte Kommunikationseinheit 105 umgesetzt und die in **Fig.** 14 veranschaulichte Inferenzeinheit 33 wird durch die in **Fig.** 16 veranschaulichte Steuereinheit 101 umgesetzt.

[0089] Es ist anzumerken, dass die Festlegung der Funktionen jeder in **Fig.** 5 und **Fig.** 14 veranschaulichten Vorrichtung ein Beispiel und nicht abschließend ist. Die Funktionen jeder Vorrichtung können auf eine beliebige Weise festgelegt werden, die es den Bearbeitungssystemen 100-1 und 100-2 ermöglicht, die vorstehend beschriebenen Vorgänge durchzuführen. Beispielsweise können, wie nachfolgend als eine Variation beschrieben, die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 und die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 integriert sein, sodass die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 auch die Funktionen der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 beinhaltet.

[0090] **Fig.** 17 ist eine Darstellung, die eine funktionelle Ausgestaltung einer Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2A gemäß der Variation der zweiten Ausführungsform veranschaulicht. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2A beinhaltet die Funktionen der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 zusätzlich zu den Funktionen der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2. Da die Funktion jeder Komponente unter Bezugnahme auf **Fig.** 14 beschrieben wurde, wird auf deren Beschreibung hier verzichtet. In der in **Fig.** 17 veranschaulichten Ausgestaltung wird in einem Fall, in dem die Funktionen der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2A durch ein Computersystem umgesetzt werden, die Funktion der Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32 durch Austauschen von Daten innerhalb des Computersystems umgesetzt.

Dritte Ausführungsform.

[0091] **Fig.** 18 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems 100-3 gemäß einer dritten Ausführungsform veranschaulicht. Das Bearbeitungssystem 100-3 beinhaltet eine Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 und eine Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B, die auf einem Server bereitgestellt sind. Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B lernt ein Modell der thermischen Verlagerung auf Grundlage von Daten der thermischen Verlagerung, Temperaturdaten und Maschinenzustandsdaten, die von der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 empfangen werden. Die Funktionen der Werkzeugmaschine

1 ähneln denen der ersten Ausführungsform, und die Funktionen der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B ähneln denen der ersten Ausführungsform, mit der Ausnahme, dass das Lernen der Modelle der thermischen Verlagerung der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 für jede der Werkzeugmaschinen 1 durchgeführt wird.

Vierte Ausführungsform.

[0092] Fig. 19 ist eine Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Bearbeitungssystems 100-4 gemäß einer vierten Ausführungsform veranschaulicht. Das Bearbeitungssystem 100-4 beinhaltet eine Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 und 1A, die auf einem Server bereitgestellte Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verschiebung 2B und eine Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3B.

[0093] Die Werkzeugmaschinen 1, bei denen es sich jeweils um eine Bearbeitungseinrichtung für ein Lernziel handelt, ähneln der Werkzeugmaschine 1 der ersten Ausführungsform mit Ausnahme des Ausgebens von Merkmalsinformationen an die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B. Die Merkmalsinformationen, die an die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B ausgegeben werden, geben Merkmale der Werkzeugmaschinen 1 an, einschließlich mindestens Modellnummern der Werkzeugmaschinen 1. Die Werkzeugmaschine 1A, bei der es sich um eine Bearbeitungseinrichtung als Schätzziel handelt, ähnelt der Werkzeugmaschine 1A der zweiten Ausführungsform mit Ausnahme des Ausgebens von Merkmalsinformationen an die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3B. Die Merkmalsausgabe an die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3B gibt ein Merkmal der Werkzeugmaschine 1A an, einschließlich mindestens einer Modellnummer der Werkzeugmaschine 1A.

[0094] Die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B, die der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B der dritten Ausführungsform ähnelt, mit Ausnahme des Empfangens der Merkmalsinformationen von den Werkzeugmaschinen 1, beinhaltet eine Lerndatenerlangungseinheit 21B und eine Modellspeichereinheit 24B. Die Lerndatenerlangungseinheit 21B erzeugt Lerndaten auf Grundlage der von der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 empfangenen Daten. Die Modellspeichereinheit 24B speichert eine Vielzahl von Modellen der thermischen Verlagerung, die jeweils mit den Merkmalsinformationen über die Werkzeugmaschinen 1 verknüpft sind, von denen die Lerndaten erlangt werden. Die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3B beinhaltet eine Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32B anstelle der Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32 der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3. Die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32B beinhaltet eine Modellauswahleinheit 321. Auf Grundlage der von der Werkzeugmaschine 1A als das Inferenzziel empfangenen Merkmalsinformationen wählt eine Modellauswahleinheit 321 aus der Vielzahl der in der Modellspeichereinheit 24B gespeicherten Modelle der thermischen Verlagerung das durch die Inferenzeinheit 33 zu verwendende Modell der thermischen Verlagerung aus.

[0095] Die Merkmalsinformationen beinhalten mindestens die Modellnummer und können zusätzlich zu der Modellnummer Informationen beinhalten, die Situationen der Werkzeugmaschinen 1 und 1A angeben, wie etwa eine Umgebung einer Fabrik, in der die Werkzeugmaschinen 1 und 1A aufgestellt sind, und Bedingungen für die Aufstellung. Die Modellauswahleinheit 321 kann das Modell der thermischen Verlagerung, das auf Grundlage der von der Werkzeugmaschine 1 erlangten Daten erzeugt wurde, in einem Zustand ähnlich dem der Werkzeugmaschine 1A als das Inferenzziel auswählen, wobei die Werkzeugmaschine 1 die gleiche Modellnummer wie die der Werkzeugmaschine 1A als das Inferenzziel aufweist. Infolgedessen kann, selbst wenn kein Modell der thermischen Verlagerung vorliegt, das anhand der Daten zu der Werkzeugmaschine 1A selbst, bei der es sich um das Inferenzziel handelt, erzeugt wurde, kann ein geschätzter Wert der Größe der thermischen Verlagerung unter Verwendung des Modells der thermischen Verlagerung erlangt werden, das anhand der Daten zu der Werkzeugmaschine 1 erzeugt wurde, die in einer ähnlichen Umgebung verwendet wird usw., wie die der Werkzeugmaschine 1A, wobei die Werkzeugmaschine 1 die gleiche Modellnummer aufweist wie die der Werkzeugmaschine 1A.

[0096] Es ist anzumerken, dass, obwohl die vorstehende Beschreibung derart erfolgt ist, dass die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32B die Modellauswahleinheit 321 beinhaltet, die Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung 32B eine Vielzahl von Arten der Modelle der thermischen Verlagerung von der Modellspeichereinheit 24B erlangen kann und die Inferenzeinheit 33 aus einer Vielzahl von geschätzten Werten einer thermischen Verlagerung, die unter Verwendung der Vielzahl von Arten der Modelle der thermischen Verlagerung berechnet werden, den auszugebenden geschätzten Wert auf der Grundlage der Merkmalsinformationen auswählen kann.

[0097] Die in den vorstehenden Ausführungsformen veranschaulichten Ausgestaltungen veranschaulichen jeweils ein Beispiel, sodass eine andere bekannte Technik kombiniert werden kann, die Ausführungsformen miteinander kombiniert werden können oder die Ausgestaltungen teilweise weggelas-

sen und/oder modifiziert werden können, ohne vom Umfang der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

[0098] Beispielsweise können die Funktionen der Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2 und der Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung 3 in die Werkzeugmaschine 1 eingebaut sein. Zudem kann, wie in der dritten Ausführungsform und der vierten Ausführungsform, bei denen das Modell der thermischen Verlagerung unter Verwendung der von der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 erlangten Daten gelernt wird, die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2B das Modell der thermischen Verlagerung lernen, die Lerndaten von der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1, die in demselben Bereich verwendet werden, erlangen oder die Lerndaten verwenden, die von der Vielzahl der Werkzeugmaschinen 1 gesammelt wurden, die unabhängig in unterschiedlichen Bereichen arbeiten. Darüber hinaus kann die Werkzeugmaschine 1, von der die Lerndaten gesammelt werden, während des Prozesses hinzugefügt oder entfernt werden. Ferner kann die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung 2, die das Modell der thermischen Verlagerung für eine bestimmte der Werkzeugmaschinen 1 gelernt hat, auf eine andere der Werkzeugmaschinen 1 angewendet werden, und das Modell der thermischen Verlagerung kann erneut gelernt und für die andere Werkzeugmaschine 1 aktualisiert werden.

Liste der Bezugszeichen

[0099] 1, 1A Werkzeugmaschine; 2, 2A, 2B Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung; 3, 3B Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung; 11 Vorschubstange; 12 Vorschubstangenmotor; 13 Spindel; 14 Spindelmotor; 15, 15A Steuerung; 16 Peripherievorrichtung; 17 Bett; 18 Ständer; 19 Vorschubspindel; 21, 21B Lerndatenerlangungseinheit; 22 Datensatzerzeugungseinheit; 23 Lerneinheit; 24, 24B Modellspeichereinheit; 31 Inferenzdatenerlangungseinheit; 32, 32B Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung; 33 Inferenzeinheit; 100-1, 100-2, 100-3, 100-4 Bearbeitungssystem; 101 Steuereinheit; 102 Eingabeeinheit; 103 Speichereinheit; 104 Anzeigeeinheit; 105 Kommunikationseinheit; 106 Ausgabeeinheit; 321 Modellauswahleinheit; DS Verlagerungssensor; T Werkzeug; TA Tisch; TS Temperatursensor; W Werkstück.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- JP 2019-111648 [0005]

Patentansprüche

1. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung, umfassend:
eine Lerndatenerlangungseinheit zum Erlangen von Lerndaten, in denen Eingabedaten und Daten der thermischen Verlagerung zeitlich miteinander verknüpft sind, wobei die Eingabedaten mindestens Temperaturdaten beinhalten, die eine Temperatur einer Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, wobei die Daten der thermischen Verlagerung eine Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen;
eine Datensatzerzeugungseinheit zum Erzeugen von Datensätzen, die durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten aus den Lerndaten erhalten werden; und
eine Lerneinheit zum Erzeugen, unter Verwendung des Datensatzes, eines Modells der thermischen Verlagerung, das zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten zu der Werkzeugmaschine trainiert ist, wobei
die Datensatzerzeugungseinheit die Datensätze derart erzeugt, dass mindestens zwei der Datensätze aus einer Vielzahl der Datensätze in Zeitintervallen extrahiert werden, die voneinander unterschiedliche Dauern aufweisen.

2. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 1, wobei die Eingabedaten ferner zusätzlich zu den Temperaturdaten Maschinenzustandsdaten, die einen Betriebszustand der Werkzeugmaschine darstellen, beinhalten.

3. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Lerneinheit das trainierte Modell der thermischen Verlagerung durch Optimieren eines internen Parameters des Modells der thermischen Verlagerung erzeugt, um eine Differenz zwischen einem geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung, wobei der geschätzte Wert eine Ausgabe von dem Modell der thermischen Verlagerung ist, wenn die in den Datensätzen beinhalteten Eingabedaten in das Modell der thermischen Verlagerung eingegeben werden, und den Daten der thermischen Verlagerung, die den in das Modell der thermischen Verlagerung eingegebenen Eingabedaten entsprechen, zu minimieren.

4. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, ferner umfassend:
eine Inferenzdatenerlangungseinheit zum Erlangen von Inferenzdaten, bei denen es sich um Eingabedaten für die Inferenz handelt, die mindestens die Temperaturdaten, die die Temperatur der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, beinhalten; und
eine Inferenzeinheit zum Ausgeben, unter Verwendung des Modells der thermischen Verlagerung, eines geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine anhand der Inferenzdaten, die von der Inferenzdatenerlangungseinheit eingegeben werden.

5. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 4, wobei die Inferenzdaten ferner zusätzlich zu den Temperaturdaten Maschinenzustandsdaten, die einen Betriebszustand der Werkzeugmaschine darstellen, beinhalten.

6. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 2 oder 5, wobei die Maschinenzustandsdaten einen Betriebsstatus einer Peripherievorrichtung zum Anpassen der Temperatur der Werkzeugmaschine und einen Betriebsstatus eines Aktors der Werkzeugmaschine angeben.

7. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei
die Lerndatenerlangungseinheit die Lerndaten von einer Vielzahl der Werkzeugmaschinen erlangt, und die Lerneinheit das Modell der thermischen Verlagerung für jede der Werkzeugmaschinen erzeugt.

8. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei
die Lerndatenerlangungseinheit die Lerndaten von einer Vielzahl der Werkzeugmaschinen erlangt, und die Lerneinheit das Modell der thermischen Verlagerung für jede der Werkzeugmaschinen erzeugt und das erzeugte Modell der thermischen Verlagerung und Merkmalsinformationen in Verknüpfung miteinander speichert, wobei die Merkmalsinformationen Informationen sind, die ein Merkmal der Werkzeugmaschine angeben und mindestens eine Modellnummer der Werkzeugmaschine beinhalten, von der die Lerndaten erlangt werden, die zum Erzeugen des Modells der thermischen Verlagerung verwendet werden.

9. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 8, ferner umfassend:
eine Inferenzdatenerlangungseinheit zum Erlangen von Inferenzdaten, bei denen es sich um Eingabedaten für die Inferenz handelt, die mindestens die Temperaturdaten, die die Temperatur der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, beinhalten, wobei die Werkzeugmaschine ein Inferenzziel ist; und
eine Inferenzeinheit zum Ausgeben, unter Verwendung eines Modells der thermischen Verlagerung aus einer Vielzahl von Modellen der thermischen Verlagerung, eines geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugma-

schine, bei der es sich um das Inferenzziel handelt, aus den von der Inferenzdatenerlangungseinheit eingegebenen Inferenzdaten, wobei das Modell der thermischen Verlagerung die gleiche Modellnummer wie die Werkzeugmaschine aufweist, bei der es sich um das Inferenzziel handelt.

10. Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach Anspruch 9, wobei
die Merkmalsinformationen ferner zusätzlich zu der Modellnummer Informationen beinhalten, die eine Betriebsbedingung der Werkzeugmaschine angeben, und
die Inferenzeinheit den geschätzten Wert der Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine, bei der es sich um das Inferenzziel handelt, unter Verwendung des Modells der thermischen Verlagerung ausgibt, das auf Grundlage der Lerndaten erzeugt wurde, die von der Werkzeugmaschine erlangt wurden, die die gleiche Modellnummer wie die Werkzeugmaschine aufweist, bei der es sich um das Inferenzziel handelt, und die eine ähnliche Betriebsbedingung wie die der Werkzeugmaschine, bei der es sich um das Inferenzziel handelt, aufweist.

11. Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung, umfassend:
eine Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung zum Erlangen des Modells der thermischen Verlagerung, das durch die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung gemäß Anspruch 1 trainiert wurde;
eine Inferenzdatenerlangungseinheit zum Erlangen von Schätzdaten, bei denen es sich um Eingabedaten für die Inferenz handelt, die mindestens Temperaturdaten, die eine Temperatur der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, beinhalten; und
eine Inferenzeinheit zum Ausgeben, unter Verwendung des Modells der thermischen Verlagerung, das von der Erlangungseinheit für ein Modell der thermischen Verlagerung erlangt wird, eines geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten, die von der Inferenzdatenerlangungseinheit eingegeben werden.

12. Bearbeitungssystem, umfassend:
die Lernvorrichtung für ein Modell der thermischen Verlagerung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder die Schätzvorrichtung für die thermische Verlagerung nach Anspruch 11; und
die Werkzeugmaschine, wobei
die Werkzeugmaschine Folgendes beinhaltet:
ein Werkzeug;
eine Spindel zum Drehen des Werkzeugs oder eines Bearbeitungsziels; und
eine Vorschubstange zum Verändern einer relativen Position zwischen dem Werkzeug und dem zu bearbeitenden Objekt, und
die Werkzeugmaschine durch das Werkzeug eine spanende Bearbeitung an dem zu bearbeitenden Objekt durchführt.

13. Bearbeitungsverfahren unter Verwendung einer Werkzeugmaschine, die ein Werkzeug, eine Spindel zum Drehen des Werkzeugs oder eines Bearbeitungsziels und eine Vorschubstange zum Verändern einer relativen Position zwischen dem Werkzeug und dem Bearbeitungsziel beinhaltet, wobei die Werkzeugmaschine mit dem Werkzeug eine spanende Bearbeitung an dem Bearbeitungsziel durchführt, wobei das Bearbeitungsverfahren Folgendes umfasst:
einen Schritt zum Erlangen von Lerndaten, in denen Eingabedaten und Daten der thermischen Verlagerung zeitlich miteinander verknüpft sind, wobei die Eingabedaten mindestens Temperaturdaten beinhalten, die eine Temperatur der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen, wobei die Daten der thermischen Verlagerung eine Größe der thermischen Verlagerung der Werkzeugmaschine in Zeitreihen darstellen;
einen Schritt zum Erzeugen von Datensätzen, die durch Extrahieren eines Teils der Lerndaten aus den Lerndaten erhalten werden;
einen Schritt zum Erzeugen, unter Verwendung des Datensatzes, eines Modells der thermischen Verlagerung, das zum Schätzen der Größe der thermischen Verlagerung anhand der Eingabedaten zu der Werkzeugmaschine trainiert ist;
einen Schritt zum Schätzen, unter Verwendung des trainierten Modells der thermischen Verlagerung, der Größe der thermischen Verlagerung anhand von Eingabedaten für die Inferenz, die mindestens die Temperaturdaten beinhalten;
einen Schritt zum Korrigieren, unter Verwendung eines geschätzten Werts der Größe der thermischen Verlagerung, einer Steuereingabe für mindestens eines von einem Aktor zum Antreiben der Spindel der Werkzeugmaschine oder einem Aktor zum Antreiben der Vorschubstange; und
einen Schritt zum Durchführen der spanenden Bearbeitung unter Verwendung der korrigierten Steuereingabe, wobei
der Schritt zum Erzeugen des Datensatzes den Datensatz derart erzeugt, dass mindestens zwei der Datensätze aus einer Vielzahl der Datensätze in Zeitintervallen extrahiert werden, die voneinander unterschiedliche Dauern aufweisen.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

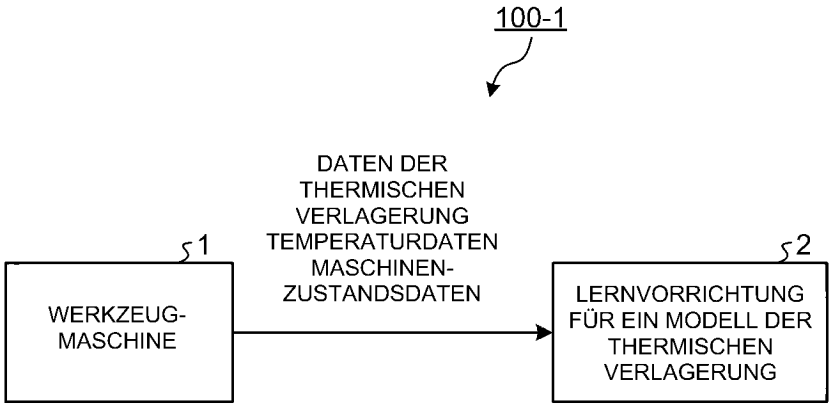


FIG.2

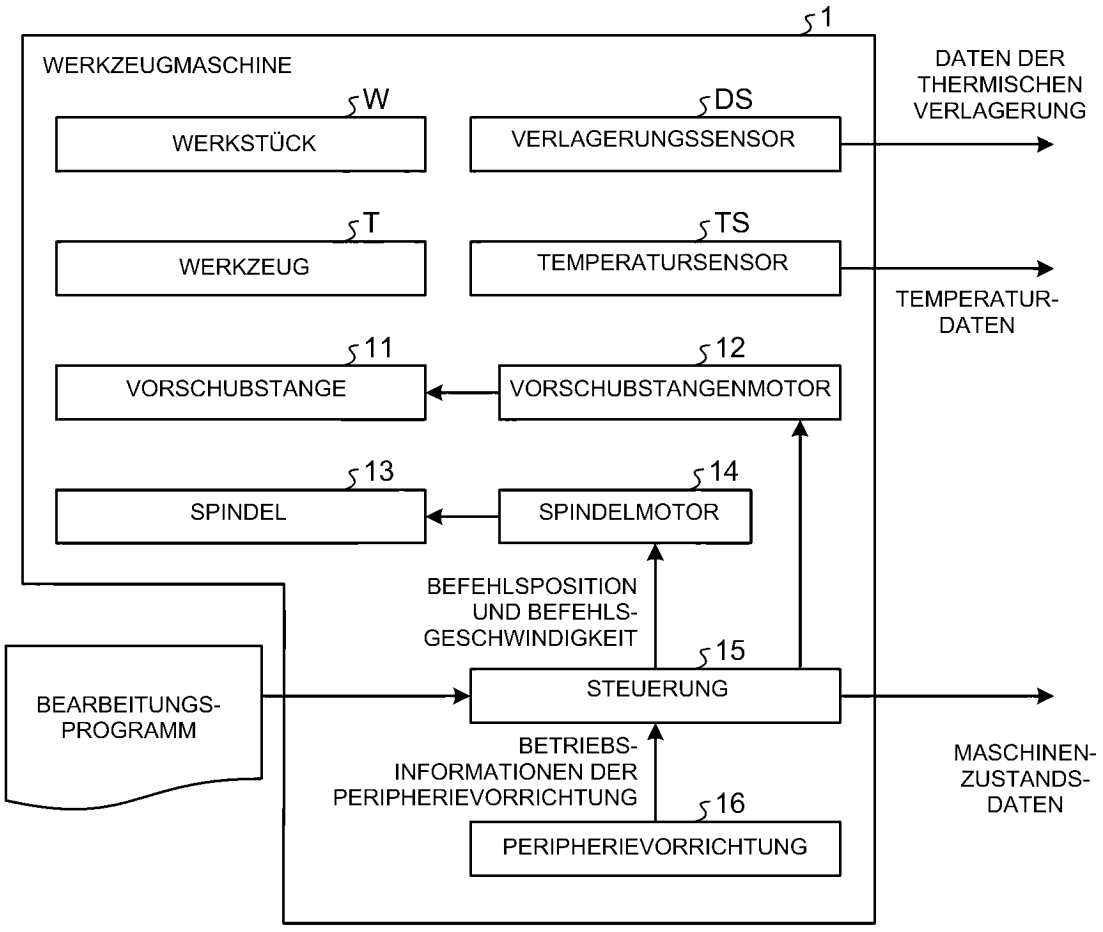


FIG.3

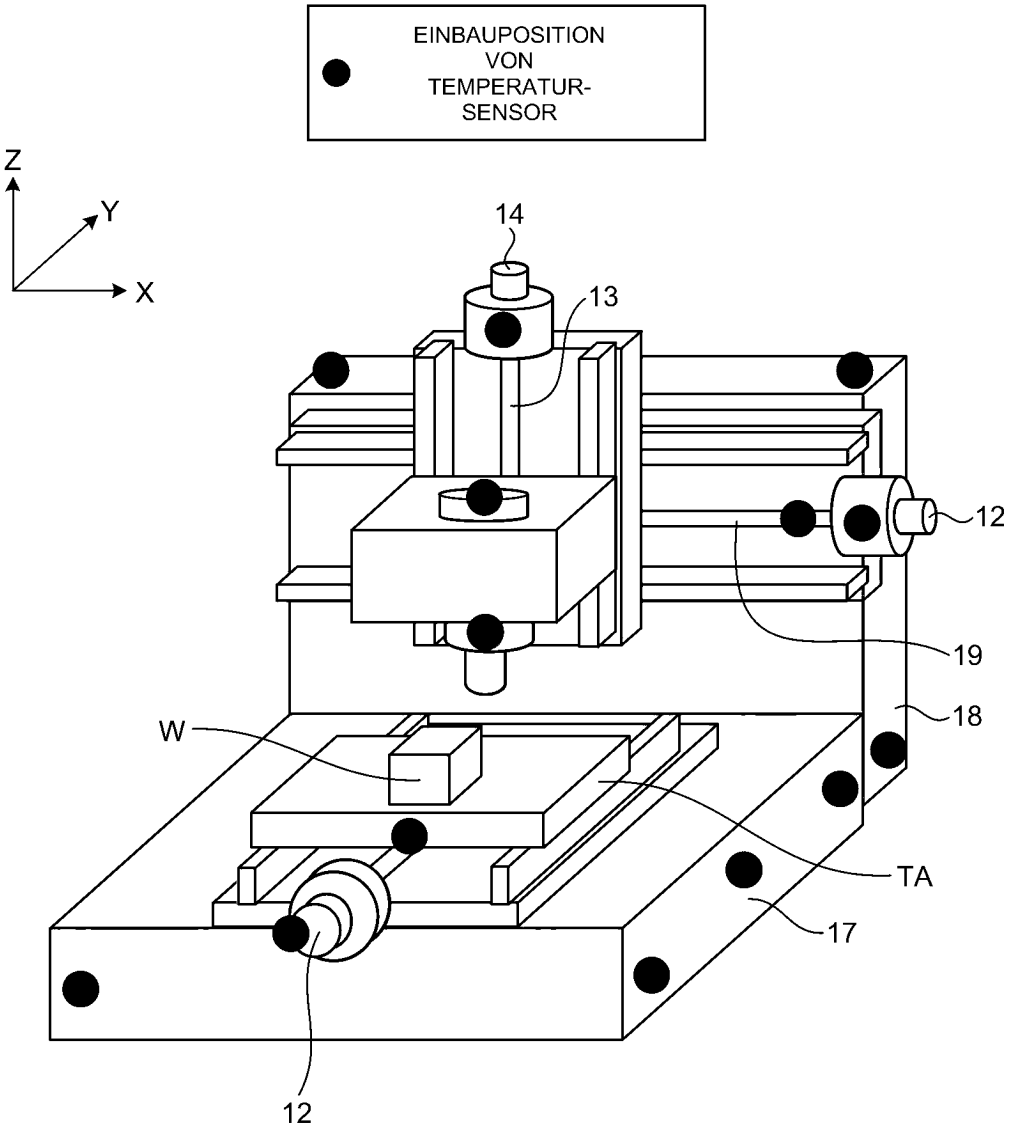

EINBAUPOSITION VON TEMPERATUR-SENSOR
Z
Y
X
14
13
12
19
18
W
TA
17
12

FIG.4

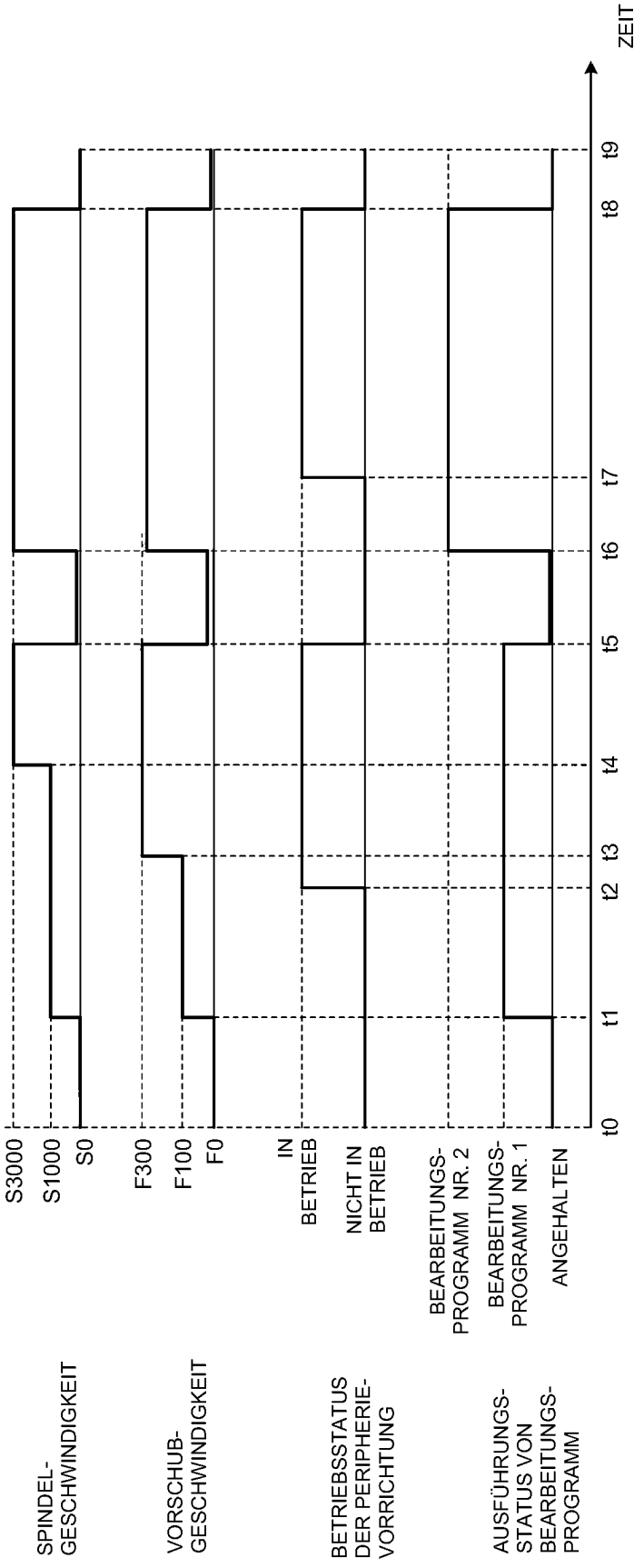

ZEIT
t0
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
t8
t9
SPINDEL-GESCHWINDIGKEIT
S3000
S1000
S0
VORSCHUB-GESCHWINDIGKEIT
F300
F100
F0
BETRIEBSSTATUS DER PERIPHERIE-VORRICHTUNG
IN BETRIEB
NICHT IN BETRIEB
AUSFÜHRUNGS-STATUS VON BEARBEITUNGS-PROGRAMM
BEARBEITUNGS-PROGRAMM NR. 2
BEARBEITUNGS-PROGRAMM NR. 1
ANGEHALTEN

FIG.5

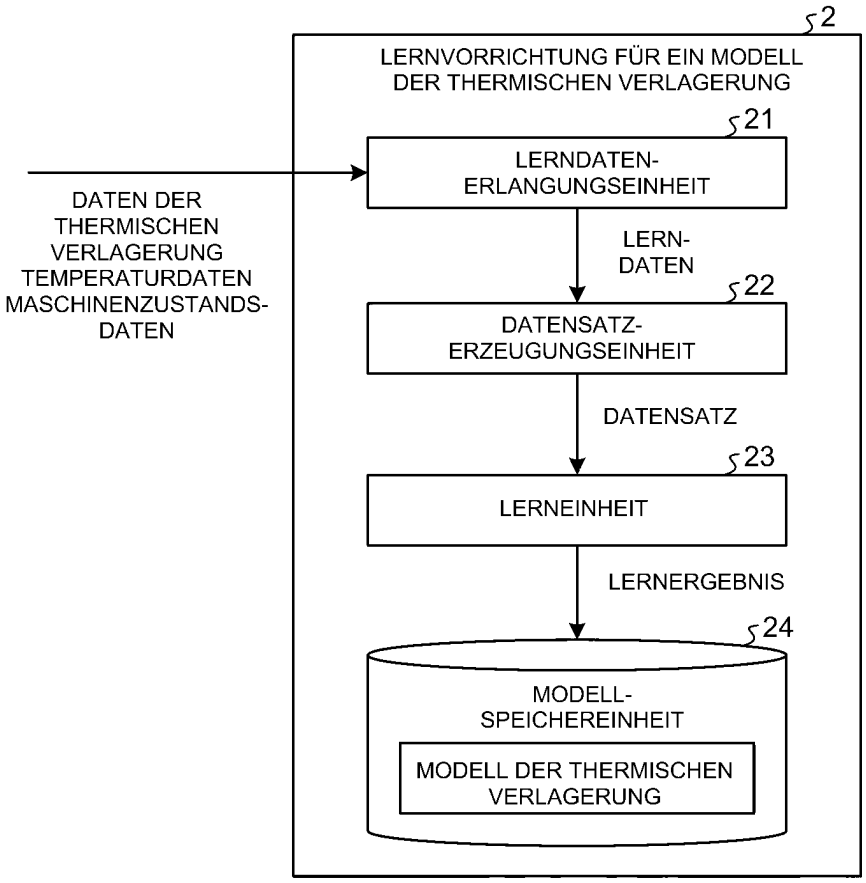

2
LERNVORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
21
LERNDATEN-ERLANGUNGSEINHEIT
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG TEMPERATURDATEN MASCHINENZUSTANDS-DATEN
LERN-DATEN
22
DATENSATZ-ERZEUGUNGSEINHEIT
DATENSATZ
23
LERNEINHEIT
LERNERGEBNIS
24
MODELL-SPEICHEREINHEIT
MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG

FIG.6

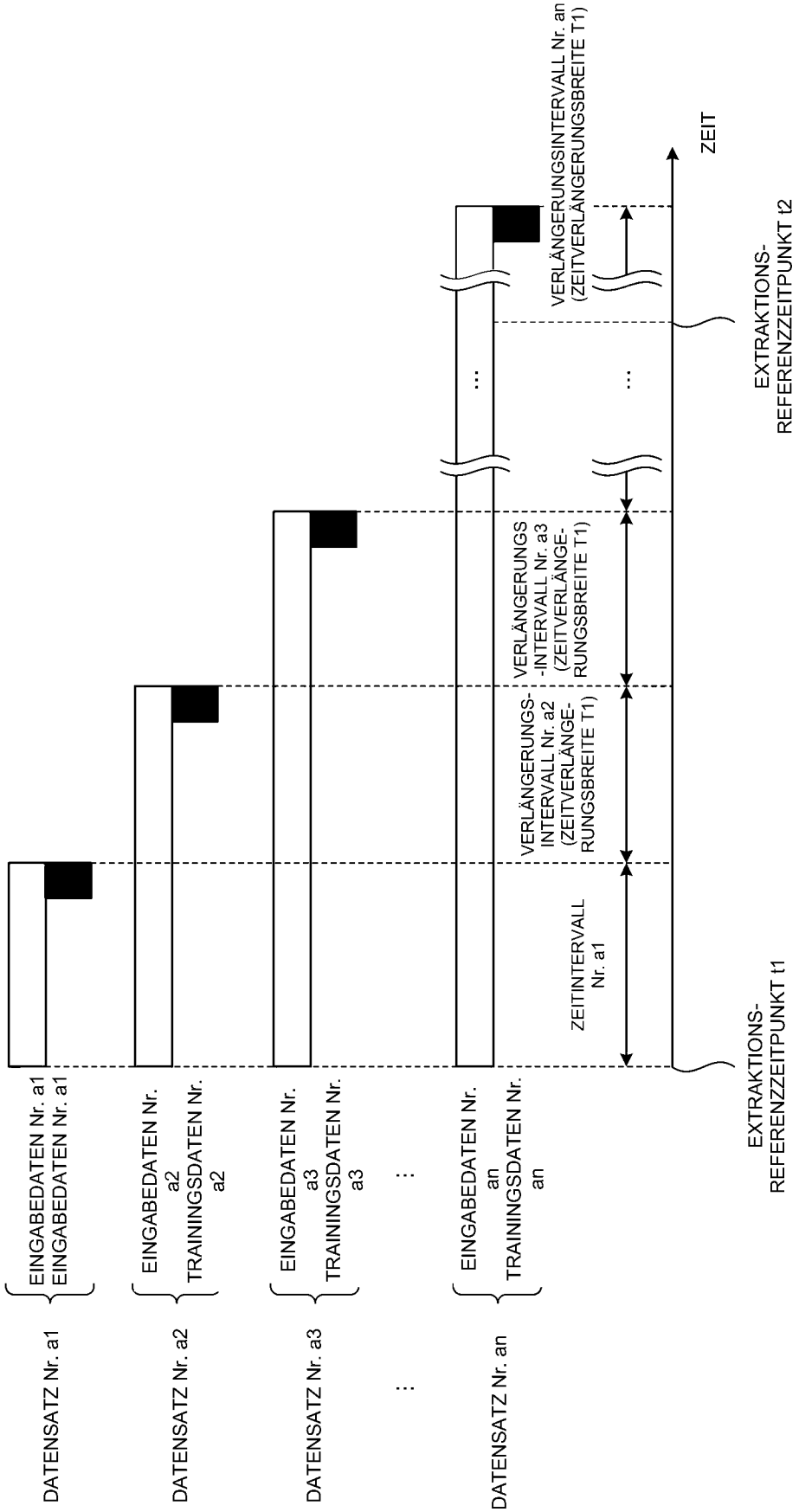

DATENSATZ Nr. a1
EINGABEDATEN Nr. a1
EINGABEDATEN Nr. a1
DATENSATZ Nr. a2
EINGABEDATEN Nr. a2
TRAININGSDATEN Nr. a2
DATENSATZ Nr. a3
EINGABEDATEN Nr. a3
TRAININGSDATEN Nr. a3
DATENSATZ Nr. an
EINGABEDATEN Nr. an
TRAININGSDATEN Nr. an
ZEITINTERVALL Nr. a1
VERLÄNGERUNGS-INTERVALL Nr. a2 (ZEITVERLÄNGE-RUNGSBREITE T1)
VERLÄNGERUNGS-INTERVALL Nr. a3 (ZEITVERLÄNGE-RUNGSBREITE T1)
VERLÄNGERUNGSINTERVALL Nr. an (ZEITVERLÄNGERUNGSBREITE T1)
ZEIT
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t1
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t2

FIG.7

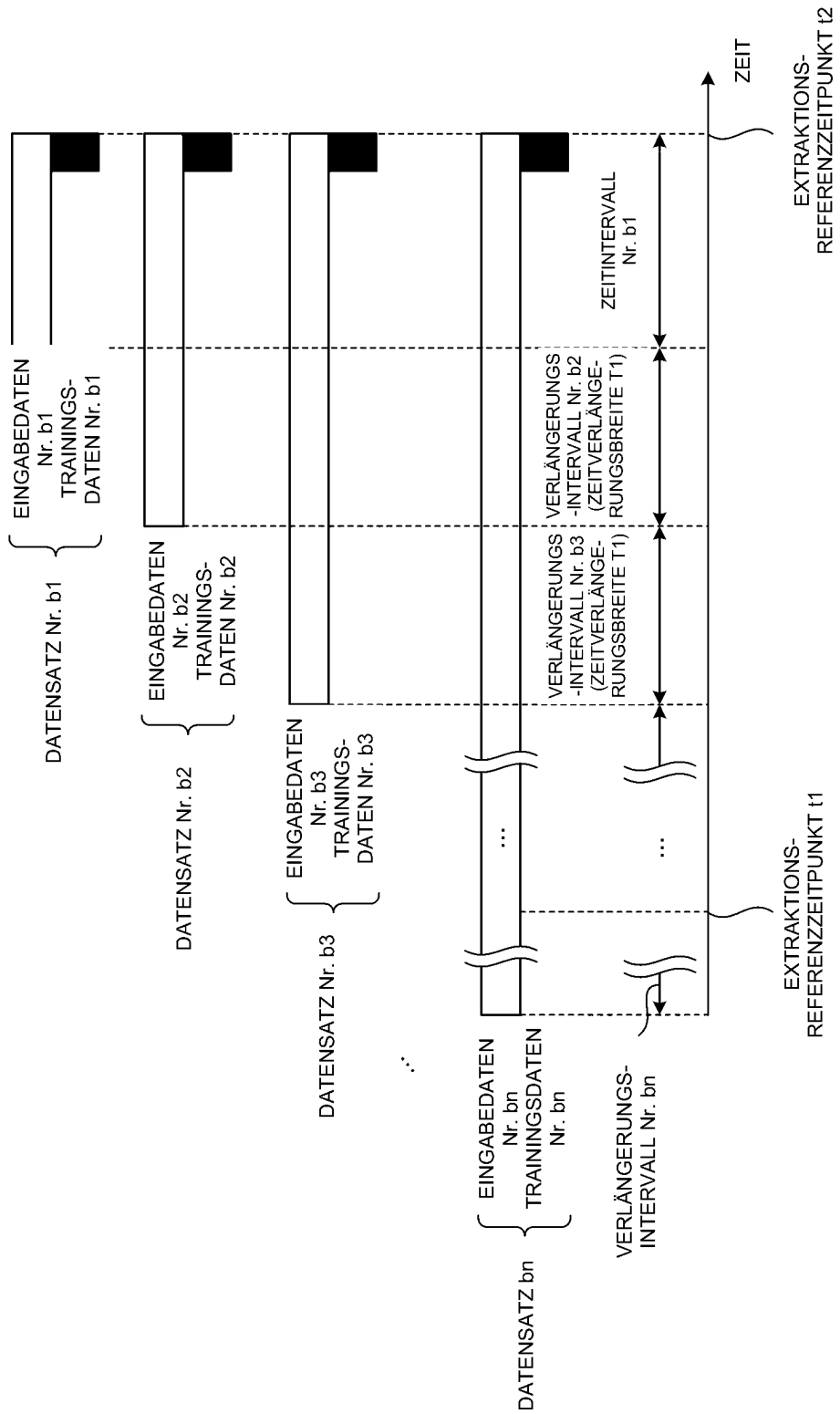

DATENSATZ Nr. b1
EINGABEDATEN Nr. b1 TRAININGS-DATEN Nr. b1
DATENSATZ Nr. b2
EINGABEDATEN Nr. b2 TRAININGS-DATEN Nr. b2
DATENSATZ Nr. b3
EINGABEDATEN Nr. b3 TRAININGS-DATEN Nr. b3
DATENSATZ bn
EINGABEDATEN Nr. bn TRAININGSDATEN Nr. bn
VERLÄNGERUNGS-INTERVALL Nr. bn
VERLÄNGERUNGS-INTERVALL Nr. b3 (ZEITVERLÄNGE-RUNGSBREITE T1)
VERLÄNGERUNGS-INTERVALL Nr. b2 (ZEITVERLÄNGE-RUNGSBREITE T1)
ZEITINTERVALL Nr. b1
ZEIT
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t1
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t2

FIG.8

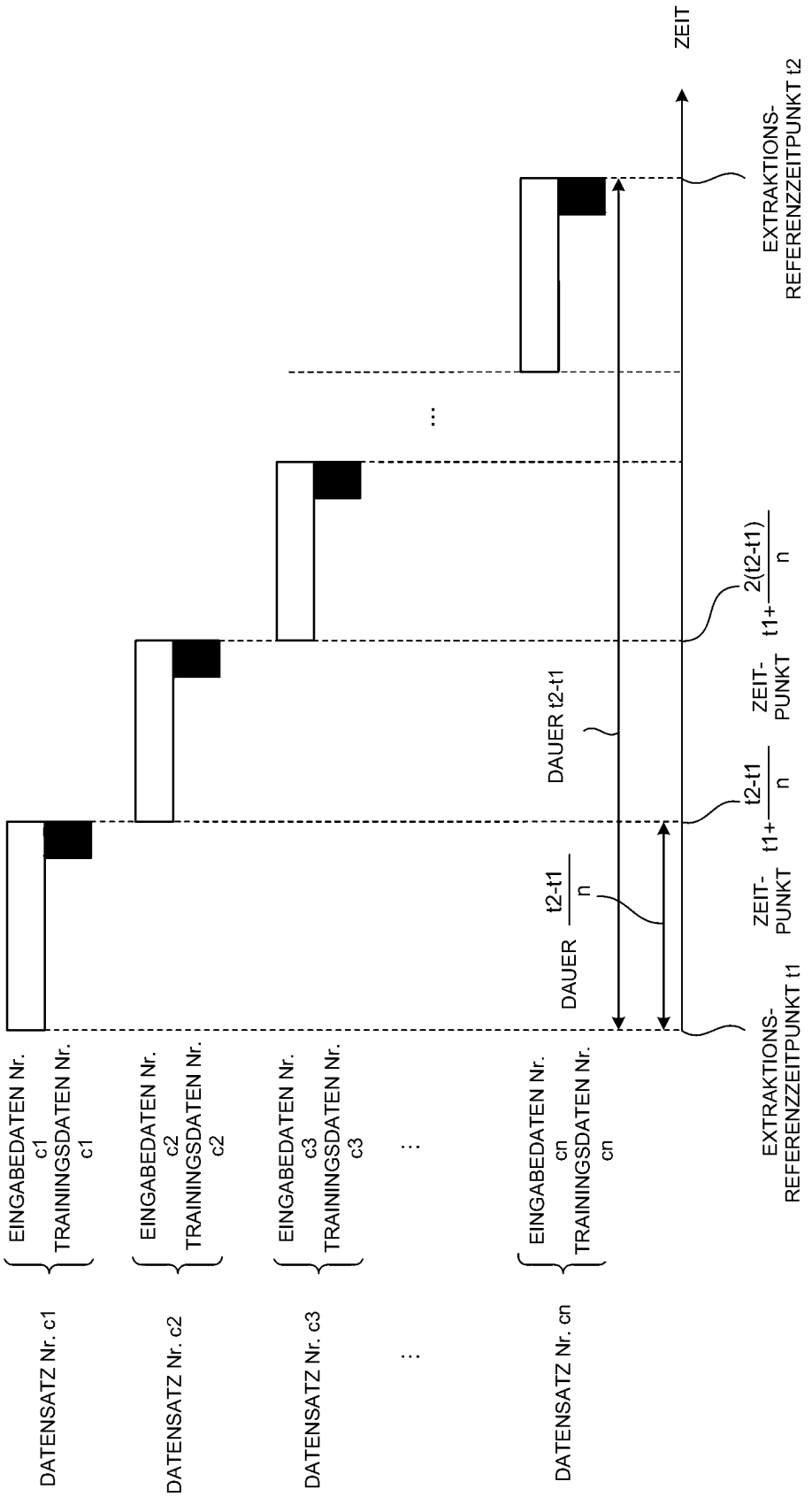

ZEIT
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t2
EXTRAKTIONS-REFERENZZEITPUNKT t1
DAUER t2-t1
DAUER (t2-t1)/n
ZEIT-PUNKT t1+(t2-t1)/n
ZEIT-PUNKT t1+2(t2-t1)/n
DATENSATZ Nr. c1
DATENSATZ Nr. c2
DATENSATZ Nr. c3
DATENSATZ Nr. cn
EINGABEDATEN Nr. c1
TRAININGSDATEN Nr. c1
EINGABEDATEN Nr. c2
TRAININGSDATEN Nr. c2
EINGABEDATEN Nr. c3
TRAININGSDATEN Nr. c3
EINGABEDATEN Nr. cn
TRAININGSDATEN Nr. cn

FIG.9

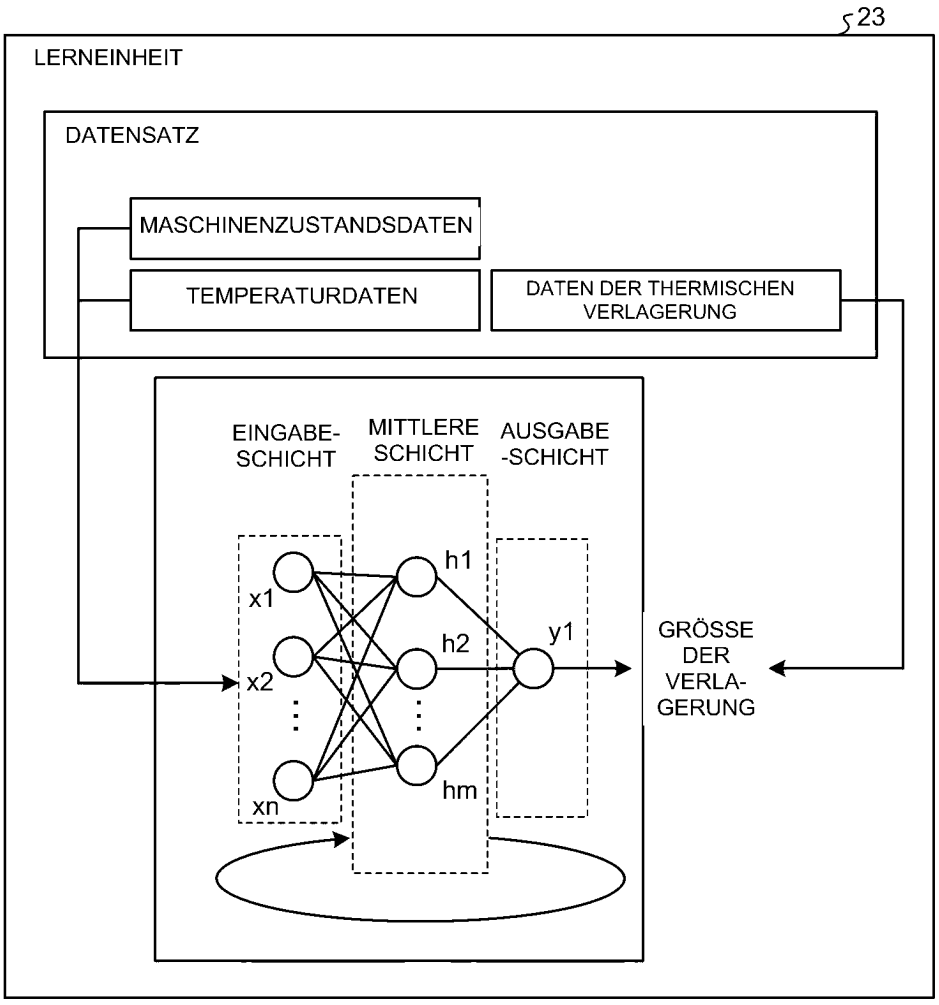

23
LERNEINHEIT
DATENSATZ
MASCHINENZUSTANDSDATEN
TEMPERATURDATEN
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
EINGABE-SCHICHT
MITTLERE SCHICHT
AUSGABE-SCHICHT
x1
x2
xn
h1
h2
hm
y1
GRÖSSE DER VERLA-GERUNG

FIG.10

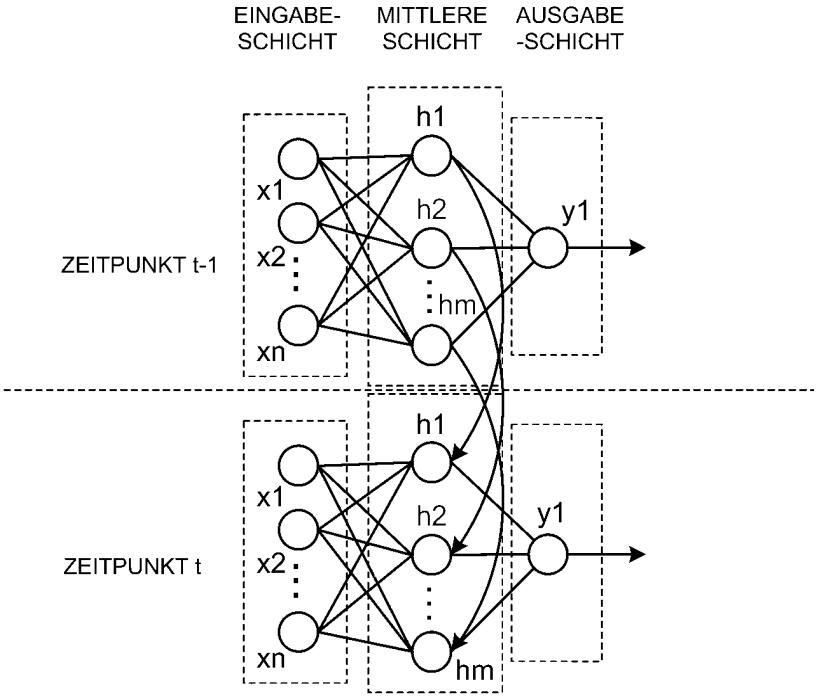

EINGABE-
SCHICHT
MITTLERE
SCHICHT
AUSGABE
-SCHICHT
ZEITPUNKT t-1
x1
x2
xn
h1
h2
hm
y1
ZEITPUNKT t
x1
x2
xn
h1
h2
hm
y1

FIG.11

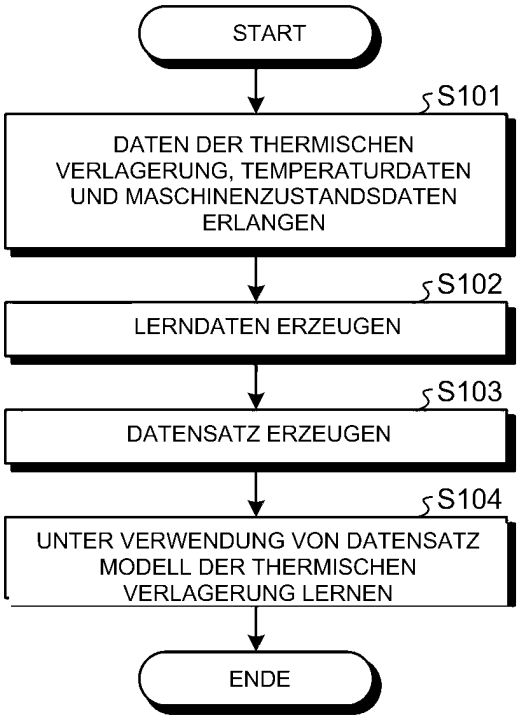

START
S101
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG, TEMPERATURDATEN UND MASCHINENZUSTANDSDATEN ERLANGEN
S102
LERNDATEN ERZEUGEN
S103
DATENSATZ ERZEUGEN
S104
UNTER VERWENDUNG VON DATENSATZ MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG LERNEN
ENDE

FIG.12

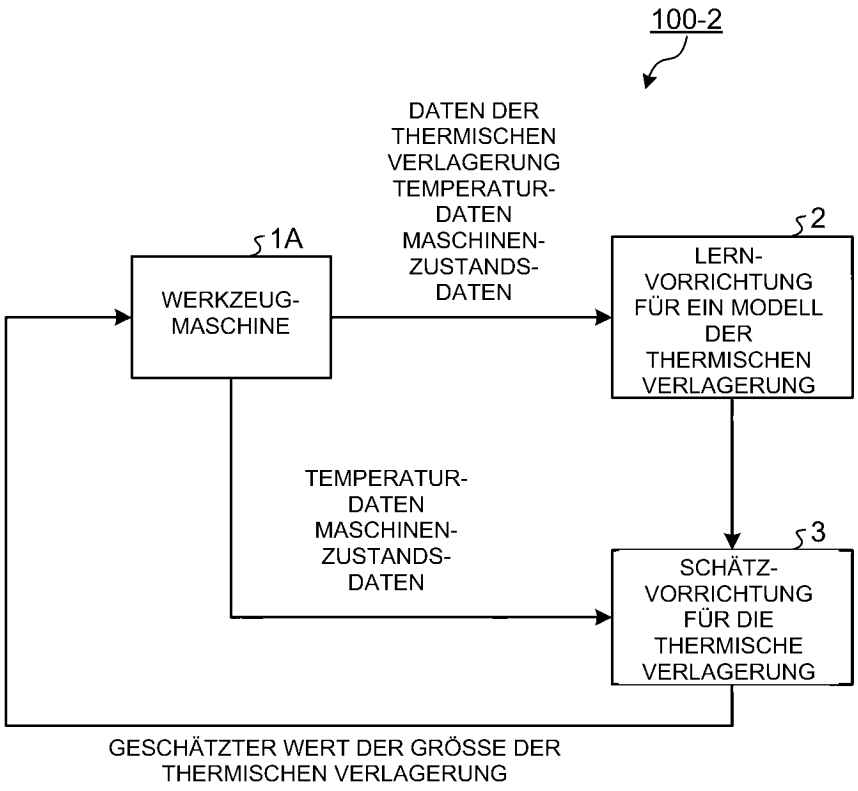

100-2
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG TEMPERATUR-DATEN MASCHINEN-ZUSTANDS-DATEN
1A
WERKZEUG-MASCHINE
2
LERN-VORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
TEMPERATUR-DATEN MASCHINEN-ZUSTANDS-DATEN
3
SCHÄTZ-VORRICHTUNG FÜR DIE THERMISCHE VERLAGERUNG
GESCHÄTZTER WERT DER GRÖSSE DER THERMISCHEN VERLAGERUNG

FIG.13

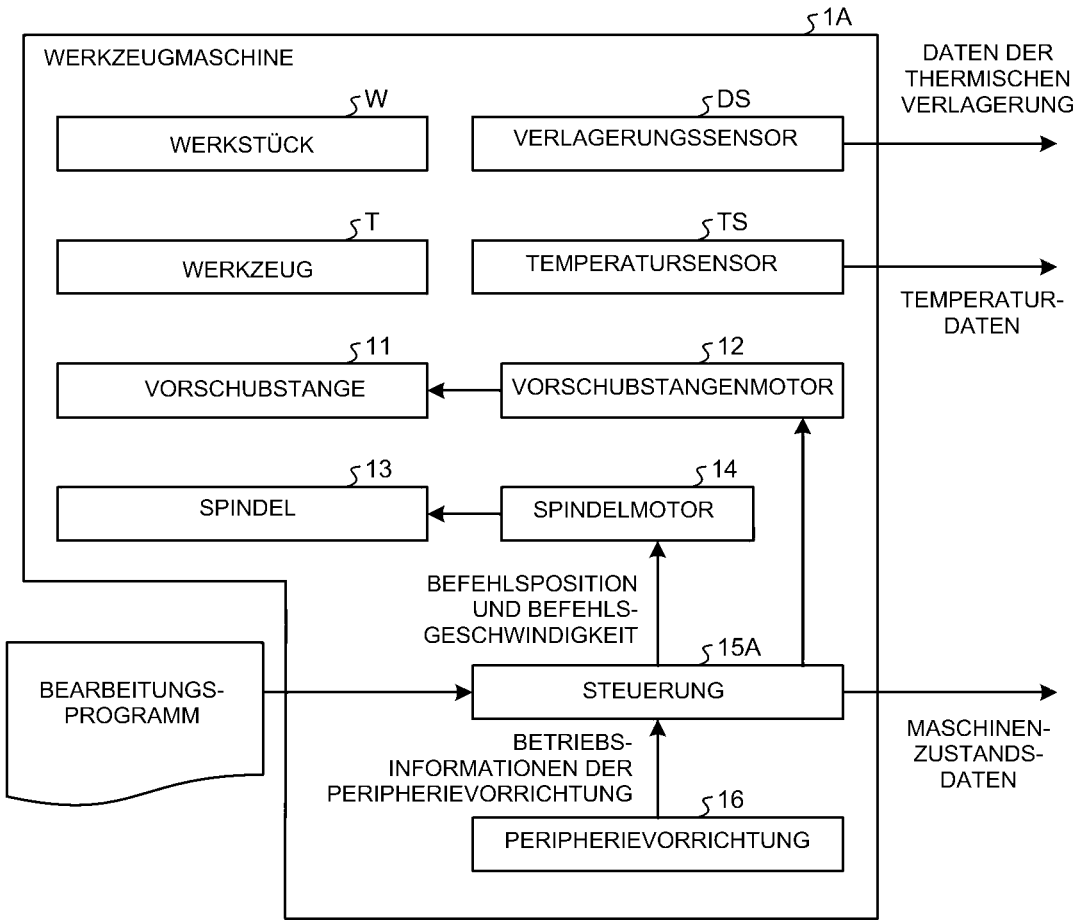

1A
WERKZEUGMASCHINE
W
WERKSTÜCK
DS
VERLAGERUNGSSENSOR
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
T
WERKZEUG
TS
TEMPERATURSENSOR
TEMPERATUR-DATEN
11
VORSCHUBSTANGE
12
VORSCHUBSTANGENMOTOR
13
SPINDEL
14
SPINDELMOTOR
BEFEHLSPOSITION UND BEFEHLS-GESCHWINDIGKEIT
15A
BEARBEITUNGS-PROGRAMM
STEUERUNG
MASCHINEN-ZUSTANDS-DATEN
BETRIEBS-INFORMATIONEN DER PERIPHERIEVORRICHTUNG
16
PERIPHERIEVORRICHTUNG

FIG.14

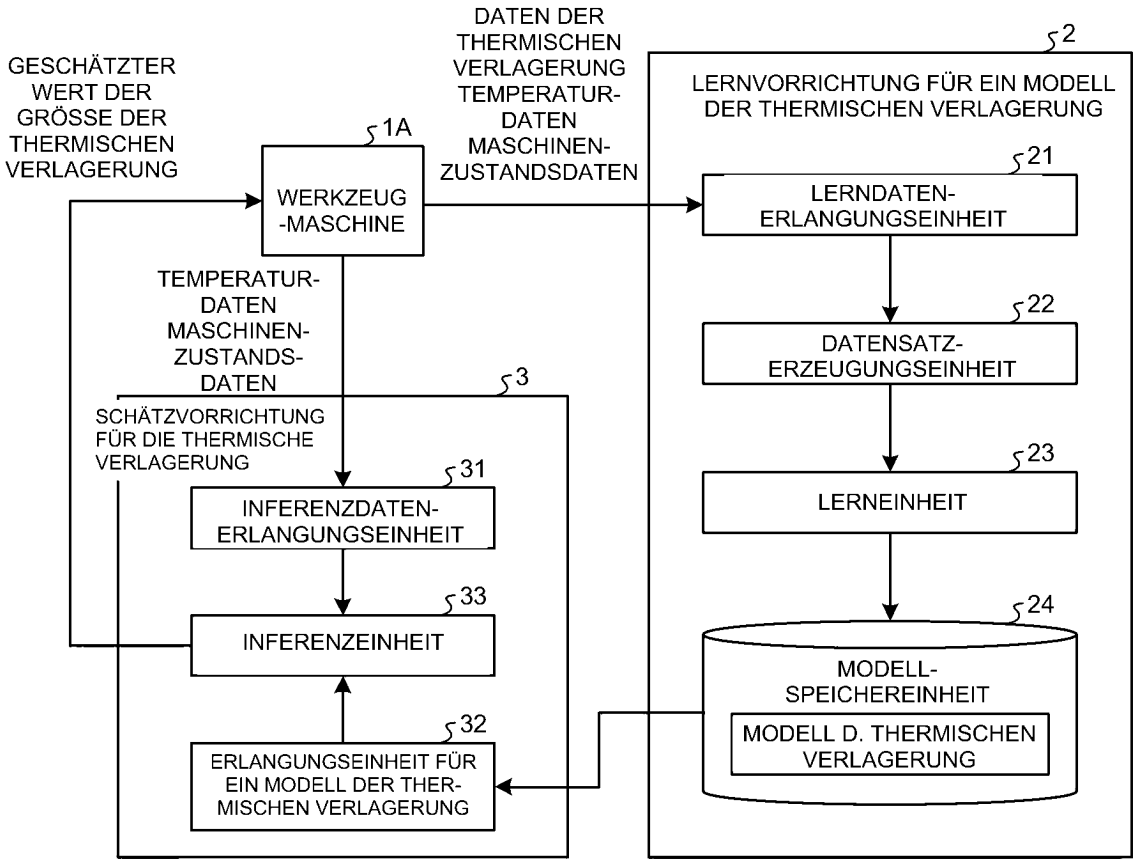

GESCHÄTZTER WERT DER GRÖSSE DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
1A
WERKZEUG -MASCHINE
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG TEMPERATUR-DATEN MASCHINEN-ZUSTANDSDATEN
2
LERNVORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
21
LERNDATEN-ERLANGUNGSEINHEIT
22
DATENSATZ-ERZEUGUNGSEINHEIT
23
LERNEINHEIT
24
MODELL-SPEICHEREINHEIT
MODELL D. THERMISCHEN VERLAGERUNG
TEMPERATUR-DATEN MASCHINEN-ZUSTANDS-DATEN
3
SCHÄTZVORRICHTUNG FÜR DIE THERMISCHE VERLAGERUNG
31
INFERENZDATEN-ERLANGUNGSEINHEIT
33
INFERENZEINHEIT
32
ERLANGUNGSEINHEIT FÜR EIN MODELL DER THER-MISCHEN VERLAGERUNG

FIG.15

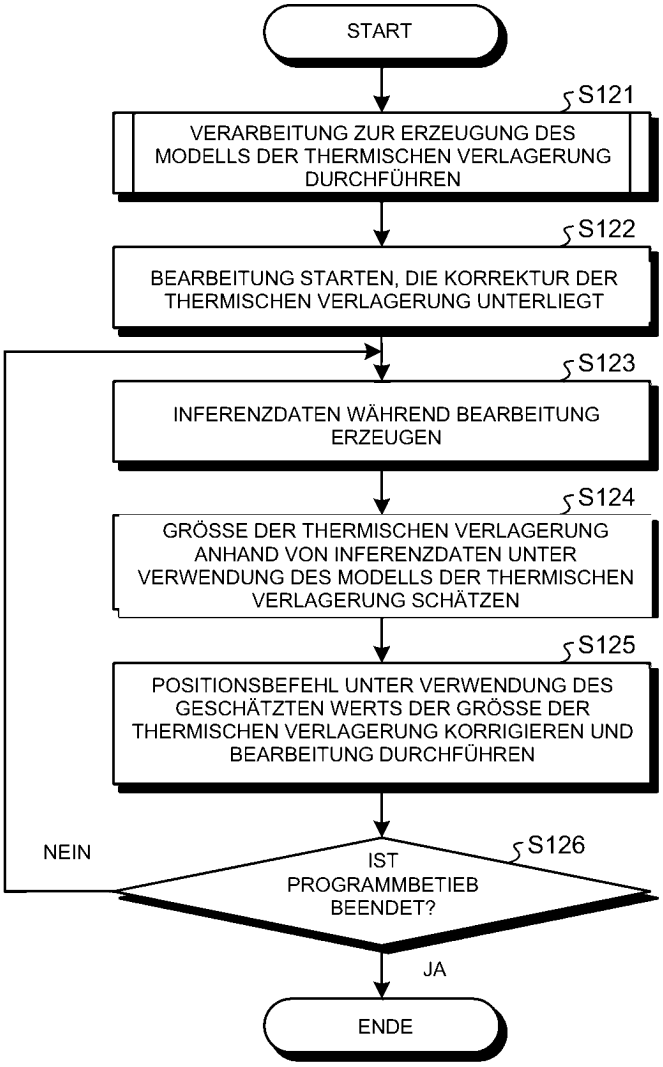

START
S121
VERARBEITUNG ZUR ERZEUGUNG DES MODELLS DER THERMISCHEN VERLAGERUNG DURCHFÜHREN
S122
BEARBEITUNG STARTEN, DIE KORREKTUR DER THERMISCHEN VERLAGERUNG UNTERLIEGT
S123
INFERENZDATEN WÄHREND BEARBEITUNG ERZEUGEN
S124
GRÖSSE DER THERMISCHEN VERLAGERUNG ANHAND VON INFERENZDATEN UNTER VERWENDUNG DES MODELLS DER THERMISCHEN VERLAGERUNG SCHÄTZEN
S125
POSITIONSBEFEHL UNTER VERWENDUNG DES GESCHÄTZTEN WERTS DER GRÖSSE DER THERMISCHEN VERLAGERUNG KORRIGIEREN UND BEARBEITUNG DURCHFÜHREN
S126
IST PROGRAMMBETIEB BEENDET?
NEIN
JA
ENDE

FIG.16

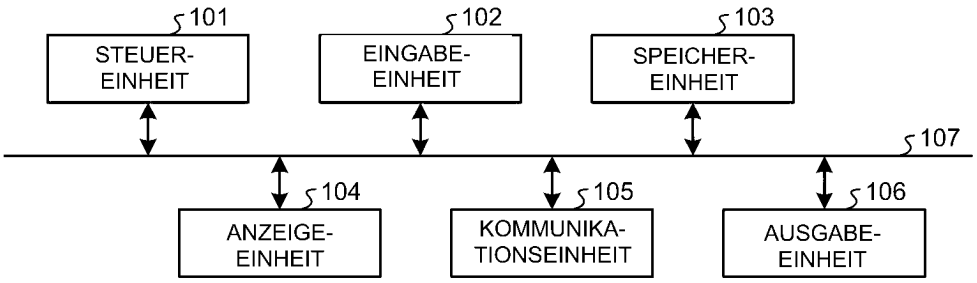

101
STEUER-EINHEIT
102
EINGABE-EINHEIT
103
SPEICHER-EINHEIT
107
104
ANZEIGE-EINHEIT
105
KOMMUNIKA-TIONSEINHEIT
106
AUSGABE-EINHEIT

FIG.17

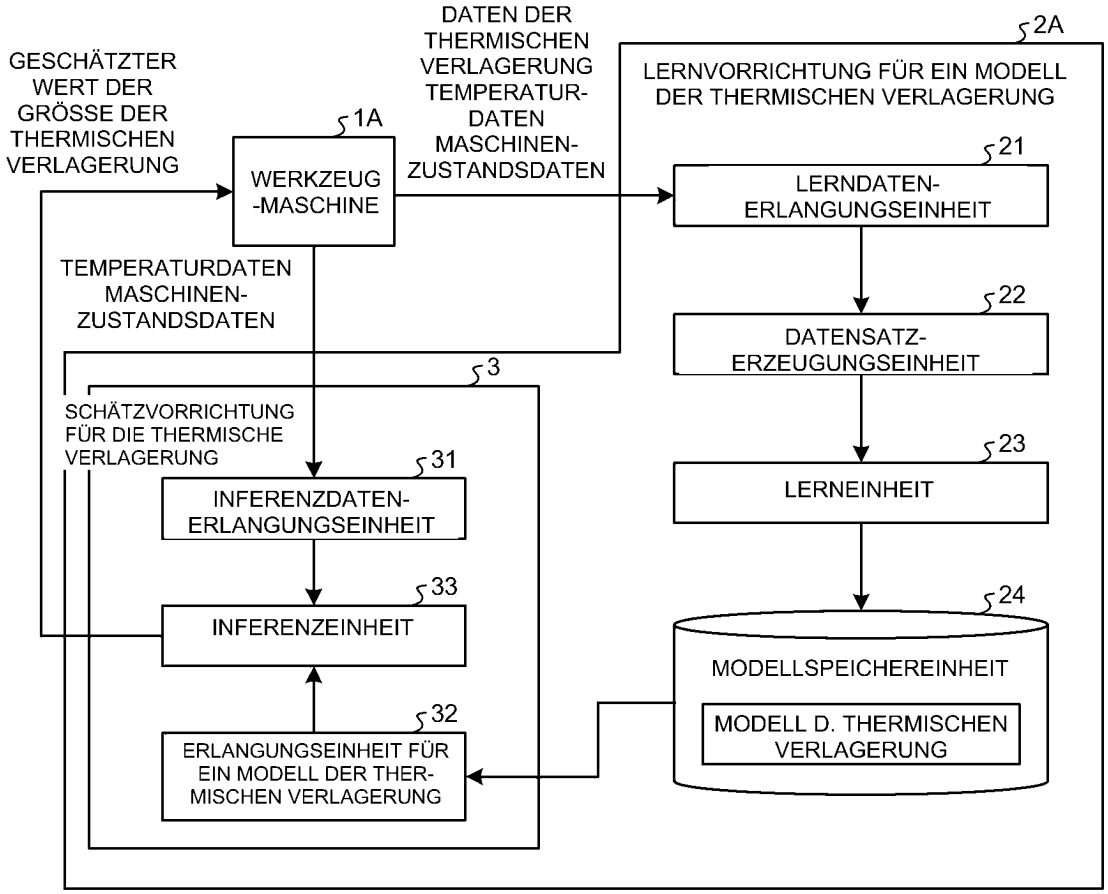

GESCHÄTZTER WERT DER GRÖSSE DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
1A
WERKZEUG -MASCHINE
DATEN DER THERMISCHEN VERLAGERUNG TEMPERATUR-DATEN MASCHINEN-ZUSTANDSDATEN
2A
LERNVORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG
21
LERNDATEN-ERLANGUNGSEINHEIT
22
DATENSATZ-ERZEUGUNGSEINHEIT
23
LERNEINHEIT
24
MODELLSPEICHEREINHEIT
MODELL D. THERMISCHEN VERLAGERUNG
TEMPERATURDATEN MASCHINEN-ZUSTANDSDATEN
3
SCHÄTZVORRICHTUNG FÜR DIE THERMISCHE VERLAGERUNG
31
INFERENZDATEN-ERLANGUNGSEINHEIT
33
INFERENZEINHEIT
32
ERLANGUNGSEINHEIT FÜR EIN MODELL DER THER-MISCHEN VERLAGERUNG

FIG.18

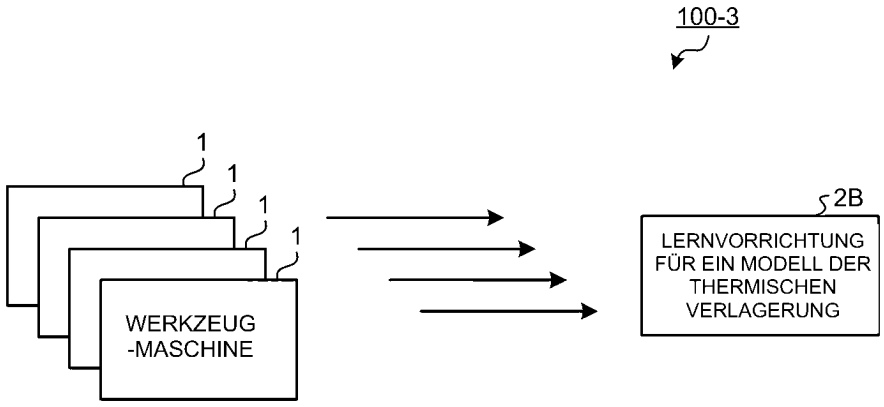
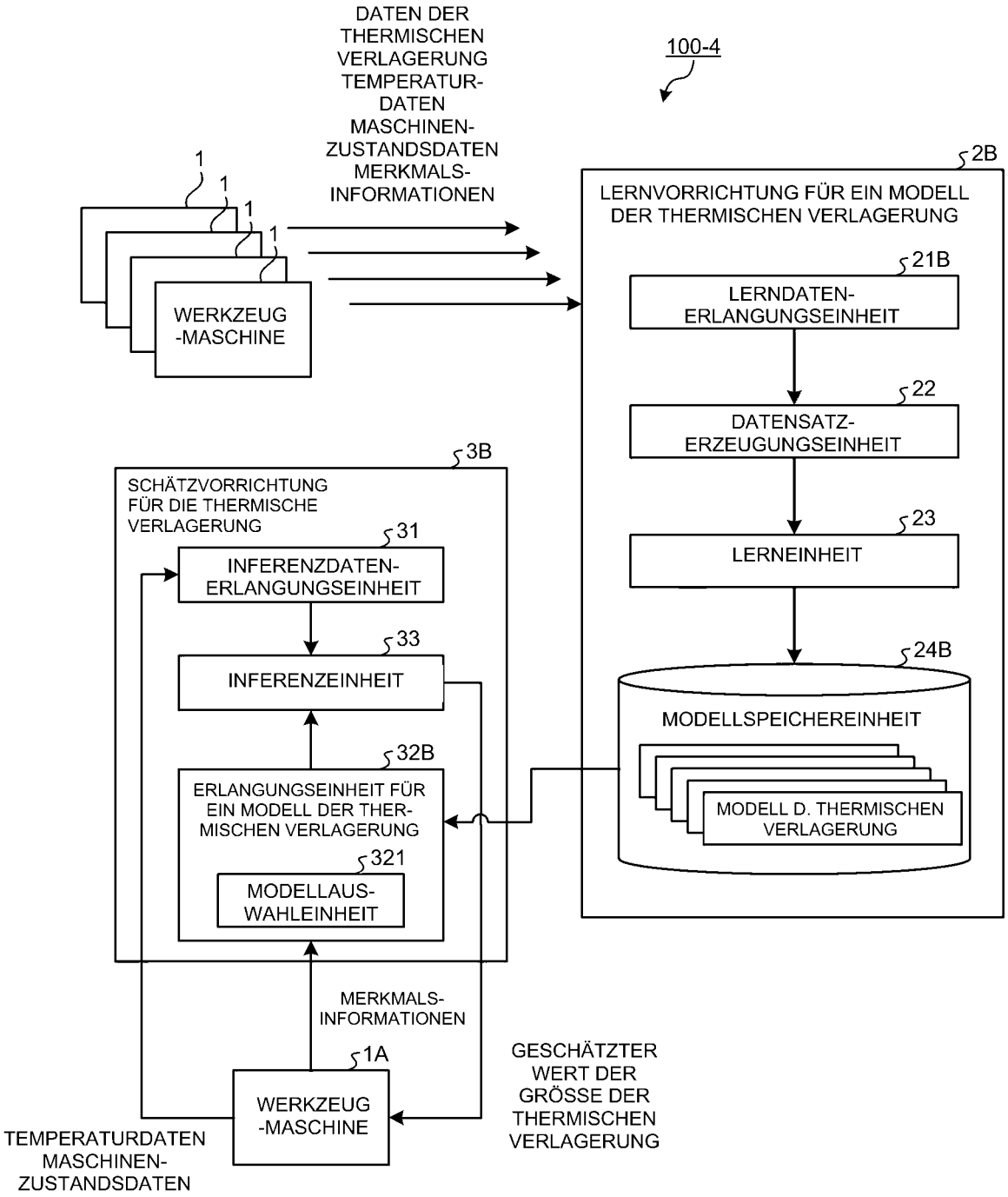

100-3
1
1
1
1
WERKZEUG -MASCHINE
2B
LERNVORRICHTUNG FÜR EIN MODELL DER THERMISCHEN VERLAGERUNG

FIG.19



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.