(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2022 007 137 T5** 2025.02.27

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2024/029074**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 137.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/030109**
(86) PCT-Anmeldetag: **05.08.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.02.2024**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **27.02.2025**

(51) Int Cl.: ***G05B 19/4093*** (2006.01)
G05B 19/4155 (2006.01)
B23B 1/00 (2006.01)

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

(74) Vertreter:
Diehl & Partner Patent- und Rechtsanwaltskanzlei mbB, 80636 München, DE

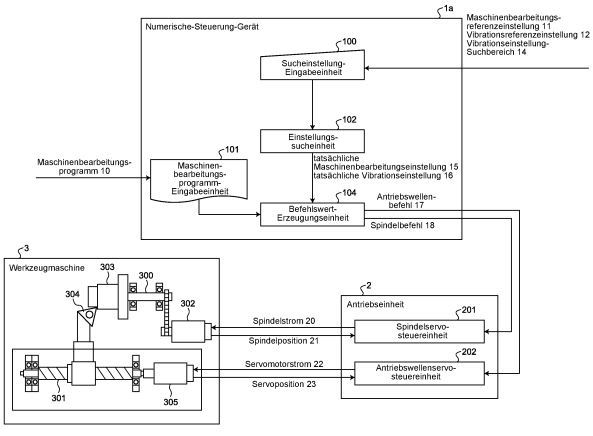
(72) Erfinder:
Fujita, Tomoya, Tokyo, JP; Nagae, Keishi, Tokyo, JP; Sagasaki, Masakazu, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät und Antriebseinstellung-Bestimmungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Ein Numerische-Steuerung-Gerät (1a) ist ein Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät zum Bestimmen einer Antriebseinstellung einer Werkzeugmaschine, welche ein Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren einer Welle, welche eine Relativposition zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug ändert, während eines Schneidens durchführt. Das Numerische-Steuerung-Gerät (1a) umfasst: eine Sucheinstellung-Eingabeeinheit (100), welche eine Sucheinstellung bezieht, welche einen Suchbereich und eine Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung (11) umfasst, wobei der Suchbereich für eine Antriebseinstellung eingestellt ist, welche eine Maschinenbearbeitungseinstellung für die Werkzeugmaschine (3) und/oder eine Vibrationseinstellung für die Welle und/oder einen Steuerungsparameter, welcher ein Parameter zum Bestimmen einer Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst, wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung (11) die als eine Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und eine Einstellungssucheinheit (102), welche basierend auf der Sucheinstellung eine tatsächliche Antriebseinstellung in dem eingestellten Suchbereich so bestimmt, dass eine Spanbruchbedingung erfüllt ist, wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird, wobei die Spanbruchbedingung eine Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät und ein Antriebseinstellung-Bestimmungsverfahren zum Bestimmen einer Antriebseinstellung einer Werkzeugmaschine, welche Vibrationsschneiden durchführt.

Hintergrund

[0002] Eine zum Schneiden verwendete Werkzeugmaschine verwendet eine Relativbewegung zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug, während sie einen Eingriff des Werkstücks und des Werkzeugs erzeugt, wodurch ein Material von einer Oberfläche des Werkstücks entfernt wird, um das Werkstück in eine gewünschte Form zu maschinenbearbeiten. Dabei wird das entfernte Material als ein Span abgeworfen. Wenn ein langer durchgängiger Span erzeugt wird, kann sich dieser Span um das Werkstück, das Werkzeug oder dergleichen wickeln, was zu einer schlechten Maschinenbearbeitungsgenauigkeit und einer verkratzten Oberfläche des Werkstücks führt. Dies verursacht ein Scheitern der Maschinenbearbeitung.

[0003] Um eine Erzeugung eines langen durchgängigen Spans zu vermeiden, offenbart Patentliteratur 1 ein Steuergerät für eine Werkzeugmaschine, welche Vibrationsschneiden zum Brechen eines Spans in kleine Stücke durch Vibrieren eines Schafts zum Antreiben eines Werkzeugs bei einer geringen Frequenz so durchführt, dass der Moment eines Eingriffs des Werkzeugs und eines Werkstücks nicht erzeugt wird. Das in Patentliteratur 1 offenbarte Steuerungsgerät bestimmt basierend auf Werkzeugdaten, einem Relativpositionszusammenhang zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug und Bewegungsdaten zum Bewegen des Werkstücks und des Werkzeugs relativ zu einander, ob ein Spanbruch in einem Fall des Vibrierens eines bestimmten Schafts mehrerer Vorschubschäfte auftritt, und wählt einen zu vibrierenden Schaft automatisch aus.

Zitierungsliste

Patentliteratur

[0004] Patentliteratur 1: japanisches Patent Nr. 7007531

Kurzbeschreibung

Technisches Problem

[0005] Die oben beschriebene herkömmliche Technik hat jedoch ein Problem, das eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Spanbruch nicht auftritt, unabhängig davon, welcher Schaft ausgewählt ist, weil Einstellungen, die von dem zu vibrierenden Schaft verschieden sind, voreingestellt sind.

[0006] Die vorliegende Offenbarung wurde in Anbetracht der Umstände gemacht, und ein Ziel der vorliegenden Offenbarung ist es, ein Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät bereitzustellen, welches eine Wahrscheinlichkeit, dass ein Spanbruch beim Durchführen von Vibrationsschneiden durch eine Werkzeugmaschine auftritt, erhöhen kann.

Lösung des Problems

[0007] Um die oben beschriebenen Probleme zu lösen und das Ziel zu erreichen, ist ein Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß der vorliegenden Offenbarung ein Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät, welches eine Antriebseinstellung einer Werkzeugmaschine bestimmt, welche ein Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren einer Welle zum Ändern einer Relativposition zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug während eines Schneidens durchführt. Das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät umfasst:

eine Sucheinstellung-Eingabeeinheit, welche eine Sucheinstellung bezieht, welche einen Suchbereich und eine Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung umfasst,

wobei der Suchbereich für eine Antriebseinstellung eingestellt ist, welche eine Maschinenbearbeitungseinstellung für die Werkzeugmaschine und/oder eine Vibrationseinstellung für die Welle und/oder einen Steuerungsparameter, welcher ein Parameter zum Bestimmen einer Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst,

wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung die als eine Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und eine Einstellungssucheinheit,

welche basierend auf der Sucheinstellung eine tatsächliche Antriebseinstellung in dem eingestellten Suchbereich so bestimmt, dass eine Spanbruchbedingung erfüllt ist, wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird, wobei die Spanbruchbedingung eine Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0008] Das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß der vorliegenden Erfindung hat eine Wirkung, dass es das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät bereitstellen kann, welches die Wahrscheinlichkeit, dass ein Spanbruch beim Durchführen des Vibrationsschneidens durch die Werkzeugmaschine auftritt, erhöhen kann.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

Fig. 1 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt.

Fig. 2 ist ein Erklärungsdiagramm, welches ein Vibrationsschneiden unter Verwendung einer in **Fig.** 1 gezeigten Werkzeugmaschine zeigt.

Fig. 3 ist ein Erklärungsdiagramm, welches einen Vorgang zeigt, bei welchem ein Spanbruch bei dem durch die Werkzeugmaschine durchgeführten Vibrationsschneiden auftritt.

Fig. 4 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben von Betriebsweisen einer in **Fig.** 1 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 5 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt.

Fig. 6 ist ein Diagramm, welches ein Beispiel eines in **Fig.** 5 gezeigten Maschinenmodells zeigt.

Fig. 7 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben eines ersten Beispiels von Betriebsweisen einer in **Fig.** 5 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 8 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben eines zweiten Beispiels von Betriebsweisen der in **Fig.** 5 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 9 ist ein Diagramm, welches einen experimentell hergeleiteten Zusammenhang einer Reaktionsamplitude bezüglich eines Befehlswerts einer Vibrationsamplitude zeigt.

Fig. 10 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts gemäß einer dritten Ausführungsform zeigt.

Fig. 11 ist ein Diagramm, welches ein Beispiel eines in **Fig.** 10 gezeigten Maschinenmodells zeigt.

Fig. 12 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben von Betriebsweisen einer in **Fig.** 10 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 13 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts gemäß eines Modifikationsbeispiels der dritten Ausführungsform zeigt.

Fig. 14 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts gemäß einer vierten Ausführungsform zeigt.

Fig. 15 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben von Betriebsweisen einer in **Fig.** 14 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 16 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts gemäß einer fünften Ausführungsform zeigt.

Fig. 17 ist ein Ablaufdiagram zum Beschreiben von Betriebsweisen einer in **Fig.** 16 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 18 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts gemäß einer sechsten Ausführungsform zeigt.

Fig. 19 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts gemäß einer siebten Ausführungsform zeigt.

Fig. 20 ist ein Ablaufdiagramm betreffend eine Lernverarbeitung einer in **Fig.** 19 gezeigten Einstellungssucheinheit.

Fig. 21 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts gemäß einer achten Ausführungsform zeigt.

Fig. 22 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben einer Folgerungsverarbeitung durch das in **Fig.** 21 gezeigte Numerische-Steuerung-Gerät.

Fig. 23 ist ein Diagramm, welches eine dedizierte Hardware zum Implementieren der Funktionen jedes der Numerische-Steuerung-Geräte gemäß der ersten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform zeigt.

Fig. 24 ist ein Diagramm, welches eine Konfiguration einer Steuerungsschaltung zum Implementieren der Funktionen jedes der Numerische-Steuerung-Geräte gemäß der ersten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform zeigt.

Fig. 25 ist ein Diagramm, welches eine beispielhafte Konfiguration eines Computersystems zeigt, welches jedes der Informationsverarbeitungsgeräte gemäß der zweiten, dritten, fünften und siebten Ausführungsform implementiert.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0009] Hierin nachfolgend wird mit Bezug zu den Zeichnungen eine detaillierte Beschreibung eines Antriebseinstellung-Bestimmungsgeräts und eines Antriebseinstellung-Bestimmungsverfahrens gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung bereitgestellt.

Erste Ausführungsform.

[0010] **Fig.** 1 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts 1a gemäß einer ersten Ausführungsform zeigt. Das Numerische-Steuerung-Gerät 1a hat eine Funktion des Steuerns einer Werkzeugmaschine 3 durch Ausgeben eines Antriebswellenbefehls 17 und eines Spindelbefehls 18 an eine Antriebseinheit 2, welche Befehlswerte zum Steuern der Werkzeugmaschine 3 gemäß einem Maschinenbearbeitungsprogramm 10 sind.

[0011] Basierend auf dem Antriebswellenbefehl 17 und dem Spindelbefehl 18, welche von dem Numerische-Steuerung-Gerät 1a ausgegeben werden, führt die Antriebseinheit 2 der Werkzeugmaschine 3 einen Spindelstrom 20 und einen Servomotorstrom 22 zu, welche zum Steuern der Werkzeugmaschine 3 verwendet werden. Die Antriebseinheit 2 kann den Spindelstrom 20 basierend auf einer Spindelposition 21 erzeugen, welche von der Werkzeugmaschine 3 zurückgegeben wird, und kann den Servomotorstrom 22 basierend auf einer Antriebswellenposition 23 erzeugen, welche von der Werkzeugmaschine 3 zurückgegeben wird.

[0012] Die Werkzeugmaschine 3 umfasst eine Spindel 300 und eine Antriebswelle 301, welche Wellen sind, welche eine Relativposition zwischen einem Werkstück 303 und einem Werkzeug 304 ändern. Die Werkzeugmaschine 3 führt Schneiden an dem Werkstück 303 als Reaktion darauf durch, dass die Spindel 300 und die Antriebswelle 301 gemäß dem Spindelstrom 20 und dem Servomotorstrom 22, welche von der Antriebseinheit 2 zugeführt werden, angetrieben werden. Dabei vibriert die Werkzeugmaschine 3 mindestens eine der Wellen, welche die Relativposition zwischen dem Werkstück 303 und dem Werkzeug 304 ändern, wodurch ermöglicht wird, ein Vibrationsschneiden durchzuführen, welches das Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht.

[0013] Das Numerische-Steuerung-Gerät 1a ist ein Beispiel eines Antriebseinstellung-Bestimmungsgeräts zum Bestimmen einer Antriebseinstellung der Werkzeugmaschine 3. Die Antriebseinstellung ist eine Einstellung, welche einen Antriebszustand der Werkzeugmaschine 3 definiert. Eine Maschinenbearbeitungseinstellung, eine Vibrationseinstellung und ein Steuerungsparameter sind jeweils ein Typ der Antriebseinstellung. Die Maschinenbearbeitungseinstellung ist eine Einstellung zum Maschinenbearbeiten des Werkstücks in eine gewünschte Form. Die Vibrationseinstellung ist eine Einstellung zum Definieren einer Vibrationsfrequenz und einer Vibrationsamplitude. Der Steuerungsparameter ist ein Parameter zum Bestimmen einer Steuerungseigenschaft einer Welle.

[0014] Das Numerische-Steuerung-Gerät 1a umfasst eine Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, eine Maschinenbearbeitungsprogramm-Eingabeeinheit 101, eine Einstellungssucheinheit 102 und eine Befehlswert-Erzeugungseinheit 104. Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 bezieht eine Einstellung zum Suchen nach der Antriebseinstellung.

[0015] Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 bezieht eine Sucheinstellung, welche einen Suchbereich und eine Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst. Der Suchbereich ist für die Antriebseinstellung eingestellt, welche die Maschinenbearbeitungseinstellung und/oder die Vibrationseinstellung und/oder den Steuerungsparameter umfasst. Die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 ist eine Maschinenbearbeitungseinstellung, welche als eine Referenz dient und unabhängig davon eingestellt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird. Insbesondere bezieht in der ersten Ausführungsform die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, eine Vibrationsreferenzeinstellung 12 und einen Vibrationseinstellung-Suchbereich 14. Die Vibrationsreferenzeinstellung 12 ist eine Vibrationseinstellung, welche als eine Referenz dient. Der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 ist ein Suchbereich, welcher für die Vibrationseinstellung eingestellt ist. Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 gibt die bezogene Sucheinstellung in die Einstellungssucheinheit 102 aus. Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 umfasst Eingabemittel, wie beispielsweise eine Tastatur, eine Taste und eine Maus, empfängt eine Bedienereingabe, welche in das Numerische-Steuerung-Gerät 1a einzugeben ist, und bezieht eine Eingabeinformation.

[0016] Die Einstellungssucheinheit 102 sucht basierend auf der durch die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 ausgegebenen Sucheinstellung nach der Antriebseinstellung und bestimmt eine tatsächliche Antriebseinstellung, welche die tatsächlich zu verwendende Antriebseinstellung ist. In der ersten Ausführungsform umfasst die tatsächliche Antriebseinstellung eine tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15, welche eine tatsächlich zu verwendende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, und eine tatsächliche Vibrationseinstellung 16, welche eine tatsächlich zu verwendende Vibrationseinstellung ist. Später wird eine Beschreibung eines detaillierten Verfahrens gegeben, durch welches die Einstellungssucheinheit 102 nach der Antriebseinstellung sucht. Die Einstellungssucheinheit 102 gibt die bestimmte tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15 und tatsächliche Vibrationseinstellung 16 aus.

[0017] Die Maschinenbearbeitungsprogramm-Eingabeeinheit 101 empfängt das Maschinenbearbeitungsprogramm 10 zum Steuern der Werkzeugmaschine 3 als Eingabe, um hierdurch das Maschinenbearbeitungsprogramm 10 zu beziehen, und gibt das bezogene Maschinenbearbeitungsprogramm 10 an die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 aus.

[0018] Die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 erzeugt den Antriebswellenbefehl 17 und den Spindelbefehl 18 basierend auf dem durch die Maschinenbearbeitungsprogramm-Eingabeeinheit 101 ausgegebenen Maschinenbearbeitungsprogramm 10 und auf der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15 und der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16, welche durch die Einstellungssucheinheit 102 bestimmt werden, und gibt den erzeugten Antriebswellenbefehl 17 und Spindelbefehl 18 an die Antriebseinheit 2 aus. Der Antriebswellenbefehl 17 ist ein Befehl für die Antriebswelle 301 der Werkzeugmaschine 3. Der Spindelbefehl 18 ist ein Befehl für die Spindel 300.

[0019] Die Antriebseinheit 2 umfasst eine Spindelservosteuereinheit 201 und eine Antriebswellenservosteuereinheit 202.

[0020] Die Spindelservosteuereinheit 201 führt eine Positionssteuerung so durch, dass die Spindelposition 21 eines Spindelmotors 302 der Werkzeugmaschine 3 mit dem Spindelbefehl 18 übereinstimmt, und gibt den Spindelstrom 20 aus. Wenn der Spindelbefehl 18 jedoch ein Geschwindigkeitsbefehl ist, führt die Spindelservosteuereinheit 201 eine Geschwindigkeitssteuerung so durch, dass eine Spindelgeschwindigkeit mit dem Spindelbefehl 18 übereinstimmt.

[0021] Die Antriebswellenservosteuereinheit 202 führt eine Positionssteuerung so durch, dass die Antriebswellenposition 23 eines Servomotors 305 der Werkzeugmaschine 3 mit dem Antriebswellenbefehl 17 übereinstimmt, und gibt den Servomotorstrom 22 aus. Obwohl zur Vereinfachung der Darstellung nur eine Antriebswelle 301 in der Zeichnung gezeigt ist, kann in einem Fall, in welchem die Werkzeugmaschine 3 zwei oder mehr Antriebswellen 301 umfasst, die Antriebseinheit 2 mehrere Antriebswellenservosteuereinheiten 202 umfassen, welche jeweils einer der mehreren Antriebswellen 301 zugeordnet sind.

[0022] Die Werkzeugmaschine 3 ist eine Drehmaschine und umfasst die Spindel 300, die Antriebswelle 301, den Spindelmotor 302, welcher mit der Spindel verbunden ist, und den Servomotor 305, welcher mit der Antriebswelle 301 verbunden ist.

[0023] Das Werkzeug 304 ist an der Antriebswelle 301 angebracht, und das Werkstück 303 ist an der Spindel 300 installiert. Dem Spindelmotor 302 wird der Spindelstrom 20 zugeführt, welcher basierend auf dem Spindelbefehl 18 durch die Spindelservosteuereinheit 201 der Antriebseinheit 2 erzeugt wird. Dem Servomotor 305 wird der Servomotorstrom 22 zugeführt, welcher basierend auf dem Antriebswellenbefehl 17 durch die Antriebswellenservosteuereinheit 202 der Antriebseinheit 2 erzeugt wird. Der Spindelmotor 302 treibt die Spindel 300 gemäß dem Spindelstrom 20 an. Der Servomotor 305 treibt die Antriebswelle 301 gemäß dem Servomotorstrom 22 an.

[0024] Die in **Fig.** 1 gezeigte Konfigurationen der Spindel 300 und der Antriebswelle 301 in der Werkzeugmaschine 3 sind jedoch Beispiele der Drehmaschine. Im Falle des Drehens unter Verwendung einer simultanen fünfachsigen Werkzeugmaschine mit Rotationsachse werden sowohl ein Drehtisch, auf welchem das Werkstück 303 platziert ist, als auch die Antriebswelle, welche das Werkzeug 304 antreibt, durch die Antriebswellenservosteuereinheit 202 angetrieben. Zudem ist die Werkzeugmaschine 3 nicht auf eine Maschine begrenzt, welche Drehen durchführt. Die Werkzeugmaschine 3 kann eine Maschine sein, welche Fräsown schneiden durchführt. Obwohl in der obigen Konfiguration das an der Spindel 300 installierte Werkstück 303 gedreht wird, kann das Werkzeug 304 zudem gedreht werden, um Vibrationsschneiden durchzuführen. Beispielsweise sind Bohren, Fräsen und dergleichen Verfahren zum Schneiden des Werkstücks 303 unter Verwendung des Werkzeugs 304 in einem drehenden Zustand.

[0025] **Fig.** 2 ist ein Erklärungsdiagramm, welches das Vibrationsschneiden unter Verwendung der in **Fig.** 1 gezeigten Werkzeugmaschine 3 zeigt. Die Spindel 300 (in **Fig.** 2 nicht gezeigt) rotiert das Werkstück 303 bei einer konstanten Geschwindigkeit gemäß dem Spindelbefehl 18. Als Reaktion darauf, dass der Servomotor 305 in einer Z-Achse-Richtung basierend auf dem Antriebswellenbefehl 17 gesteuert wird, bewegt die Antriebswelle 301 in der Z-Achse-Richtung das Werkzeug 304 in der Z-Achse-Richtung entlang eines Werkzeugwegs, welcher durch das Maschinenbearbeitungsprogramm 10 definiert ist, während ein Eingriff des Werkzeugs 304 und des Werkstücks 303 erzeugt wird. Vorliegend umfasst der Antriebswellenbefehl 17 einen Befehl betreffend einen Vorschub, welcher in der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15 definiert ist, und einen Vibrationsbefehl betreffend eine Amplitude und eine Frequenz basierend auf der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16. Als Reaktion auf den Antriebswellenbefehl 17 veranlasst die Antriebswelle 301 das Werkzeug 304 dazu, zu vibrieren, während das Werkzeug 304 entlang des Werkzeugwegs bewegt wird. Daher wird eine Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 erzeugt, um den Span zu brechen. Obwohl vorliegend das Werkzeug 304 unter Verwendung der Antriebswelle 301 vibriert wird, kann, solange eine Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 erzeugt werden kann, das Werkstück 303 unter Verwendung der Spindel 300 vibriert werden oder das Werkzeug 304 und das Werkstück 303 können beide unter Verwendung von sowohl der Antriebswelle 301 als auch der Spindel 300 vibriert werden.

[0026] Zudem kann eine Relativvibration unter Verwendung der Vibration erzeugt werden, welche von dem Werkzeug 304 zu dem Werkstück 303 durch eine Reaktionskraft eines Motors übertragen wird, welcher das Werkzeug 304 antreibt. Zudem kann eine Relativvibration unter Verwendung einer Antriebswelle 301 (nicht gezeigt) erzeugt werden, welche in einer X-Achse-Richtung, die zu einer Z-Achse orthogonal ist, angetrieben wird, oder eine schräge Vibration kann erzeugt werden, während die Antriebswelle 301 (nicht gezeigt) in der X-Achse-Richtung und die Antriebswelle 301 in der Z-Achse-Richtung gleichzeitig angetrieben werden.

[0027] **Fig.** 3 ist ein Erklärungsdiagramm, welches einen Vorgang zeigt, in welchem ein Spanbruch bei dem durch die Werkzeugmaschine 3 durchgeführten Vibrationsschneiden auftritt. Die horizontale Achse in **Fig.** 3 gibt einen Drehwinkel der Spindel 300 an. Der Drehwinkel geht um je 360 Grad und kehrt zu 0 Grad zurück. Die vertikale Achse in **Fig.** 3 gibt einen relativen Abstand zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 in der Richtung entlang des Werkzeugwegs an. Während der Anwendung keiner Vibration bewegt sich das Werkzeug 304 bei jeder Umdrehung der Spindel 300 um einen Vorschub pro Umdrehung F, welcher durch den Werkzeugweg spezifiziert ist. Während der Anwendung der Vibration wird das Werkzeug 304 dazu gebracht, zu vibrieren, während ein Vorschub in der Z-Achse-Richtung erfolgt, und daher entspricht der relative Abstand zwischen dem Werkstück 303 und dem Werkzeug 304 während einer Umdrehung der Spindel 300 einer Trajektorie einer Sinusschwingung. Solch eine Trajektorie wird als eine Vibrationstrajektorie bezeichnet.

[0028] Das Beispiel von **Fig.** 3 gibt eine Vibrationstrajektorie in einem Fall an, in welchem die Antriebswelle 301 in der Z-Achse-Richtung während einer Umdrehung der Spindel 300 1,5-mal vibriert wird. Die Vibrationstrajektorie ist basierend auf einer Spindelgeschwindigkeit S (r/min), einem Vorschub pro Umdrehung F (mm/r), einer Vibrationsamplitude A (mm) des Werkzeugs 304 und einer Winkelfrequenz ω_v (rad/s) der Vibration des Werkzeugs 304 bestimmt. Der Vorschub pro Umdrehung F (mm/r) ist eine Vorschubrate des Werkzeugs 304 relativ zu dem Werkstück 303 pro Umdrehung der Spindel 300.

[0029] **Fig.** 3 zeigt eine n-te Vibrationstrajektorie 110 und eine (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111. Die n-te Vibrationstrajektorie 110 ist eine Vibrationstrajektorie während der n-ten Spindelumdrehung. Die (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111 ist eine Vibrationstrajektorie während der (n+1)-ten Spindelumdrehung. Die n-te Vibrationstrajektorie 110 ist eine Vibrationstrajektorie zwischen einer Zeit t(n) und einer Zeit t(n+1). Die Zeit t(n) ist eine Zeit, an welcher die Spindel 300 0 Grad durchläuft. Die Zeit t(n+1) ist eine Zeit, an welcher die Spindel eine Umdrehung durchgeführt hat. Die (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111 ist eine Vibrationstrajektorie zwischen der Zeit t(n+1) und einer Zeit t(n+2). Die Zeit t(n+2) ist eine Zeit, an welcher die Spindel eine Umdrehung nach der Zeit t(n+1) durchgeführt hat. Vorliegend ist zu beachten, dass die Zeit t(n) eine beliebige Referenzzeit sein kann. Beispielsweise kann die Referenzzeit eine Zeit sein, zu welcher eine Maschinenbearbeitung startet. Ein Abstand zwischen der n-ten Vibrationstrajektorie 110 und der (n+1)-ten Vibrationstrajektorie 111 bei demselben Spindelwinkel entspricht einer Dicke des Spans, d. h. einer Spandicke. Spanbruchbereiche 112, welche schraffierte Bereiche in **Fig.** 3 sind, sind Bereiche, wo die n-te Vibrationstrajektorie 110 und die (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111 einander überlappen. In den Bereichen wurde das Material bereits von der Oberfläche des Werkstücks 303 in der n-ten Vibrationstrajektorie 110 entfernt, und daher tritt in der (n+1)-ten Vibrationstrajektorie 111 ein Luftschnitt ohne Entfernen des Materials auf. In einem Bereich zwischen den Luftschnittbereichen wird der Span nicht durchgängig gebildet, und daher wird der Span gebrochen. Damit das Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht wird, wird die Antriebseinstellung für das Vibrationsschneiden daher gewünscht so eingestellt, dass die Luftschnittbereiche erzeugt werden.

[0030] Nun wird eine Beschreibung einer Einstellung bereitgestellt, mit welcher ein Spanbruch auftritt. Wenn die Spindelgeschwindigkeit S (r/min) und der Vorschub pro Umdrehung F (mm/r) als eine Maschinenbearbeitungseinstellung, welche beim Drehen unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird, gegeben sind und die Vibrationsamplitude A (mm) der Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 und die Winkelfrequenz ω_v (rad/s) der Vibration als eine Vibrationseinstellung gegeben sind, wird eine Winkelfrequenz ω_s (rad/s) der Spindeldrehung durch Formel (1) unten berechnet.
Formel 1:

$$\omega_s = \frac{2\pi S}{60} \qquad (1)$$

[0031] Wenn ein Winkel der Spindel 300 als θ (rad) bezeichnet wird, wird dabei eine Trajektorie $T(\theta)_n$ der n-ten Vibrationstrajektorie 110, durch welche eine Schnittkante des Werkzeugs 304 verläuft, durch Formel (2) unten berechnet, wobei „$0<\theta<2\pi$“.
Formel 2:

$$T(\theta)_n = A\ sin\left(\frac{\omega_V}{\omega_S}(\theta + 2\pi n) + F(\theta + 2\pi n)\right) \qquad (2)$$

[0032] Wenn die n-te Vibrationstrajektorie 110 und die (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111 miteinander in Kontakt kommen, d. h., wenn Formel (3) unten erfüllt ist, wird der Span gebrochen.
Formel 3:

$$T(\theta)_n = T(\theta)_{n+1} \qquad (3)$$

[0033] Daher wird ein Zusammenhang, welcher durch Formel (4) unten repräsentiert ist, aus Formel (2) und Formel (3) hergeleitet, wobei φ eine Phasendifferenz zwischen der n-ten Vibrationstrajektorie 110 und der (n+1)-ten Vibrationstrajektorie 111 ist.
Formel 4:

$$A\left\{\left(1 - cos\ 2\pi\frac{\omega_V}{\omega_S}\right)^2 + \left(sin\ 2\pi\frac{\omega_V}{\omega_S}\right)^2 sin\left(\frac{\omega_V}{\omega_S}\theta + \phi\right)\right\} = 2\pi F \qquad (4)$$

[0034] Unter der Bedingung, dass Formel (5) unten erfüllt ist, existiert ein θ, welches Formel (3) und Formel (4) erfüllt.
Formel 5:

$$0 < \left(sin\left(\frac{\omega_V}{\omega_S}\theta + \phi \right) \right) \leq 1 \qquad (5)$$

[0035] Insbesondere kommen, wenn eine Formel (6) unten erfüllt ist, die n-te Vibrationstrajektorie 110 und die (n+1)-te Vibrationstrajektorie 111 miteinander an einem Punkt in Kontakt.
Formel 6:

$$sin\left(\frac{\omega_V}{\omega_S}\theta + \phi \right) = 1 \qquad (6)$$

[0036] Weil die Einstellung, dass die zwei Vibrationstrajektorien miteinander an einem Punkt in Kontakt kommen, wenn Formel (6) erfüllt ist, berechnet wird, ist zu verstehen, dass ein Spanbruch auftritt, wenn ein Wert der Vibrationsamplitude A größer als ein Wert der Formel (4) erfüllenden Vibrationsamplitude A ist.

[0037] Wie oben beschrieben ist, können die Bedingungen, unter welchen ein Spanbruch auftritt, durch die Formeln ausgedrückt werden, welche auf der Maschinenbearbeitungseinstellung und der Vibrationseinstellung basieren. Wenn die Bedingungen, welche durch Formel (4) und Formel (5) ausgedrückt sind, erfüllt werden können, können die Maschinenbearbeitungseinstellung und die Vibrationseinstellung frei ausgewählt werden. Wenn andererseits die Antriebseinstellung, welche weder Formel (4) noch Formel (5) erfüllt, eingestellt ist, tritt kein Spanbruch auf, und daher ist das Vibrationsschneiden unbefriedigend.

[0038] Nun wird eine Beschreibung einer Suche nach der Maschinenbearbeitungseinstellung unter Verwendung des Numerische-Steuerung-Geräts 1a bereitgestellt. Zuerst verwendet der Bediener die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, um eine Spindelgeschwindigkeit und eine Vorschubrate pro Zahn als die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 einzugeben. Die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 kann jedoch eine Information sein, welche in einem beliebigen Format ausgedrückt ist, solange die Winkelfrequenz der Spindeldrehung und der Vorschub pro Umdrehung eindeutig bestimmt werden können. Beispielsweise kann die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 eine Information umfassen, in welcher eine Vorschubrate entlang der Z-Achse durch einen Vorschub pro Minute (mm/min) ausgedrückt ist. In diesem Fall berechnet die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 die Vorschubrate pro Zahn basierend auf dem eingegebenen Vorschub pro Minute und überträgt ein Berechnungsergebnis zu der Einstellungssucheinheit 102. Zudem kann die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 direkt die Winkelfrequenz der Spindeldrehung anstelle der Spindelgeschwindigkeit umfassen.

[0039] Anschließend verwendet der Bediener die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, um die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude, welche als die Vibrationsreferenzeinstellung 12 dienen, als die Sucheinstellung einzugeben. Ferner verwendet der Bediener die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, um den Vibrationseinstellung-Suchbereich 14, welcher der Suchbereich für die Vibrationseinstellung ist, als die Sucheinstellung einzugeben. Der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 umfasst einen Suchbereich für die Vibrationsfrequenz und einen Suchbereich für die Vibrationsamplitude. Es ist zu beachten, dass auch für die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und die Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 eine Information sein können, welche in einem beliebigen Format ausgedrückt ist, solange die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude eindeutig bestimmt werden können. Beispielsweise können die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 einen Wert der Vibrationsfrequenz als die Anzahl von Vibrationen pro Spindelumdrehung umfassen oder können einen Wert der Vibrationsamplitude als ein Verhältnis bezüglich der Vorschubrate pro Zahn umfassen. In einem Fall, in welchem ein Wert eingestellt ist, welcher von der Vibrationsfrequenz und der Vibrationsamplitude verschieden ist, wandelt die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 den eingegebenen Wert in die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude und gibt die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude an die Einstellungssucheinheit 102 aus.

[0040] Die Einstellungssucheinheit 102 bestimmt eine tatsächliche Antriebseinstellung basierend auf der Sucheinstellung, welche durch die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 ausgegeben wird. Die tatsächliche Antriebseinstellung ist eine Einstellung, welche beim tatsächlichen Durchführen der Maschinenbearbeitung verwendet wird. In der ersten Ausführungsform umfasst die durch die Einstellungssucheinheit 102 bestimmte

tatsächliche Antriebseinstellung die tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15 und die tatsächliche Vibrationseinstellung 16. Die tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15 ist die Maschinenbearbeitungseinstellung, welche beim tatsächlichen Durchführen der Maschinenbearbeitung verwendet wird. Die tatsächliche Vibrationseinstellung 16 ist die Vibrationseinstellung, welche bei dem tatsächlichen Durchführen der Maschinenbearbeitung verwendet wird.

[0041] **Fig.** 4 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben von Betriebsweisen der in **Fig.** 1 gezeigten Einstellungssucheinheit 102. Die Einstellungssucheinheit 102 stellt zuerst die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12 ein, welche in der Sucheinstellung enthalten sind, welche von der Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 ausgegeben wird (Schritt S1). Die Einstellungssucheinheit 102 bestimmt, ob die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung eine Spanbruchbedingung erfüllen (Schritt S2).

[0042] Wenn die Spanbruchbedingung nicht erfüllt ist (Schritt S2: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102, ob die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3). Wenn die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102 die Vibrationsamplitude innerhalb eines Vibrationsamplitude-Suchbereichs (Schritt S4). Nach Schritt S4 kehrt die Einstellungssucheinheit 102 zu der Verarbeitung von Schritt S2 zurück. In diesem Fall wiederholt die Einstellungssucheinheit 102 die Verarbeitung der Schritte S2 bis S4 des Änderns der Vibrationsamplitude und des Bestimmens, ob die Spanbruchbedingung erfüllt ist, bis die Spanbruchbedingung erfüllt ist und solange die Vibrationsamplitude angepasst werden kann. Beispielsweise kann die Einstellungssucheinheit 102 eine Suche von einer unteren Grenze zu einer oberen Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs so durchführen, dass, ausgehend von der unteren Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs, ein Wert der geänderten Vibrationsamplitude bei jeder Wiederholung der Verarbeitung auf einen um einen konstanten Wert inkrementierten Wert eingestellt wird. In diesem Fall kann die Einstellungssucheinheit 102 in Schritt S3 bestimmen, dass die Vibrationsamplitude angepasst werden kann, wenn der Wert der geänderten Vibrationsamplitude die obere Grenze nicht erreicht hat, und kann bestimmen, dass die Vibrationsamplitude nicht angepasst werden kann, wenn der Wert der geänderten Vibrationsamplitude die obere Grenze erreicht hat.

[0043] Wenn die Vibrationsamplitude nicht angepasst werden kann (Schritt S3: nein), ändert die Einstellungssucheinheit 102 die Vibrationsfrequenz innerhalb eines Vibrationsfrequenz-Suchbereichs (Schritt S5). Dabei stellt die Einstellungssucheinheit 102 den Wert der Vibrationsamplitude auf die untere Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S2 zurück.

[0044] Wenn die Spanbruchbedingung erfüllt ist (Schritt S2: ja), gibt die Einstellungssucheinheit 102 die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als die tatsächliche Antriebseinstellung aus (Schritt S6).

[0045] Durch die obigen Schritte gibt, wenn die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12 die Spanbruchbedingung erfüllen, die Einstellungssucheinheit 102 die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12, so wie sie sind, als die tatsächliche Antriebseinstellung aus und, wenn die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12 die Spanbruchbedingung nicht erfüllen, sucht die Einstellungssucheinheit 102 zuerst nach der Vibrationseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, während sie die Vibrationsamplitude von der unteren Grenze zu der oberen Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs um einen konstanten Wert ändert. Wenn die Vibrationseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, selbst dann nicht gefunden wird, wenn die Vibrationsamplitude die obere Grenze erreicht, ändert die Einstellungssucheinheit 102 dann die Vibrationsfrequenz auf die untere Grenze, ändert die Vibrationsamplitude auf die untere Grenze und sucht nach der Vibrationseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, während sie die Vibrationsamplitude wieder von der unteren Grenze zu der oberen Grenze um einen konstanten Wert ändert. Durch Wiederholen der Verarbeitung des Bestimmens der Spanbruchbedingung, während die Vibrationsfrequenz von der unteren Grenze zu der oberen Grenze um einen konstanten Wert geändert wird, kann die Einstellungssucheinheit 102 innerhalb des Suchbereichs nach einer Kombination aus Vibrationsamplitude und Vibrationsfrequenz suchen, welche die Spanbruchbedingung erfüllt.

[0046] Wie oben beschrieben ist, ist gemäß der ersten Ausführungsform das Numerische-Steuerung-Gerät 1a das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät zum Bestimmen der Antriebseinstellung der Werkzeugmaschine 3, welche das Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren der Welle, welche die Relativposition zwischen dem Werkstück 303 und dem Werkzeug 304 ändert, während eines Schneidens durchführt, wobei das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät umfasst: die

Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, welche die Sucheinstellung bezieht, welche den Suchbereich und die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst, wobei der Suchbereich für die Antriebseinstellung eingestellt ist, welche die Maschinenbearbeitungseinstellung für die Werkzeugmaschine 3 und/oder die Vibrationseinstellung, welche die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude mindestens einer zu vibrierenden Welle der Antriebswelle 301 und/oder der Spindel 300 definiert, und/oder den Steuerungsparameter, welcher der Parameter zum Bestimmen der Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst, wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 die als die Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und die Einstellungssucheinheit 102, welche basierend auf der Sucheinstellung die tatsächliche Antriebseinstellung innerhalb des eingestellten Suchbereichs so bestimmt, dass die Spanbruchbedingung erfüllt ist, wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird, wobei die Spanbruchbedingung die Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt. Selbst wenn der Bediener die Antriebseinstellung der Werkzeugmaschine 3 bei Durchführung des Vibrationsschneidens nicht geeignet bestimmen kann, ist es daher möglich, innerhalb des eingestellten Suchbereichs nach der Antriebseinstellung zu suchen und die Antriebseinstellung, mit welcher ein Spanbruch auftritt, automatisch zu bestimmen. Dies kann die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Spanbruch bei Durchführung des Vibrationsschneidens unter Verwendung der Werkzeugmaschine auftritt.

Zweite Ausführungsform.

[0047] Fig. 5 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts 1b gemäß einer zweiten Ausführungsform zeigt. Das Informationsverarbeitungsgerät 1b ist ein Beispiel des Antriebseinstellung-Bestimmungsgeräts zum Bestimmen der Antriebseinstellung der Werkzeugmaschine 3. Hierin nachfolgend werden strukturelle Komponenten, die denen der ersten Ausführungsform gleich sind, durch dieselben Bezugszeichen bezeichnet und deren detaillierte Beschreibungen werden vorliegend nicht gegeben. Es werden hauptsächlich strukturelle Komponenten beschrieben, welche von denen der ersten Ausführungsform verschieden sind.

[0048] Das Informationsverarbeitungsgerät 1b ist ein Gerät, welches innerhalb eines Computers montiert ist, und bestimmt eine Antriebseinstellung, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens unter Verwendung der Werkzeugmaschine 3 verwendet wird, d. h. eine Maschinenbearbeitungseinstellung und eine Vibrationseinstellung. Das Informationsverarbeitungsgerät 1b empfängt die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und den Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 als Eingaben und gibt die tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15 und die tatsächliche Vibrationseinstellung 16 an ein Maschinenbearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät 103 aus.

[0049] Das Maschinenbearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät 103 ist beispielsweise eine Computer Aided Manufacturing (CAM) Software, welche das Maschinenbearbeitungsprogramm 10 für die Werkzeugmaschine 3 basierend auf einer Maschinenbearbeitungsweg-Erzeugungsinformation erzeugt. Das Maschinenbearbeitungsprogramm 10 wird als EIA-Programm oder als G-Code bezeichnet. Alternativ kann das Maschinenbearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät 103 eine Software sein, welche zusätzlich eine in einem Maschinenbearbeitungsprogramm enthaltene Information bearbeitet und das bearbeitete Maschinenbearbeitungsprogramm 10 ausgibt. Das Maschinenbearbeitungsprogramm wird beispielsweise durch die CAM-Software ausgegeben und ist ein Programm, welches einen Maschinenbearbeitungsweg beschreibt, entlang welchem die Maschinenbearbeitung unter der Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 durchzuführen ist. Die Information entspricht Befehlen betreffend die Spindelgeschwindigkeit, den Vorschub pro Zahn, die Vibrationsfrequenz und die Vibrationsamplitude.

[0050] Das Informationsverarbeitungsgerät 1b umfasst die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 und eine Einstellungssucheinheit 102b. Die Einstellungssucheinheit 102b bestimmt eine tatsächliche Antriebseinstellung unter Verwendung eines Maschinenmodells 105, welches die Eigenschaften der Werkzeugmaschine 3 simuliert. In der ersten Ausführungsform wurde angenommen, dass die Antriebswelle 301 mit derselben Vibrationsamplitude vibriert wie die Vibrationsamplitude, welche der Antriebswellenservosteuereinheit 202 befohlen wird. In der tatsächlichen Werkzeugmaschine 3 ist jedoch in einigen Fällen die Amplitude der Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 aufgrund des Einflusses von mechanischen Eigenschaften einer Maschinenstruktur, welche die Antriebswelle 301 trägt, der Antriebswelle 301 (nicht gezeigt), der Spindel 300 und dergleichen von der befohlenen Vibrationsamplitude verschieden. In einem solchen Fall tritt, selbst wenn die befohlene Vibrationsamplitude und Vibrationsfrequenz die Spanbruchbedingung erfüllen, in einigen Fällen kein Spanbruch auf, weil die bei der tatsächlichen Maschinenbearbeitung erzeugte Vibrationsamplitude von dem Befehlswert verschieden ist. Die Einstellungssucheinheit 102b

des Informationsverarbeitungsgeräts 1b sucht daher unter Berücksichtigung des Unterschieds zwischen dem Befehlswert der Vibrationsamplitude und dem tatsächlichen Wert der Vibrationsamplitude unter Verwendung des Maschinenmodells 105, welches die mechanischen Eigenschaften der Werkzeugmaschine 3 simuliert, nach der Vibrationseinstellung. Insbesondere verwendet die Einstellungssucheinheit 102b das Maschinenmodell 105 dazu, die tatsächliche Vibrationsamplitude an einer Position einer Spitze des Werkzeugs 304 für die befohlene Vibrationsamplitude zu schätzen, und sucht nach einer Vibrationseinstellung so, dass der Wert der geschätzten Vibrationsamplitude die Spanbruchbedingung erfüllt.

[0051] Fig. 6 ist ein Diagramm, welches ein Beispiel des in **Fig.** 5 gezeigten Maschinenmodells 105 zeigt. **Fig.** 6 zeigt das Maschinenmodell 105, in welchem mechanische Eigenschaften der Antriebswellenservosteuereinheit 202 und der Antriebswelle 301 in einem Frequenzraum simuliert werden. Die Antriebswellenservosteuereinheit 202 hat eine Kaskadensteuerung-Struktur, welche eine Steuerung umfasst, welche eine Position x der Spitze des Werkzeugs 304 für einen Antriebswellenbefehl 17r steuert, und eine Geschwindigkeitssteuerungsschleife umfasst, welche innerhalb einer Positionssteuerungsschleife bereitgestellt ist. Dabei umfasst die Positionssteuerung eine Proportionalsteuerung (P), welche eine Positionssteuerung ist, welche einen Geschwindigkeitsbefehl vr durch Multiplizieren der Differenz der Werkzeugspitz-Position x bezüglich des Antriebswellenbefehls 17r mit einer Positionsschleifenverstärkung K_p berechnet. Die Geschwindigkeitssteuerung umfasst eine Proportional-Integral-Steuerung (PI), welche eine Geschwindigkeitssteuerung ist, welche ein durch Multiplizieren der Differenz zwischen dem Geschwindigkeitsbefehl vr und einer Werkzeugspitze-Geschwindigkeit v mit einer Geschwindigkeitsschleifenverstärkung K_{vp} erhaltenes Ergebnis und ein durch Multiplizieren der Differenz mit einer Geschwindigkeitsintegralverstärkung K_{vi} und Integrieren des Produkts erhaltenes Ergebnis addiert, um das von dem Servomotor 305 ausgegebene Drehmoment Tr zu berechnen. Weiter berechnet das Maschinenmodell 105 die Werkzeugspitz-Position x durch Multiplizieren eines Drehmomentbefehls mit J, welches ein Gesamtträgheitsmoment der Antriebswelle 301 simuliert, und Integrieren des Produkts, Berechnen der Werkzeugspitze-Geschwindigkeit v und Integrieren der Werkzeugspitze-Geschwindigkeit v, wobei s ein Laplace-Operator ist und „1/s“ eine Integraloperation repräsentiert.

[0052] Dabei wird die Reaktion der Werkzeugspitz-Position x auf den Antriebswellenbefehl 17r durch Formel (7) unten berechnet.
Formel 7:

$$\frac{x(s)}{r(s)} = \frac{K_{vp}s + K_{vi}}{Js^3 + K_{vp}s^2 + \left(K_{vp}K_p + K_{vi}\right)s + K_pK_{vi}} \qquad (7)$$

[0053] Das Maschinenmodell 105 ist jedoch ein Beispiel und ein beliebiges Modell kann verwendet werden, solange das Modell die Reaktion der Werkzeugspitz-Position auf den Positionsbefehl berechnen kann. Beispielsweise kann eine Steuerung verwendet werden, welche von der P-Steuerung und der PI-Steuerung verschieden ist, oder die Eigenschaft der Antriebswelle 301 kann anstelle durch das Gesamtträgheitsmoment durch eine Übertragungsfunktion ausgedrückt werden. Beispielsweise kann innerhalb der Geschwindigkeitssteuerungsschleife eine Stromsteuerungsschleife zum Berechnen des Servomotorstroms 22, welcher von dem Servomotor 305 ausgegeben wird, bereitgestellt sein. Dabei wird das Drehmoment Tr durch Multiplizieren eines Motorstroms mit einer Drehmomentkonstante zum Berechnen eines Motordrehmoments basierend auf dem Motorstrom berechnet.

[0054] Anstelle eines stetigen Systemmodells unter Verwendung eines Laplace-Operators kann als das Maschinenmodell 105 zudem ein Modell verwendet werden, welches in einem diskreten System durch eine Differenzengleichung beschrieben ist.

[0055] Fig. 7 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben eines ersten Beispiels von Betriebsweisen der in **Fig.** 5 gezeigten Einstellungssucheinheit 102b. Die Verarbeitung der Schritte S1 bis S6 ist der in **Fig.** 4 gleich. Vor einem Bestimmen, ob die Spannbruchbedingung erfüllt ist, in Schritt S2, schätzt die Einstellungssucheinheit 102b in **Fig.** 7 die Vibrationsamplitude unter Verwendung des Maschinenmodells 105 (Schritt S7). Insbesondere berechnet die Einstellungssucheinheit 102b basierend auf der eingestellten Vibrationsamplitude die tatsächliche Vibrationsamplitude zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 unter Verwendung des Maschinenmodells 105. Vorliegend wird eine Beschreibung eines Verfahrens des Berechnens der Vibrationsamplitude unter Verwendung des durch Formel (7) oben repräsentierten Modells gegeben. In dem in der Form der Übertragungsfunktion beschriebenen Modell kann die Reaktion bei einer bestimmten Frequenz ω durch Substituieren von jω für s in Formel (7) berechnet werden, wobei j eine imaginäre Einheit ist. Eine Substitution von jω für s in Formel (7) ergibt Formel (8).
Formel 8:

$$\frac{X(j\omega)}{r(i\omega)} = \frac{jK_{vp}\omega + K_{vi}}{\left\{-J\omega^3 + \left(K_{vp}K_p + K_{vi}\right)\omega\right\}j + \left(-K_{vp}\omega^2 + K_pK_{vi}\right)} \qquad (8)$$

[0056] Dabei entspricht ein Verhältnis der Ausgabe zu der Eingabe dem Änderungswert der Vibrationsamplitude, und daher wird, wenn der Absolutwert von Formel (8) berechnet wird, das Ergebnis durch Formel (9) unten ausgedrückt.
Formel 9:

$$\left\|\frac{X(j\omega)}{r(i\omega)}\right\| = \frac{\sqrt{\left[K_{vp}\omega\left\{-J\omega^3 + \left(K_{vp}K_p + K_{vt}\right)\omega\right\} + \left(-K_{vp}\omega^2 + K_pK_{vt}\right)K_{vt}\right]^2 + \left[\left(-K_{vp}\omega^2 + K_pK_{vt}\right)K_{vp}\omega + \left\{-J\omega^3 + \left(K_{vp}K_p + K_{vt}\right)\omega\right\}K_{vt}\right]^2}}{\left\{-J\omega^3 + \left(K_{vp}K_p + K_{vt}\right)\omega\right\}^2 + \left(-K_{vp}\omega^2 + K_pK_{vt}\right)^2} \qquad (9)$$

[0057] Wie oben beschrieben ist, kann, wenn die einzugebende Frequenz der Vibration bestimmt ist, die Ausgabe der tatsächlichen Vibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 als eine Formel berechnet werden. Daher kann die tatsächliche Vibrationsamplitude A' zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 unter Verwendung der eingestellten Vibrationsfrequenz ω_v und Formel (9) für die eingestellte Vibrationsamplitude A berechnet werden.

[0058] Vorliegend wird die Berechnung unter der Annahme durchgeführt, dass die einzugebende Vibration eine einzige Frequenz ω hat, eine einzugebende Vibrationswellenform kann jedoch eine Rechteckwelle, eine Dreieckwelle oder dergleichen sein. Beispielsweise ist bekannt, dass ein rechteckwellenförmiger Vibrationsbefehl als eine Summe von einzelnen Vibrationen einer Frequenz (2π-1)ω mit einer Vibrationsamplitude (4/π) × (A/2n-1) für jedes n wie durch Formel (10) unter Verwendung einer Fourier-Reihe ausgedrückt beschrieben werden kann.
Formel 10:

$$f(\omega t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{\pi}\frac{A}{2n-1}\sin(2n-1)\omega t \qquad (10)$$

[0059] Wenn eine Summe von Amplitudenverhältnissen für die jeweiligen Frequenzen unter Verwendung von Formel (10) und Formel (9) berechnet wird, kann die Amplitude für den rechteckwellenförmigen Vibrationsbefehl berechnet werden. Im Lichte des Umstands, dass eine Frequenzkomponente erster Ordnung am stärksten auftritt, kann alternativ beim Berechnen einer Reaktion auf eine Eingabe einer rechteckigen Welle ein Amplitudenverhältnis durch Approximation als eine Funktion von nur der Frequenzkomponente erster Ordnung berechnet werden. Das Amplitudenverhältnis kann gleichermaßen für eine dreieckige Welle, einen Befehl, der eine andere periodische Vibration simuliert, und dergleichen berechnet werden.

[0060] In Schritt S2 in **Fig.** 7 bestimmt die Einstellungssucheinheit 102b unter Verwendung der in Schritt S7 berechneten Vibrationsamplitude A' anstelle der eingestellten Vibrationsamplitude A, ob die Spanbruchbedingung erfüllt ist.

[0061] **Fig.** 8 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben eines zweiten Beispiels von Betriebsweisen der in **Fig.** 5 gezeigten Einstellungssucheinheit 102b. In dem in **Fig.** 7 gezeigten ersten Beispiel wird die tatsächliche Vibrationsamplitude A' berechnet, bevor bestimmt wird, ob die Spanbruchbedingung erfüllt ist. In dem in **Fig.** 8 gezeigten zweiten Beispiel korrigiert jedoch, nachdem eine Antriebseinstellung gefunden ist, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, die Einstellungssucheinheit 102b die Vibrationsamplitude basierend auf dem Maschinenmodell 105, bevor die Antriebseinstellung als die tatsächliche Antriebseinstellung ausgegeben wird (Schritt S8). Nachdem die Vibrationsamplitude A und die Vibrationsfrequenz ω_v, welche die Spanbruchbedingung erfüllen, gefunden sind, berechnet die Einstellungssucheinheit 102b insbesondere eine korrigierte Vibrationsamplitude A'' durch Multiplizieren der Vibrationsamplitude A mit dem Reziproken von Formel (9), sodass die Vibrationsamplitude zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 mit der Vibrationsamplitude A übereinstimmt. In Schritt S6 gibt die Einstellungssucheinheit 102b die tatsächliche Antriebseinstellung aus, welche die korrigierte Vibrationsamplitude A'' umfasst.

[0062] In dem obigen Beispiel wird außerdem der Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude basierend auf dem Befehlswert der Vibrationsamplitude unter Verwendung der Formel berechnet, das Verfahren des Schätzens des Werts der tatsächlichen Vibrationsamplitude ist jedoch nicht auf das obige Beispiel begrenzt. Bei-

spielsweise kann die Einstellungssucheinheit 102b den Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude unter Verwendung einer Formel, einer Datentabelle oder dergleichen experimentell schätzen, welche den Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude approximiert, welche für den Befehlswert der Vibrationsamplitude experimentell hergeleitet ist. Zudem kann die Einstellungssucheinheit 102b das Amplitudenverhältnis, statt durch Formel (7), berechnen durch Durchführen einer Umwandlung eines diskreten Systemmodells, welches durch eine Differenzengleichung beschrieben ist, in ein stetiges System unter Verwendung einer Wandlungsformel zum Wandeln eines diskreten Systemmodells in ein stetiges Systemmodell, welche bilineare Transformation oder Tustin-Transformation genannt wird. Zudem kann der Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude unter Verwendung eines anderen existierenden Algorithmus zum Berechnen der Vibrationsamplitude berechnet werden. Alternativ kann die Einstellungssucheinheit 102b eine Reaktionswellenform basierend auf dem Modell durch Durchführen einer numerischen Simulation berechnen und ein Amplitudenverhältnis basierend auf der durch die Simulation erhaltenen Reaktionswellenform berechnen.

[0063] **Fig.** 9 ist ein Diagramm, welches einen experimentell hergeleiteten Zusammenhang einer Reaktionsamplitude für einen Befehlswert einer Vibrationsamplitude zeigt. **Fig.** 9 ist ein Diagramm, welches Bode-Diagramm genannt wird und erhalten wird durch Befehlen eines Sinussignals oder eines Zufallsrauschens, dessen Frequenz sich stetig ändert, zu dem Servomotor und Messen einer Vibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 zu der Zeit unter Verwendung eines Beschleunigungssensors, eines Verschiebungssensors oder dergleichen. In dieser Zeichnung ist an jeder Frequenz ein Verhältnis einer ausgegebenen Amplitude zu einer eingegebenen Amplitude berechnet. 0 dB bedeutet jedoch, dass die eingegebene Amplitude mit der ausgegebenen Amplitude übereinstimmt, die Verstärkung, die größer als 0 dB ist, bedeutet, dass die ausgegebene Amplitude größer als die eingegebene Amplitude ist, und die Verstärkung, die kleiner als 0 dB ist, bedeutet, dass die ausgegebene Amplitude kleiner als die eingegebene Amplitude ist. Unter Verwendung des Bode-Diagramms kann die tatsächliche Vibrationsamplitude für den Befehlswert der eingegebenen Vibrationsamplitude ohne Verwenden einer numerischen Berechnung berechnet werden. Beispielsweise können die Eigenschaften des Bode-Diagramms durch die Formel approximiert werden oder der tatsächliche Wert der Vibrationsamplitude kann unter Verwendung des Bode-Diagramms als Tabellendaten für das Maschinenmodell 105 berechnet werden.

[0064] Wie oben beschrieben ist, sucht in dem Informationsverarbeitungsgerät 1b gemäß der zweiten Ausführungsform die Einstellungssucheinheit 102b basierend auf der Vibrationsamplitude, welche unter Verwendung des Maschinenmodells 105 geschätzt wird, welches die tatsächliche Vibrationsamplitude an der Position der Spitze des Werkzeugs 304 basierend auf dem Antriebswellenbefehl für die Welle schätzt, nach der Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt. Anstelle des Befehlswerts der Vibrationsamplitude kann das Bestimmen, ob der geschätzte Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude die Spanbruchbedingung erfüllt, zuverlässiger die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass ein Spanbruch beim Durchführen eines Vibrationsschneidens unter Verwendung der Werkzeugmaschine 3 auftritt.

Dritte Ausführungsform.

[0065] **Fig.** 10 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgerät 1c gemäß einer dritten Ausführungsform zeigt. Das Informationsverarbeitungsgerät 1c ist ein Beispiel des Antriebseinstellung-Bestimmungsgeräts. Das Informationsverarbeitungsgerät 1c umfasst eine Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100c und eine Einstellungssucheinheit 102c.

[0066] Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100c bezieht die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Vibrationsreferenzeinstellung 12, die Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich 13 und die Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 als die Sucheinstellung.

[0067] Die Einstellungssucheinheit 102c sucht unter Verwendung eines Maschinenmodells 105c und einer Evaluationsfunktion 106 nach einer Antriebseinstellung.

[0068] **Fig.** 11 ist ein Diagramm, welches ein Beispiel des in **Fig.** 10 gezeigten Maschinenmodells 105c zeigt. Das Maschinenmodell 105c unterscheidet sich von dem Maschinenmodell 105 der zweiten Ausführungsform dadurch, dass das Maschinenmodell 105c ein Maschinenendeübertragungsfunktionsmodell Gm (s) umfasst. In der normalen rückgekoppelten Steuerung wird eine Steuerung so durchgeführt, dass eine durch einen Detektor detektierte Position mit einer Befehlsposition übereinstimmt. In dem Fall der Werkzeugmaschine 3, welche das Vibrationsschneiden durchführt, ist die Vibrationsamplitude tatsächlich für die Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 zu steuern. Es ist jedoch schwierig, einen Detektor anzubringen, welcher eine Relativverschiebung zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück

303 detektiert. Daher wird eine rückgekoppelte Steuerung unter Verwendung eines Detektors durchgeführt, welcher an dem Servomotor 305 angebracht ist, und die tatsächliche Relativvibration zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 wird unter Verwendung des Maschinenendeübertragungsfunktionsmodells Gm(s) geschätzt.

[0069] Ein Maschinenendemodell wird beispielsweise mit einem Beschleunigungssensor, welcher jeweils in dem Werkzeug 304 und in dem Werkstück 303 installiert ist, gemessen. Beispielsweise wird das Bode-Diagramm gezeichnet, in welchem ein Beschleunigungssignal durch zweifaches Differenzieren eines Detektorsignals zu der Zeit des Antreibens eines Motors eingegeben wird und eine Relativbeschleunigung ausgegeben wird, und eine Übertragungsfunktion kann durch Kurvenregression identifiziert werden, eine Übertragungsfunktion kann verwendet werden, welche basierend auf einem Modell einer Struktur der Werkzeugmaschine 3 durch ein Finites-Elemente-Verfahren (FEM) berechnet wird, oder ein Zustandsraummodell, welches aus einer Elementsynthesematrix eines FEM-Modells ausgegeben wird, kann verwendet werden.

[0070] **Fig.** 12 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben von Betriebsweisen der in **Fig.** 10 gezeigten Einstellungssucheinheit 102c. Die Einstellungssucheinheit 102c stellt zuerst die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12 ein (Schritt S1). Danach schätzt die Einstellungssucheinheit 102c die tatsächliche Vibrationsamplitude unter Verwendung des Maschinenmodells 105c (Schritt S7). Die Einstellungssucheinheit 102c bestimmt, ob die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung die Spanbruchbedingung erfüllen (Schritt S2). Dabei verwendet die Einstellungssucheinheit 102c die in Schritt 7 geschätzte tatsächliche Vibrationsamplitude als die Vibrationsamplitude der Vibrationseinstellung.

[0071] Wenn die Spanbruchbedingung nicht erfüllt ist (Schritt S2: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102c, ob die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3). Wenn die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102c die Vibrationsamplitude innerhalb des Vibrationsamplitude-Suchbereichs (Schritt S4) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S7 zurück.

[0072] Wenn die Vibrationsamplitude nicht angepasst werden kann (Schritt S3: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102c, ob die Vibrationsfrequenz angepasst werden kann (Schritt S9). Wenn die Vibrationsfrequenz angepasst werden kann (Schritt S9: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102c die Vibrationsfrequenz innerhalb des Vibrationsfrequenz-Suchbereichs (Schritt S5) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S7 zurück.

[0073] Wenn die Vibrationsfrequenz nicht angepasst werden kann (Schritt S9: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102c, ob die Spindelgeschwindigkeit angepasst werden kann (Schritt S10). Wenn die Spindelgeschwindigkeit angepasst werden kann (Schritt S10: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102c die Spindelgeschwindigkeit innerhalb eines Umdrehungsgeschwindigkeit-Suchbereichs (Schritt S11) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S7 zurück.

[0074] Wenn die Spindelgeschwindigkeit nicht angepasst werden kann (Schritt S10: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102c, ob der Vorschub angepasst werden kann (Schritt S12). Wenn der Vorschub angepasst werden kann (Schritt S12: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102c den Vorschub innerhalb des Vorschub-Suchbereichs (Schritt S13) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S7 zurück.

[0075] Wenn der Vorschub nicht angepasst werden kann (Schritt S12: nein), wird ein Scheitern der Suche ausgegeben (Schritt S14) und die Verarbeitung endet.

[0076] Wenn die Spanbruchbedingung erfüllt ist (Schritt S2: ja), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102c dann, ob die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung eine erste Evaluationsfunktion erfüllen (Schritt S15). Wenn die erste Evaluationsfunktion nicht erfüllt ist (Schritt S15: nein), schreitet die Einstellungssucheinheit 102c zur Verarbeitung von Schritt S3 voran. Wenn die erste Evaluationsfunktion erfüllt ist (Schritt S15: ja), gibt die Einstellungssucheinheit 102c die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als die tatsächliche Antriebseinstellung aus (Schritt S6).

[0077] Vorliegend ist die erste Evaluationsfunktion eine Funktion zum Evaluieren der gesuchten Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung. Selbst wenn die gesuchte Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung die Spanbruchbedingung erfüllen, ist es, wenn die Maschinenbearbeitung zu viel Zeit erfordert oder die Werkzeugmaschine 3 einer exzessiven Last unterliegt, nicht bevorzugt, eine

Maschinenbearbeitung unter Verwendung einer solchen gesuchten Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung durchzuführen. Daher verwendet das Informationsverarbeitungsgerät 1c die Evaluationsfunktion, um zu bestimmen, ob eine Kombination aus der gesuchten Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung geeignet ist. Die erste Evaluationsfunktion wird durch eine lineare Summe von mindestens einem Element aus einer zur Erzeugung einer Vibration erzeugten elektrischen Energie, einer Vibrationsbeschleunigung, einer Maschinenbearbeitungsdauer, eines Schnittvolumens, einer maximalen Maschinenbearbeitungslast, einer mechanischen Abnutzungsmenge und einer akkumulierten Vibrationsschneidedauer repräsentiert. Beispielsweise kann die erste Evaluationsfunktion „V>100“ sein, welche ein Schnittvolumen V(mm^3/min) verwendet. Das Schnittvolumen V kann durch Formel (11) unten unter Verwendung einer Spindelgeschwindigkeit S, eines Vorschubs pro Zahn F und einer radialen Schnitttiefe h und eines Durchmessers R (mm) des Werkstücks 303 ausgedrückt werden.
Formel 11:

$$V = 2\pi RhFS \qquad (11)$$

[0078] In der ersten Evaluationsfunktion kann die Spindelgeschwindigkeit einfach größer oder gleich der unteren Grenze sein oder der Vorschub kann größer oder gleich der unteren Grenze sein. Alternativ kann die erste Evaluationsfunktion eine Kombination davon sein.

[0079] Wie für die Vibrationsamplitude in der ersten Ausführungsform beschrieben ist, ist zu beachten, dass in dem Schritt des Änderns einer jeweiligen Einstellung innerhalb des Suchbereichs der in der jeweiligen Einstellung enthaltene Wert durch einen konstanten Wert von der unteren Grenze zu der oberen Grenze des Suchbereichs geändert werden kann. In diesem Fall kann in dem Schritt des Bestimmens, ob die jeweilige Einstellung angepasst werden kann, die Bestimmung, ob die jeweilige Einstellung angepasst werden kann, basierend darauf bestimmt werden, ob der geänderte Wert die obere Grenze übersteigt. In diesem Fall wird in Schritt S5 der Wert der Vibrationsamplitude auf die untere Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs geändert, wird in Schritt S11 der Wert der Vibrationsamplitude wird auf die untere Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs geändert und wird der Wert der Vibrationsfrequenz auf die untere Grenze des Vibrationsfrequenz-Suchbereichs geändert, und wird in Schritt S13 der Wert der Vibrationsamplitude auf die untere Grenze des Vibrationsamplitude-Suchbereichs geändert, wird der Wert der Vibrationsfrequenz auf die untere Grenze des Vibrationsfrequenz-Suchbereichs geändert und wird der Wert der Spindelgeschwindigkeit auf die untere Grenze des Umdrehungsgeschwindigkeit-Suchbereichs geändert. Dies ermöglicht die Suche nach der Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung und die erste Evaluationsfunktion erfüllt, während ein jeweiliger in der Maschinenbearbeitungseinstellung und der Vibrationseinstellung enthaltener Wert von der unteren Grenze zu der oberen Grenze des Suchbereichs geändert wird.

[0080] In der dritten Ausführungsform scheitert in einigen Fällen gelegentlich die Suche, weil die Evaluation unter Verwendung der ersten Evaluationsfunktion durchgeführt wird. Wenn die Antriebseinstellung, welche sowohl die Spanbruchbedingung als auch die erste Evaluationsfunktion erfüllt, nicht gefunden wird, wird einem Nutzer in Schritt S14 das Scheitern der Suche mitgeteilt. In diesem Fall kann der Nutzer den Suchbereich neu einstellen und die Suche erneut durchführen.

[0081] Es ist zu beachten, dass in **Fig.** 12 die Suche endet, wenn eine Antriebseinstellung gefunden wird, welche sowohl die Spanbruchbedingung als auch die erste Evaluationsfunktion erfüllt, jedoch können mehrere Kandidaten der tatsächlichen Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllen, innerhalb des gesamten Suchbereichs gesucht werden, und die tatsächliche Antriebseinstellung kann aus den mehreren Kandidaten basierend auf der ersten Evaluationsfunktion bestimmt werden. Wenn in diesem Fall die mehreren Kandidaten vorhanden sind, ist es möglich, eine Einstellung aus den mehreren Kandidaten zu verwenden, welche für die Maschinenbearbeitung geeignet ist.

[0082] Wie oben beschrieben ist, kann gemäß dem Informationsverarbeitungsgerät 1c gemäß der dritten Ausführungsform die Einstellungssucheinheit 102c nach einem Kandidaten für die tatsächliche Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, suchen und basierend auf der ersten Evaluationsfunktion zum Evaluieren eines Schneidens unter Verwendung des gesuchten Kandidaten bestimmen, ob der gesuchte Kandidat als die tatsächliche Antriebseinstellung anzuwenden ist. Selbst wenn die Spanbruchbedingung erfüllt ist, ist es daher möglich, zu verhindern, dass als die tatsächliche Antriebseinstellung eine Einstellung verwendet wird, mit welcher die Evaluation des Schneidens niedrig ist, beispielsweise eine Einstellung, mit welcher das Schneiden zu viel Zeit erfordert oder die Werkzeugmaschine 3 einer exzessiven Last unterliegt.

[0083] Zudem kann die erste Evaluationsfunktion eine Funktion sein, welche durch eine lineare Summe aus mindestens einem Parameter aus einer zur Erzeugung einer Vibration erforderlichen Energie, einer Vibrationsbeschleunigung, einer Maschinenbearbeitungsdauer, eines Schnittvolumens, einer maximalen Maschinenbearbeitungslast, einer mechanischen Abnutzungsmenge und einer akkumulierten Vibrationsschneidedauer repräsentiert ist. Dies ermöglicht die Evaluation des Schneidens basierend auf diesen Parametern.

[0084] Wenn beispielsweise die Masse der zum Durchführen des Vibrationsschneidens verwendeten Welle als M betrachtet wird, wird die zum Erzeugen der Vibration erforderliche Energie durch „$1/2MA^2\omega_V^2$“ berechnet, wenn sie durch die Vibrationsenergie ausgedrückt ist. Alternativ kann als eine zum Erzeugen der Vibration erforderliche Energie ein Wert verwendet werden, welcher durch Wandeln der oben beschriebenen Vibrationsenergie in elektrische Energie erhalten wird. In diesem Fall kann als die zum Erzeugen der Vibration erforderliche Energie ein Wert verwendet werden, welcher erhalten wird durch Dividieren der Vibrationsenergie durch einen Koeffizienten, welcher die Effizienz des Wandels der elektrischen Energie in die Vibrationsenergie repräsentiert. Betreffend die Maschinenbearbeitungsdauer kann die Maschinenbearbeitungsdauer „L/SF“ berechnet werden durch Berechnen einer Wellenbewegungsmenge pro Minute SF basierend auf dem Vorschub pro Umdrehung F und der Spindelgeschwindigkeit S und Dividieren einer Gesamtmaschinenbearbeitungslänge L, entlang welcher das Vibrationsschneiden durchgeführt wird, durch die Wellenbewegungsmenge pro Minute SF. Eine maximale Maschinenbearbeitungslast wird durch „$K_CAF/1000$“ unter Verwendung einer bestimmten Schneidkraft (oder einem bestimmten Schneidwiderstand K_C) K_C berechnet, welche basierend auf physikalischen Materialeigenschaften des Werkstücks 303 bestimmt wird. Zudem wird die mechanische Abnutzungsmenge berechnet durch Akkumulieren einer Vibrationsschneidedauer soweit und Multiplizieren der akkumulierten Vibrationsschneidedauer mit einem experimentell bestimmten Koeffizienten.

[0085] Kombinieren dieser Evaluationswerte ermöglicht zudem eine Entwicklung einer flexibleren Evaluationsfunktion. Beispielsweise kann beim Suchen nach einer optimalen Einstellung für sowohl die Maschinenbearbeitungsdauer als auch die Vibrationsenergie eine Evaluationsfunktion Z als eine lineare Summe aus zwei Evaluationsfunktionen mit Koeffizienten P_1 und P_2 berechnet werden, wie durch Formel (12) unten ausgedrückt ist. Jedoch können die Koeffizienten P_1 und P_2 eine beliebige vorbestimmte reale Zahl annehmen.
Formel 12:

$$Z = P_1 \frac{1}{2MA^2\omega_V^2} + P_2 \frac{L}{SF} \qquad (12)$$

[0086] Wenn die Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung und die erste Evaluationsfunktion erfüllt, in der ersten Ausführungsform nicht in dem eingestellten Suchbereich gefunden wird, wird dem Nutzer zudem das Scheitern der Suche mitgeteilt. Daher kann der Nutzer die Sucheinstellung ändern und eine Suche nach der Antriebseinstellung erneut durchführen.

[0087] Obwohl gemäß der obigen Beschreibung der Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude basierend auf dem Befehlswert der Vibrationsamplitude unter Verwendung des Maschinenmodells 105 geschätzt wird, kann ein Modell künstlicher Intelligenz (KI) anstelle des Maschinenmodells 105c, welches ein physikalisches Phänomen simuliert, verwendet werden. **Fig.** 13 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts 1c-2 gemäß einem Modifikationsbeispiel der dritten Ausführungsform zeigt. Das Informationsverarbeitungsgerät 1c-2, welches in **Fig.** 13 gezeigt ist, unterscheidet sich von dem Informationsverarbeitungsgerät 1c dadurch, dass das Informationsverarbeitungsgerät 1c-2 eine Einstellungssucheinheit 102c-2 umfasst, welche einen tatsächlichen Wert basierend auf einem Befehlswert einer Vibrationsamplitude unter Verwendung eines KI-Modells 107 anstelle des Maschinenmodells 105c schätzt. Das KI-Modell 107 ist ein gelerntes Modell, welches die tatsächliche Vibrationsamplitude an der Position der Spitze des Werkzeugs 304 als Reaktion auf einen Empfang, als Eingaben, des Befehlswerts der Vibrationsamplitude, der Spindelgeschwindigkeit, der Vorschubrate pro Zahn und der Vibrationsfrequenz ausgibt. Das KI-Modell 107 kann beispielsweise ein Modell sein, welches durch künstliche Intelligenz unter Verwendung eines Algorithmus gelernt wird, wie beispielsweise einem neuronalen Netz, bestärkendem Lernen oder Q-Lernen.

Vierte Ausführungsform.

[0088] **Fig.** 14 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts 1d gemäß einer vierten Ausführungsform zeigt. Das Numerische-Steuerung-Gerät 1d umfasst die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, die Maschinenbearbeitungsprogramm-Eingabeeinheit 101, eine Einstellungssucheinheit 102d und die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104.

[0089] Das Numerische-Steuerung-Gerät 1d unterscheidet sich von dem Numerische-Steuerung-Gerät 1a dadurch, dass die Eingaben in die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich 13 und der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 sind und dass das Numerische-Steuerung-Gerät 1d die Einstellungssucheinheit 102d umfasst, welche das Maschinenmodell 105 und die Evaluationsfunktion 106 als Eingabe verwendet. Es ist zu beachten, dass in dem Numerische-Steuerung-Gerät 1d die Vibrationsreferenzeinstellung nicht in den Eingaben in die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 enthalten ist. Zu Beginn der Suche ist die Suche daher von der unteren Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von der oberen Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von einem mittleren Wert des Vibrationseinstellung-Suchbereichs oder von einer voreingestellten Suchanfangseinstellung mit Parametern oder dergleichen zu starten.

[0090] **Fig.** 15 ist Ablaufdiagramm zum Beschreiben von Betriebsweisen der in **Fig.** 14 gezeigten Einstellungssucheinheit 102d. Nun wird eine Beschreibung eines Unterschieds gegenüber der in **Fig.** 12 gezeigten Einstellungssucheinheit 102c der dritten Ausführungsform gegeben. Wenn die erste Evaluationsfunktion erfüllt ist (Schritt S15: ja), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102d ferner, ob eine zweite Evaluationsfunktion erfüllt ist (Schritt S17).

[0091] Wenn die zweite Evaluationsfunktion erfüllt ist (Schritt S17: ja), kehrt die Einstellungssucheinheit 102d zu Schritt S3 zurück, um die Suche nach der Einstellung ohne Anwendung der eingestellten Einstellung fortzusetzen. Wenn die zweite Evaluationsfunktion nicht erfüllt ist (Schritt S17: nein), schreitet die Einstellungssucheinheit 102d zu Schritt S6 voran.

[0092] Zudem stellt in **Fig.** 15, wenn der Vorschub nicht angepasst werden kann (Schritt S12: nein), die Einstellungssucheinheit 102 die Antriebseinstellung, welche die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst und das Vibrationsschneiden nicht durchführt, ein (Schritt S16) und schreitet zu Schritt S6 voran.

[0093] Schritt S17 in **Fig.** 15 dient als ein Sicherheitsgerät, und die zweite Evaluationsfunktion ist so eingestellt, dass „die zweite Evaluationsfunktion erfüllt ist“ in einem Fall, in welchem „eine Anomalie auftritt, wenn das Vibrationsschneiden unter Verwendung der eingestellten Maschinenbearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung durchgeführt wird“. Beispielsweise ist die zweite Evaluationsfunktion in einem beispielhaften Fall erfüllt, in welchem die Vibrationsamplitude zu groß ist und in welchem eine Last auf die Werkzeugmaschine 3 und Lasten auf in der Werkzeugmaschine 3 bereitgestellten elektrischen Geräten zunimmt, was ein Scheitern verursachen kann. Beispiele der in der Werkzeugmaschine 3 bereitgestellten elektrischen Geräte umfassen ein Numerische-Steuerung-Gerät, ein Antriebsgerät, welches als Antriebseinheit bezeichnet wird, einen Motor, einen elektromagnetischen Schalter, ein Relais und dergleichen.

[0094] Beispiele der zweiten Evaluationsfunktion umfassen Funktionen unter Verwendung einer Vibrationsenergie H, eines Energieverbrauchs und einer Vibrationsamplitude. Zudem können verschiedene Schwellenwerte unter Verwendung derselben Funktion für die erste Evaluationsfunktion und die zweite Evaluationsfunktion bereitgestellt werden. Beispielsweise ist die erste Evaluationsfunktion so, dass eine Maschinenbearbeitungsdauer drei Minuten oder mehr ist, und die zweite Evaluationsfunktion so ist, dass eine Maschinenbearbeitungsdauer 10 Minuten oder mehr ist. In diesem Fall ist die erste Evaluationsfunktion nicht erfüllt, wenn die Maschinenbearbeitungsdauer kleiner als drei Minuten ist, und die zweite Evaluationsfunktion ist erfüllt, wenn die Maschinenbearbeitungsdauer 10 Minuten oder mehr ist. Dementsprechend wird die eingestellte Antriebseinstellung nicht ausgewählt. Daher wird die Maschinenbearbeitungseinstellung als die tatsächliche Antriebseinstellung nur ausgeben, wenn die Maschinenbearbeitungsdauer drei Minuten oder mehr und weniger als 10 Minuten ist.

[0095] Obwohl nicht in **Fig.** 14 gezeigt, kann das Numerische-Steuerung-Gerät 1d zudem eine Evaluationsfunktion-Einstellungseinheit für den Nutzer zum Einstellen einer beliebigen Einstellung als die erste Evaluationsfunktion und die zweite Evaluationsfunktion umfassen.

[0096] Gleich der ersten Evaluationsfunktion kann zudem auch die zweite Evaluationsfunktion eine Funktion sein, welche durch die lineare Summe aus mindestens einem Element aus einer zum Erzeugen einer Vibration erforderlichen elektrischen Energie, einer Vibrationsbeschleunigung, einer Maschinenbearbeitungsdauer, eines Schnittvolumens, einer maximalen Maschinenbearbeitungslast, einer mechanischen Abnutzungsmenge und einer akkumulierten Vibrationsschneidedauer repräsentiert ist.

[0097] Die erste Evaluationsfunktion ist bevorzugt eine Funktion, welche bestimmen kann, dass, wenn die erste Evaluationsfunktion erfüllt ist, das Vibrationsschneiden unter Verwendung der Antriebseinstellung, wel-

che die erste Evaluationsfunktion erfüllt, geeignet ist. Die zweite Evaluationsfunktion ist bevorzugt eine Funktion, welche bestimmen kann, dass, wenn die zweite Evaluationsfunktion erfüllt ist, es bevorzugt ist, die Antriebseinstellung nicht als die tatsächliche Antriebseinstellung anzuwenden, beispielsweise in einem Fall, in welchem eine Anomalie bei dem Vibrationsschneiden unter Verwendung der Antriebseinstellung auftritt.

[0098] Es ist zu beachten, dass, wenn die maximale Maschinenbearbeitungslast, die mechanische Abnutzungsmenge, die akkumulierte Vibrationsschneidedauer und dergleichen als die Evaluationsfunktion verwendet werden, eine Maschinenbearbeitungslast und eine Abnutzungsmenge durch Durchführen einer Maschinenbearbeitungssimulation unter Verwendung des Maschinenmodells 105 vorhergesagt werden. Als die akkumulierte Vibrationsschneidedauer ist zudem ein Speicher zum Aufzeichnen der Gesamtdauer des Durchführens eines Vibrationsschneidens bisher eingestellt. Zusätzlich zu dem Obigen kann beispielsweise eine Evaluationsfunktion verwendet werden, welche die Anzahl von Spänen verwendet, welche durch das Vibrationsschneiden in einer Umdrehung gebrochen werden können. Wenn beispielsweise die Häufigkeit, mit welcher ein Spanbruch während einer Umdrehung auftritt, zu groß ist, wird eine Last an den Servomotor 305 angelegt und im Ergebnis wird Wärme erzeugt. Wenn andererseits das Werkstück 303 mit einem großen Radius maschinenbearbeitet wird, wird, wenn die Häufigkeit, mit welcher der Spanbruch auftritt, gering ist, ein langer durchgängiger Span gebildet, mit welchem es wahrscheinlicher ist, dass er sich um das Werkzeug 304 oder dergleichen wickelt. Verwenden der Häufigkeit, mit welcher ein Spanbruch während einer Umdrehung auftritt, als eine Evaluationsfunktion ermöglicht daher eine Suche nach der Antriebseinstellung so, dass der Span mit einer geeigneten Häufigkeit gebrochen wird.

[0099] Wie oben beschrieben ist, evaluiert die Einstellungssucheinheit 102d des Numerische-Steuerung-Geräts 1d gemäß der vierten Ausführungsform einen Kandidaten für die tatsächliche Antriebseinstellung so, dass die Spanbruchbedingung erfüllt ist, basierend auf der zweiten Evaluationsfunktion zum Evaluieren, ob eine Anomalie beim Schneiden unter Verwendung des Kandidaten auftritt, und wendet den Kandidaten nicht als die tatsächliche Antriebseinstellung an, wenn evaluiert wird, dass eine Anomalie beim Schneiden unter Verwendung des Kandidaten auftritt. Dies kann eine Auswahl einer Antriebseinstellung derart, dass eine Anomalie beim Schneiden auftritt, verhindern, selbst wenn die Spannbruchbedingung erfüllt ist.

[0100] Wenn die als die tatsächliche Antriebseinstellung anzuwendende Antriebseinstellung basierend auf der zweiten Evaluationsfunktion nicht gefunden wird, kann die Einstellungssucheinheit 102d zudem als die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung bestimmen, welche die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst und das Vibrationsschneiden nicht durchführt. Wenn in diesem Fall eine Antriebseinstellung, welche basierend auf der zweiten Evaluationsfunktion so evaluiert ist, dass keine Anomalie auftritt, nicht gefunden wird, ist es möglich, dem Durchführen des Schneidens so, dass keine Anomalie auftritt, ohne Durchführen des Vibrationsschneidens Priorität einzuräumen.

Fünfte Ausführungsform.

[0101] **Fig.** 16 ist ein Diagramm, welches seine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts 1e gemäß einer fünften Ausführungsform zeigt. Das Informationsverarbeitungsgerät 1e unterscheidet sich von dem Informationsverarbeitungsgerät der dritten Ausführungsform dadurch, dass die in die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 eingegebene Information die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 und den Steuerungsparameter-Suchbereich 19 umfasst und das Informationsverarbeitungsgerät 1e anstelle der Einstellungssucheinheit 102c eine Einstellungssucheinheit 102e umfasst. Die Eingaben in das Informationsverarbeitungsgerät 1e sind die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, der Vibrationseinstellung-Suchbereich 14 und der Steuerungsparameter-Änderungsbereich 19, und die Ausgaben aus dem Informationsverarbeitungsgerät 1e sind die tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15, die tatsächliche Vibrationseinstellung 16 und der Steuerungsparameter 24. Es ist zu beachten, dass in dem Numerische-Steuerung-Gerät 1e die Vibrationsreferenzeinstellung nicht in den Eingaben in die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 umfasst ist. Zu Beginn der Suche ist daher die Suche von der unteren Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von der oberen Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von dem mittleren Wert des Vibrationseinstellung-Suchbereichs oder von der voreingestellten Suchanfangseinstellung mit Parametern oder dergleichen zu starten.

[0102] **Fig.** 17 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben von Betriebsweisen der in **Fig.** 16 gezeigten Einstellungssucheinheit 102e.

[0103] Die Einstellungssucheinheit 102e stellt die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 ein (Schritt S1e). Die Einstellungssucheinheit 102e bestimmt, ob die eingestellte Einstellung die Spanbruchbedingung

erfüllt (Schritt S2). Wenn die Spanbruchbedingung nicht erfüllt ist (Schritt S2: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102e, ob die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3). Wenn die Vibrationsamplitude angepasst werden kann (Schritt S3: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102e die Vibrationsamplitude innerhalb des Vibrationsamplitude-Suchbereichs (Schritt S4) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S2 zurück.

[0104] Wenn die Vibrationsamplitude nicht angepasst werden kann (Schritt S3: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102e, ob die Vibrationsfrequenz angepasst werden kann (Schritt S9). Wenn die Vibrationsfrequenz angepasst werden kann (Schritt S9: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102e die Vibrationsfrequenz innerhalb des Vibrationsfrequenz-Suchbereichs (Schritt S5) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S2 zurück.

[0105] Wenn die Vibrationsfrequenz nicht angepasst werden kann (Schritt S9: nein), bestimmt die Einstellungssucheinheit 102e, ob der Steuerungsparameter angepasst werden kann (Schritt S18). Wenn der Steuerungsparameter angepasst werden kann (Schritt S18: ja), ändert die Einstellungssucheinheit 102e den Steuerungsparameter innerhalb des Steuerungsparameter-Anpassungsbereichs (Schritt S19) und kehrt zu der Verarbeitung von Schritt S2 zurück.

[0106] Wenn der Steuerungsparameter nicht angepasst werden kann (Schritt S18: nein), stellt die Einstellungssucheinheit 102e eine Antriebseinstellung ein, welche die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst und das Vibrationsschneiden nicht durchführt (Schritt S16), und gibt die eingestellte Maschinenbearbeitungseinstellung, Vibrationseinstellung und den Steuerungsparameter als eine tatsächliche Antriebseinstellung aus (Schritt S6e).

[0107] Wenn die Spanbruchbedingung erfüllt ist (Schritt S2: ja), korrigiert die Einstellungssucheinheit 102e die Vibrationsamplitude basierend auf dem Maschinenmodell 105 (Schritt S8). Die Einstellungssucheinheit 102e bestimmt, ob die eingestellte Antriebseinstellung die zweite Evaluationsfunktion erfüllt (Schritt S17). Wenn die zweite Evaluationsfunktion erfüllt ist (Schritt S17: ja), schreitet die Einstellungssucheinheit 102e zu der Verarbeitung von Schritt S3 voran, und, wenn die zweite Evaluationsfunktion nicht erfüllt ist (Schritt S17: nein), schreitet die Einstellungssucheinheit 102e zu der Verarbeitung von Schritt S6e voran.

[0108] Wie in **Fig.** 17 gezeigt ist, wird in der fünften Ausführungsform der Steuerungsparameter zusätzlich zu der Vibrationseinstellung gesucht. Wenn das Maschinenmodell 105 dasselbe wie das Maschinenmodell 105 ist, welches in der dritten Ausführungsform verwendet wird, sind die Steuerungsparameter beispielsweise die Positionsschleifenverstärkung K_p, die Geschwindigkeitsschleifenverstärkung K_{vp} und die Geschwindigkeitsintegralverstärkung K_{vi}. Die Steuerungsparameter sind Parameter, welche Steuerungseigenschaften der Antriebswelle 301 bestimmen, und die Steuerungsparameter beeinflussen die Berechnung der Vibrationsamplitude, wie durch Formel (10) ausgedrückt ist. Selbst bei derselben Vibrationseinstellung variiert daher der Umstand, ob ein Spanbruch auftritt, in Abhängigkeit der Größe jedes der Steuerungsparameter. Als der zu ändernde Steuerungsparameter kann lediglich die Positionsschleifenverstärkung K_p geändert werden oder die Positionsschleifenverstärkung K_p und die Geschwindigkeitsschleifenverstärkung K_{vp} können beide geändert werden. Der zu ändernde Parameter kann vorbestimmt sein oder kann optional durch den Nutzer je Maschinenbearbeitung ausgewählt werden. Wenn beispielsweise ein von dem Maschinenmodell 105 verschiedenes Modell verwendet wird, kann außerdem in dem zu verwendenden Modell ein Steuerungsparameter, welcher die Vibrationsamplitude beeinflusst, als ein Suchziel eingestellt sein. Einstellen des Steuerungsparameters als ein Suchziel kann die Wahrscheinlichkeit erhöhen, nach einer Antriebseinstellung suchen zu können, welche den Spanbruch ermöglicht.

[0109] Wenn der Steuerungsparameter geändert wird, ist es bevorzugt, Schwellenwerte eines Phasenbereichs und eines Verstärkungsbereichs unter Verwendung der Evaluationsfunktion so zu bestimmen, dass das Steuerungssystem hinsichtlich der Änderung der Steuerungsparameter nicht instabil ist. Der Phasenbereich ist ein Bereich einer Phase ab -180 Grad, wenn die Verstärkung 0 dB in dem Steuerungssystem ist, und üblicherweise ist das Steuerungssystem stabil, wenn ein Phasenbereich von 30 Grad oder mehr gewährleistet ist. Zudem ist der Verstärkungsbereich ein Verstärkungsbereich ab 0 dB, wenn die Phase -180 Grad ist. Das Einstellen der Evaluationsfunktion auf diese Weise ermöglicht eine Suche nach einer Antriebseinstellung so, dass ein Spanbruch auftritt und gleichzeitig das Steuerungssystem stabil ist.

[0110] Wie oben beschrieben ist, ist es gemäß der fünften Ausführungsform möglich, als die tatsächliche Antriebseinstellung die Vibrationseinstellung und den Steuerungsparameter so zu bestimmen, dass ein Spanbruch auftritt und dabei die Stabilität des Steuerungssystems erhalten bleibt.

Sechste Ausführungsform.

[0111] Fig. 18 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts 1f gemäß einer sechsten Ausführungsform zeigt. Das Numerische-Steuerung-Gerät 1f unterscheidet sich von dem Numerische-Steuerung-Gerät 1d gemäß der vierten Ausführungsform dadurch, dass das Numerische-Steuerung-Gerät 1f eine Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit 113 und eine Scheiternvorhersageeinheit 114 umfasst. Die Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit 113 aktualisiert das Maschinenmodell 105c basierend auf einem tatsächlich gemessenen Wert der Vibrationsamplitude, welcher durch einen Beschleunigungssensor 306 ausgegeben wird, welcher die Vibrationsamplitude misst. Die Scheiternvorhersageeinheit 114 sagt ein Scheitern der Werkzeugmaschine 3 basierend auf einer Alterung des Maschinenmodells 105c voraus. Das Maschinenmodell 105c ist jedoch dasselbe wie das in **Fig.** 11 gezeigte Maschinenmodell 105c. Es ist zu beachten, dass in dem Numerische-Steuerung-Gerät 1f die Vibrationsreferenzeinstellung nicht in den Eingaben in die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 enthalten ist. Daher wird zu Beginn der Suche die Suche von der unteren Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von der oberen Grenze des Vibrationseinstellung-Suchbereichs, von dem mittleren Wert des Vibrationseinstellung-Suchbereichs oder von dem voreingestellten Suchanfangswert mit Parametern oder dergleichen zu starten.

[0112] Die Vibrationseigenschaften der Werkzeugmaschine 3 ändern sich aufgrund der Alterung graduell. Beispielsweise nimmt in einigen Fällen aufgrund eines Lockerwerdens einer Befestigung einer Befestigungskomponente, eines Ermüdungsbruchs eines strukturellen Elements, eines Lösens einer Vorlast eines Lagers oder eines Kugelgewindetriebs und dergleichen die Vibration der Maschinenstruktur zu. Außerdem nimmt in einigen Fällen eine Motorlast aufgrund einer Reibungszunahme zu. In einigen Fällen verursacht die kontinuierliche Durchführung des Vibrationsschneidens in einem solchen Zustand ein Scheitern der Werkzeugmaschine 3. Um eine solche Situation anzugehen, hat das Numerische-Steuerung-Gerät 1f eine Funktion des Überwachens der Alterung der Werkzeugmaschine 3 basierend auf der Differenz zwischen der durch Durchführen einer Berechnung vorhergesagten Vibrationsamplitude und der tatsächlichen Vibrationsamplitude und des Vorhersagens eines Scheiterns, bevor ein Scheitern tatsächlich auftritt. Dies ermöglicht eine Reparatur der Werkzeugmaschine 3 zu einem geeigneten Zeitpunkt.

[0113] Der Beschleunigungssensor 306 ist an der Antriebswelle 301 installiert. In **Fig.** 18 ist der Beschleunigungssensor 306 an einem Nussabschnitt des Kugelgewindetriebs angebracht. Der Beschleunigungssensor 306 kann jedoch beispielsweise an der Innenseite eines Werkzeughalters des Werkzeugs 304 angebracht sein oder kann an einem Turm angebracht sein, an welchem ein Drehmaschinenwerkzeug angebracht ist. Der Beschleunigungssensor 306 misst ein Vibrationsniveau während des Vibrationsschneidens und überträgt das Vibrationsniveau zu der Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit 113. Die Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit 113 vergleicht den berechneten Wert der basierend auf der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15 und der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16 berechneten Vibrationsamplitude mit dem tatsächlich gemessenen Wert der tatsächlichen Vibrationsamplitude. Wenn dabei eine Differenz zwischen dem berechneten Wert und dem tatsächlich gemessenen Wert aufgrund einer Änderung in den mechanischen Eigenschaften auftritt, ändert die Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit 113 Gm(s), was die Eigenschaften der Antriebswelle 301 in dem Maschinenmodell 105c simuliert. Dies kann die Vibrationsamplitude selbst dann genau schätzen, wenn sich die mechanischen Eigenschaften ändern.

[0114] Die Scheiternvorhersageeinheit 114 überwacht eine Änderungshistorie des Maschinenmodells 105c. Wenn die Änderungsmenge des Maschinenmodells 105c einen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet, bestimmt die Scheiternvorhersageeinheit 114, dass die Alterung der Werkzeugmaschine 3 einen zulässigen Wert übersteigt und ein Scheitern aufgetreten ist, und gibt eine Warnung an den Nutzer aus. Ein Verfahren des Ausgebens der Warnung ist nicht besonders begrenzt, und die Warnung kann an einem Bildschirm angezeigt werden oder durch ein Geräusch ausgegeben werden. Die Scheiternvorhersageeinheit 114 kann jedoch eine Bestimmung basierend darauf, ob die aktuelle Änderungsmenge des Maschinenmodells 105c den Schwellenwert übersteigt, vornehmen oder kann vorhersagen, dass die Änderungsmenge den Schwellenwert nach einer bestimmten Zeitdauer übersteigt, um eine Warnung im Vorhinein auszugeben.

[0115] Wie oben beschrieben ist, hat das Numerische-Steuerung-Gerät 1f gemäß der sechsten Ausführungsform die Wirkung, die Vibrationsamplitude genau schätzen zu können, selbst wenn sich die mechanischen Eigenschaften ändern, durch Ändern des Steuerungsparameters gemäß der Änderung in dem Maschinenmodell 105c aufgrund der alternden Verschlechterung der Werkzeugmaschine 3. Zudem kann das Detektieren des Auftretens eines Scheiterns oder ein Zeichen des Auftretens eines Scheiterns basierend auf der Änderungsmenge des Maschinenmodells 105c eine Reparatur oder einen Reparaturplan im Vorhinein

erstellen und eine Situation vermeiden, in welcher die Produktion aufgrund eines plötzlichen Scheiterns gestoppt wird.

Siebte Ausführungsform.

[0116] Fig. 19 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Informationsverarbeitungsgeräts 1g gemäß einer siebten Ausführungsform zeigt. Das Informationsverarbeitungsgerät 1g umfasst die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100, eine Einstellungssucheinheit 102g und eine Gelerntes-Modell-Speichereinheit 120. Die Einstellungssucheinheit 102g umfasst eine Lerndaten-Bezugseinheit 40 und eine Modellerzeugungseinheit 41.

[0117] Die Lerndaten-Bezugseinheit 40 empfängt die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 und die Vibrationsreferenzeinstellung 12 von der Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 und bezieht, als Vibrationsschneiden-Lerndaten, den Steuerungsparameter 24, eine Werkzeuginformation 30, eine Werkstückinformation 31 und eine Betriebsinformation je Welle 32. Die Werkzeuginformation 30 umfasst eine Information, welche ein Werkzeugmaterial und eine Werkzeugform angibt. Die Werkstückinformation 31 umfasst eine Information, welche das Material des Werkstücks angibt. Die Betriebsinformation je Welle 32 umfasst eine Information, welche eine Vorschubrate der jeweiligen Welle und eine Beschleunigung der jeweiligen Welle angibt.

[0118] Basierend auf den durch die Lerndaten-Bezugseinheit 40 bezogenen Vibrationsschneiden-Lerndaten verwendet die Modellerzeugungseinheit 41 das Maschinenmodell 105, ein Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 und ein Spanbruch-Bestimmungsmodell 43, um aus tatsächlichen Antriebszuständen, welche die Spanbruchbedingung erfüllen, eine tatsächliche Antriebseinstellung zu lernen, mit welcher eine Maschinenbearbeitungsqualität des Schneidens am besten ist. Das bedeutet, dass die Modellerzeugungseinheit 41 als Eingaben die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Vibrationsreferenzeinstellung 12, den Steuerungsparameter 24, die Betriebsinformation je Welle 32, die Werkstückinformation 31 und die Werkzeuginformation 30 empfängt und als Ergebnis des Lernens ein Einstellungs- und Steuerungsparameter-Suchmodell 48 ausgibt, welches eine Kombination aus der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15, der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16 und dem Steuerungsparameter 24 ausgibt, welche die Spanbruchbedingung erfüllt ist und die Maschinenbearbeitungsqualität des Schneidens Kriterien erfüllt.

[0119] Die Betriebsinformation je Welle 32 ist eine Information, welche die Betriebsposition des Motors je Welle der Werkzeugmaschine 3 angibt. Die Modellerzeugungseinheit 41 verwendet das Maschinenmodell 105, um aus der Betriebsinformation je Welle 32 und dem Steuerungsparameter 24 eine Information zu beziehen, welche die Bewegung der Maschinenstruktur angibt, welche an der jeweiligen Achse der Werkzeugmaschine 3 angebracht ist. Das bedeutet, dass das Maschinenmodell 105 als Eingaben die Betriebsinformation je Welle 32 und den Steuerungsparameter 24 empfängt und eine Information ausgibt, welche die Bewegung der Maschinenstruktur angibt, welche an der jeweiligen Welle der Werkzeugmaschine 3 angebracht ist. Zudem verwendet die Modellerzeugungseinheit 41 das Spanbruch-Bestimmungsmodell 43, um zu bestimmen, ob ein Spanbruch auftritt, d. h., um zu bestimmen, ob eine Spanbruchbedingung erfüllt ist. Das Spanbruch-Bestimmungsmodell 43 empfängt als Eingaben die Ausgabe des Maschinenmodells 105, die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und den Steuerungsparameter 24 und gibt ein Ergebnis des Bestimmens, ob ein Spanbruch auftritt, aus. Zudem verwendet die Modellerzeugungseinheit 41 das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42, um zu bestimmen, ob die Maschinenbearbeitungsqualität des Schneidens unter Verwendung der Antriebseinstellung, für welche bestimmt ist, dass ein Spanbruch auftritt, ein Kriterium erfüllt. Das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 bestimmt basierend auf der Betriebsinformation je Welle 32, ob ein Ergebnis des Maschinenbearbeitens des Werkstücks 303 gut oder schlecht ist. Das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 empfängt als Eingaben die Ausgabe des Maschinenmodells 105, die Antriebseinstellung, für welche unter Verwendung des Spanbruch-Bestimmungsmodells 43 bestimmt ist, dass eine Spanbruchbedingung erfüllt ist, die Werkstückinformation 31 und die Werkzeuginformation 30 und bestimmt die Maschinenbearbeitungsqualität basierend auf der Glattheit der Maschinenbearbeitungsoberfläche. Beispielsweise kann das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 die Maschinenbearbeitungsqualität für den Werkzeugweg unter Verwendung von Variationen oder der Maximalfehlermenge je Werkzeugweg für eine Durchschnittslinie und eine Durchschnittsebene evaluieren, welche basierend auf dem arithmetischen Mittelwert berechnet wird. Alternativ kann das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 die Maschinenbearbeitungsoberfläche unter Berücksichtigung der

Form des Werkzeugs 304 schätzen und die Maschinenbearbeitungsqualität unter Verwendung einer Hügelhöhe evaluieren, nachdem das Werkstück 303 entfernt ist.

[0120] Zudem kann ein Qualitätsbestimmungsabschnitt der Maschinenbearbeitungsoberfläche als das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 modelliert sein und in einem Lernziel enthalten sein. Das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 muss lediglich die Maschinenbearbeitungsoberfläche des Werkstücks 303 basierend auf der Relativverschiebung zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 berechnen können.

[0121] Die Relativverschiebung kann ein Befehl für den Motor, eine Motorendreaktion, welche unter Verwendung eines Modells der Motoreigenschaften berechnet wird, oder eine Maschinenendereaktion, welche unter Verwendung eines Modells von mechanischen Eigenschaften berechnet wird, sein.

[0122] Zudem kann beim Berechnen der Maschinenbearbeitungsoberfläche des Werkstücks 303 die Maschinenbearbeitungsoberfläche nur durch die Relativverschiebung zwischen dem Werkzeug 304 und dem Werkstück 303 berechnet werden, die Relativverschiebung kann mit der Form des Werkzeugs 304 bei geometrischer Berücksichtigung korrigiert werden, oder die Qualität der Maschinenbearbeitungsoberfläche kann basierend auf einer physikalischen Schnittereignistheorie mit den Materialien des Werkzeugs 304 und des Werkstücks 303 unter weiterer Berücksichtigung berechnet werden.

[0123] Das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 kann durch einen Datensatz ersetzt werden, welcher durch die tatsächliche Maschine der Werkzeugmaschine 3 bezogen wird. Beispielsweise wird zusätzlich zu der Maschinenbearbeitungseinstellung und der Vibrationseinstellung der Datensatz aus der Werkzeugform, dem Werkzeugmaterial und dem Werkstückmaterial mit der Information der Qualität der Oberfläche assoziiert, wenn diese in der Einstellung des Datensatzes maschinenbearbeitet wird, um den Datensatz zum Lernen zu erhalten.

[0124] Wie oben beschrieben ist, verwendet die Modellerzeugungseinheit 41 das Maschinenmodell, das Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell 42 und das Spanbruch-Bestimmungsmodell 43, um die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter basierend auf den oben beschriebenen Vibrationsschneiden-Lerndaten zu lernen. Das bedeutet, dass die Modellerzeugungseinheit 41 aus den oben beschriebenen Vibrationsschneiden-Lerndaten das gelernte Modell erzeugt, welches die Antriebseinstellung folgert, welche die Maschinenbearbeitungseinstellung und/oder die Vibrationseinstellung und/oder de Steuerungsparameter umfasst.

[0125] Als Nächstes wird eine Beschreibung einer Lernverarbeitung der Modellerzeugungseinheit 41 bereitgestellt. Als ein Lernalgorithmus, welcher durch die Modellerzeugungseinheit 41 verwendet wird, kann ein bekannter Algorithmus verwendet werden, wie beispielsweise überwachtes Lernen, unüberwachtes Lernen, bestärkendes Lernen oder dergleichen. Als ein Beispiel wird eine Beschreibung eines Falls bereitgestellt, in welchem bestärkendes Lernen als Lernalgorithmus angewendet wird. Bei dem bestärkenden Lernen beobachtet ein Agent, welcher ein Aktionssubjekt in einer bestimmten Umgebung ist, Umgebungsparameter, welche einen aktuellen Zustand angeben, und bestimmt eine vorzunehmende Aktion. Die Aktion des Agenten ändert die Umgebung dynamisch, und dem Agenten wird eine Belohnung gemäß der Änderung in der Umgebung gegeben. Der Agent wiederholt diesen Prozess und lernt einen Aktionsplan, welcher durch eine Reihe von Aktionen die größte Belohnung ergibt. Als repräsentative Verfahren des bestärkenden Lernens sind Q-Lernen und TD-Lernen bekannt. Im Falle des Q-Lernens wird eine typische Aktualisierungsformel einer Aktionswertfunktion Q(s,a) beispielsweise durch Formel (13) unten ausgedrückt.
Formel 13:

$$Q(s_t,a_t) \leftarrow Q(s_t,a_t) + \alpha\left(r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1},a) - Q(s_t,a_t)\right) \qquad (13)$$

[0126] In Formel (13) repräsentiert s_t einen Umgebungszustand zum Zeitpunkt t, und a_t repräsentiert eine Aktion zum Zeitpunkt t. Die Aktion a_t ändert den Zustand auf s_{t+1}. r_{t+1} repräsentiert eine Belohnung, welche durch eine Änderung in dem Zustand gegeben wird, γ repräsentiert einen Diskontierungsfaktor, und α repräsentiert eine Lernrate. Es ist zu beachten, dass γ in einem Bereich von $0<\gamma\leq 1$ ist, und α in einem Bereich von $0<\alpha\leq 1$ ist. Die Auswahl der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und des Steuerungsparameters entspricht der Aktion a_t, die Bestimmung der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Spanbruchs und die Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation entsprechen dem Zustand s_t und die beste Aktion a_t in dem Zustand s_t zum Zeitpunkt t wird gelernt.

[0127] In der Aktualisierungsformel, welche durch Formel (13) ausgedrückt ist, wird ein Aktionswert Q erhöht, wenn ein Aktionswert Q einer Aktion mit einem höchsten Q-Wert zu der Zeit t+1 größer als ein Aktionswert Q einer Aktion a ist, welche zum Zeitpunkt t durchgeführt wird, und der Aktionswert Q wird im gegenteiligen Fall reduziert. Mit anderen Worten wird die Aktionswertfunktion Q(s,a) so aktualisiert, dass sich der Aktionswert Q der Aktion a zum Zeitpunkt t dem besten Aktionswert zum Zeitpunkt t+1 annähert. Der beste Aktionswert in einer bestimmten Umgebung wird daher sequenziell zu den Aktionswerten in den vorherigen Umgebungen vorgetragen.

[0128] Wie oben beschrieben ist, umfasst, wenn die Modellerzeugungseinheit 41 das gelernte Modell durch das bestärkende Lernen erzeugt, die Modellerzeugungseinheit 41 eine Belohnungsberechnungseinheit 44 und eine Funktionsaktualisierungseinheit 45.

[0129] Die Belohnungsberechnungseinheit 44 berechnet eine Belohnung r basierend auf der Auswahl aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter, der Bestimmung der Anwesenheit oder Abwesenheit eines Spanbruchs und der Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation. Die Belohnungsberechnungskriterien sind wie folgt. Beispielsweise wird die Belohnung r erhöht (zum Beispiel eine Belohnung von „1“ gegeben), wenn die Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation verbessert wird, d. h., wenn die Variationen oder die maximale Fehlermenge in jedem oben beschriebenen Werkzeugweg reduziert werden oder wenn die Hügelhöhe reduziert wird, und andererseits wird die Belohnung r reduziert (zum Beispiel eine Belohnung von „-1“ gegeben), wenn die Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation schlechter wird. Als ein weiteres Beispiel wird zudem die Belohnung r erhöht, wenn bestimmt wird, dass ein Spanbruch auftritt, und die Belohnung r wird reduziert, wenn bestimmt wird, dass kein Spanbruch auftritt. Der Spanbruch wird zum Erreichen der Wirkung des Vibrationsschneidens benötigt, und daher wird die Belohnung r stark reduziert (zum Beispiel eine Belohnung von „-5“ gegeben), wenn bestimmt wird, dass kein Spanbruch auftritt.

[0130] Die Funktionsaktualisierungseinheit 45 aktualisiert eine Funktion zum Bestimmen der Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter gemäß der durch die Belohnungsberechnungseinheit 44 berechneten Belohnung und gibt die aktualisierte Funktion an die Gelerntes-Modell-Speichereinheit 120 aus. Beispielsweise im Falle des Q-Lernens verwendet die Funktionsaktualisierungseinheit 45 die Aktionswertfunktion $Q(s_t,a_t)$, welche durch Formel (13) ausgedrückt ist, als eine Funktion zum Berechnen der Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter.

[0131] Das wie oben beschriebene Lernen wird wiederholt ausgeführt. Die Gelerntes-Modell-Speichereinheit speichert die Aktionswertfunktion $Q(s_b,a_t)$, welche durch die Funktionsaktualisierungseinheit 45 aktualisiert wird, d. h. das gelernte Modell.

[0132] Als Nächstes wird mit Bezug zu **Fig.** 20 eine Beschreibung einer Verarbeitung des Lernens durch ein Lerngerät bereitgestellt. **Fig.** 20 ist ein Ablaufdiagramm betreffend eine Lernverarbeitung der in **Fig.** 19 gezeigten Einstellungssucheinheit 102g.

[0133] Die Lerndaten-Bezugseinheit 40 führt eine Datenbezugsverarbeitung zum Beziehen der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und des Steuerungsparameters als Lerndaten durch (Schritt S31).

[0134] Die Modellerzeugungseinheit 41 berechnet eine Belohnung basierend auf der Auswahl aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter, der Bestimmung der Anwesenheit oder Abwesenheit des Spanbruchs und der Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation (Schritt S32). Insbesondere verwendet die Belohnungsberechnungseinheit 44 jedes der oben beschriebenen Modelle, um die Bestimmung der Anwesenheit oder Abwesenheit des Spanbruchs und die Maschinenbearbeitungsoberflächenqualitätsinformation basierend auf der Auswahl der Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter zu beziehen, und bestimmt basierend auf einem vorbestimmten Belohnungsbestimmungskriterium, ob die Belohnung zu erhöhen ist oder ob die Belohnung zu reduzieren ist.

[0135] Wenn bestimmt wird, die Belohnung zu erhöhen (Schritt S32: Belohnungserhöhungskriterium), erhöht die Belohnungsberechnungseinheit 44 die Belohnung (Schritt S33). Wenn andererseits bestimmt wird, die Belohnung zu reduzieren (Schritt S32: Belohnungsreduzierungskriterium), reduziert die Belohnungsberechnungseinheit 44 die Belohnung (Schritt S34).

[0136] Die Funktionsaktualisierungseinheit 45 aktualisiert die Aktionswertfunktion $Q(s_t,a_t)$, welche durch Formel (13) ausgedrückt ist und in der Gelerntes-Modell-Speichereinheit 120 gespeichert ist, basierend auf der durch die Belohnungsberechnungseinheit 44 berechneten Belohnung (Schritt S35).

[0137] Die Einstellungssucheinheit 102g führt die obigen Schritte von Schritt S31 bis Schritt S35 wiederholt aus und speichert die erzeugte Aktionswertfunktion $Q(s_t,a_t)$ als das gelernte Modell.

[0138] Wie oben beschrieben ist, speichert das Informationsverarbeitungsgerät 1g gemäß der siebten Ausführungsform das gelernte Modell in der Gelerntes-Modell-Speichereinheit 120, welche innerhalb des Informationsverarbeitungsgeräts 1g bereitgestellt ist, die Gelerntes-Modell-Speichereinheit 120 kann jedoch außerhalb des Informationsverarbeitungsgeräts 1g angeordnet sein.

[0139] Das Informationsverarbeitungsgerät 1g gemäß der siebten Ausführungsform lernt ein Maschinenbearbeitungsphänomen, welches mit einem komplizierten Phänomen assoziiert ist, durch künstliche Intelligenz unter Verwendung von Information während des Maschinenbearbeitens und hat daher eine Wirkung, dass selbst ein Bediener, welcher keine Maschinenbearbeitungskenntnisse hat, einfach eine optimale Spanbruchbedingung finden kann.

[0140] Außerdem kann als ein in der Modellerzeugungseinheit 41 verwendeter Lernalgorithmus Deep-Learning, welches eine Extraktion einer Merkmalsmenge selbst lernt, verwendet werden, und maschinelles Lernen kann gemäß anderen bekannten Verfahren ausgeführt werden, beispielsweise einem neuronalen Netz, genetischer Programmierung, Funktionallogikprogrammierung, Supportvektormaschine und dergleichen.

[0141] Zudem kann die Modellerzeugungseinheit 41 die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter unter Verwendung von Teilen von Lerndaten lernen, welche von mehreren Numerische-Steuerung-Geräten bezogen werden. Es ist zu beachten, dass die Modellerzeugungseinheit 41 die Teile von Lerndaten von den mehreren Numerische-Steuerung-Geräten beziehen kann, welche in demselben Bereich verwendet werden, oder die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter unter Verwendung der Teile von Lerndaten lernen kann, welche von den mehreren Numerische-Steuerung-Geräten gesammelt werden, welche unabhängig in verschiedenen Bereichen arbeiten. Zudem kann das Numerische-Steuerung-Gerät, von welchem Lerndaten gesammelt werden, zwischendurch zu Zielobjekten hinzugefügt oder von diesen entfernt werden. Zudem kann ein Informationsverarbeitungsgerät, welches die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter für ein bestimmtes Numerische-Steuerung-Gerät gelernt hat, auf ein Numerische-Steuerung-Gerät angewendet werden, welches von dem bestimmten Numerische-Steuerung-Gerät verschieden ist, und die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter kann neu erlernt und für das Numerische-Steuerung-Gerät aktualisiert werden, welches von dem bestimmten Numerische-Steuerung-Gerät verschieden ist.

Achte Ausführungsform.

[0142] Fig. 21 ist ein Diagramm, welches eine funktionale Konfiguration eines Numerische-Steuerung-Geräts 1h gemäß einer achten Ausführungsform zeigt. In der achten Ausführungsform wird unter Verwendung des in der siebten Ausführungsform erzeugten gelernten Modells eine Folgerung durchgeführt. Eine Einstellungssucheinheit 102h umfasst eine Folgerungsdaten-Bezugseinheit 46 und eine Folgerungseinheit 47.

[0143] Die Folgerungsdaten-Bezugseinheit 46 bezieht als Folgerungsdaten die Vibrationsschneiden-Lerndaten.

[0144] Die Folgerungseinheit 47 verwendet das gelernte Modell, um die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter aus den Folgerungsdaten zu folgern. Das bedeutet, dass die Folgerungseinheit 47 die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter folgern kann, bei welcher der Span gebrochen wird und gleichzeitig eine gute Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität erhalten werden kann, durch Eingeben der durch die Folgerungsdaten-Bezugseinheit 46 bezogenen Vibrationsschneiden-Lerndaten in das Einstellung- und Steuerungsparameter-Suchmodell 48, welches das gelernte Modell ist.

[0145] Als ein Verfahren zum Beziehen des gelernten Modells kann das gelernte Modell aus einem externen Gerät bezogen werden, welches von dem Numerische-Steuerung-Gerät 1h verschieden ist, beispielsweise einem externen Personalcomputer, einem Speicherbereich auf einem Netzwerk oder dergleichen, und die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter kann basierend auf dem bezogenen gelernten Modell ausgegeben werden.

[0146] Es ist zu beachten, dass in der vorliegenden Ausführungsform angenommen wird, dass die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter unter Verwendung des gelernten Modells, welches durch die Modellerzeugungseinheit 41 des Informationsverarbeitungsgeräts gelernt wird, ausgegeben wird. Jedoch kann ein gelerntes Modell verwendet werden, welches durch Durchführen des Lernens unter Verwendung der Modellerzeugungseinheit 41 erzeugt wird, welche in dem Numerische-Steuerung-Gerät 1h gebildet ist.

[0147] Als Nächstes wird eine Beschreibung einer Verarbeitung zum Erhalten der Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter bereitgestellt.

[0148] Zuerst bezieht die Folgerungsdaten-Bezugseinheit 46 die Vibrationsschneiden-Lerndaten. Dabei ist es ausreichend, dass die Vibrationsschneiden-Lerndaten zumindest die Vibrationsreferenzeinstellung 12 und die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11, wie oben beschrieben, umfassen, es ist jedoch zu erwarten, dass die Genauigkeit der Folgerung durch Hinzufügen von davon verschiedener Information verbessert wird.

[0149] Als Nächstes gibt die Folgerungseinheit 47 Vibrationsschneiden-Lerndaten, welche Folgerungsdaten sind, in das Einstellungs- und Steuerungsparameter-Suchmodell 48, welches das bezogene gelernte Modell ist, ein und erhält die Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter. Die Folgerungseinheit 47 gibt die erhaltene Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter an die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 aus.

[0150] Dann erzeugt die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 einen Antriebswellenbefehl und einen Spindelbefehl durch Verwenden der ausgegebenen Kombination aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung und dem Steuerungsparameter und gibt den Antriebswellenbefehl und den Spindelbefehl an die Antriebseinheit 2 aus (in **Fig.** 21 nicht gezeigt). Dies ermöglicht, dass das Vibrationsschneiden in einer optimalen Einstellung durchgeführt wird, welche durch das gelernte Modell geschätzt wird und welche sowohl den Spanbruch als auch eine gute Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität erreicht.

[0151] **Fig.** 22 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben einer Folgerungsverarbeitung durch das in **Fig.** 21 gezeigte Numerische-Steuerung-Gerät 1h.

[0152] Die Folgerungsdaten-Bezugseinheit 46 bezieht die oben beschriebenen Vibrationsschneiden-Lerndaten als die Folgerungsdaten (Schritt S41).

[0153] Die Folgerungseinheit 47 gibt die Vibrationsschneiden-Lerndaten, welche die Folgerungsdaten sind, in das gelernte Modell ein (Schritt S42) und erhält eine Kombination aus der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15, der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16 und dem Steuerungsparameter 24. Die Folgerungseinheit 47 führt eine Datenausgabeverarbeitung zum Ausgeben der erhaltenen Kombination aus der tatsächlichen Maschinenbearbeitungseinstellung 15, der tatsächlichen Vibrationseinstellung 16 und dem Steuerungsparameter 24 zu der Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 durch (Schritt S43).

[0154] Die Befehlswert-Erzeugungseinheit 104 erzeugt einen Befehlswert unter Verwendung eines Folgerungsergebnisses (Schritt S44).

[0155] Es ist zu beachten, dass in der oben beschriebenen vorliegenden Ausführungsform das bestärkende Lernen als der Lernalgorithmus verwendet wird, welcher in der Folgerungseinheit 47 verwendet wird. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht begrenzt. Als der Lernalgorithmus können zusätzlich zu dem bestärkenden Lernen überwachtes Lernen, unüberwachtes Lernen, halbüberwachtes Lernen oder dergleichen verwendet werden.

[0156] Das oben beschriebene Numerische-Steuerung-Gerät 1h gemäß der achten Ausführungsform hat eine Wirkung, dass der Bediener das optimale Vibrationsschneiden durchführen kann, ohne eine Maschinen-

bearbeitungseinstellung zu bestimmen, wenn das Vibrationsschneiden unter Verwendung eines durch künstliche Intelligenz gelernten Modells durchgeführt wird.

[0157] Als Nächstes wird eine Beschreibung einer Hardwarekonfiguration jedes der Numerische-Steuerung-Geräte 1a, 1d, 1f und 1h gemäß der ersten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform bereitgestellt. Funktionale Einheiten, welche in den Numerische-Steuerung-Geräten 1a, 1d, 1f und 1h enthalten sind, sind unter Verwendung von Teilen einer Verarbeitungsschaltung implementiert. Die Teile einer Verarbeitungsschaltung können durch dedizierte Hardware implementiert sein oder können eine Steuerungsschaltung unter Verwendung einer zentralen Verarbeitungseinheit (CPU) sein.

[0158] Wenn die oben beschriebenen Teile einer Verarbeitungsschaltung durch dedizierte Hardware implementiert sind, sind die Teile einer Verarbeitungsschaltung jeweils unter Verwendung einer Verarbeitungsschaltung 90 implementiert, welche in **Fig.** 23 gezeigt ist. **Fig.** 23 ist ein Diagramm, welches eine dedizierte Hardware zum Implementieren der Funktionen jedes der Numerische-Steuerung-Geräte 1a, 1d, 1f und 1h gemäß der ersten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform zeigt. Die Verarbeitungsschaltung 90 ist eine einzige Schaltung, eine kombinierte Schaltung, ein programmierter Prozessor, ein parallel-programmierter Prozessor, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), ein Field Programmable Gate Array (FPGA) oder eine Kombination davon.

[0159] Wenn die obige Verarbeitungsschaltung durch eine Steuerungsschaltung unter Verwendung der CPU implementiert ist, ist diese Steuerungsschaltung beispielsweise eine Steuerungsschaltung 91 mit einer Konfiguration, die in **Fig.** 24 gezeigt ist. **Fig.** 24 ist ein Diagramm, welches eine Konfiguration der Steuerungsschaltung 91 zum Implementieren der Funktion jedes der Numerische-Steuerung-Geräte 1a, 1d, 1f und 1h gemäß der ersten, vierten, sechsten und achten Ausführungsform zeigt. Wie in **Fig.** 24 gezeigt ist, umfasst die Steuerungsschaltung 91 einen Prozessor 92 und einen Speicher 93. Der Prozessor 92 ist die CPU und ist beispielsweise auch als eine Verarbeitungseinheit, eine Berechnungseinheit, ein Mikroprozessor, ein Microcomputer und ein digitaler Signalprozessor (DSP) bekannt. Der Speicher 93 ist beispielsweise ein nichtflüchtiger oder flüchtiger Halbleiterspeicher, wie beispielsweise ein Direktzugriffsspeicher (RAM), ein nur lesbarer Speicher (ROM), ein Flash-Speicher, ein Erasable Programmable ROM (EPROM) oder ein Electrically EPROM (EEPROM, registrierte Marke), eine magnetische Diskette, eine flexible Diskette, eine optische Disk, eine Compact Disk, eine Mini-Disk, eine Digital Versatile Disk (DVD) oder dergleichen.

[0160] Wenn die oben beschriebene Verarbeitungsschaltung unter Verwendung der Steuerungsschaltung 91 implementiert ist, ist die obige Verarbeitungsschaltung durch den Prozessor 92 implementiert, welcher ein Programm liest und ausführt, welches der Verarbeitung jeder strukturellen Komponente entspricht und in dem Speicher 93 gespeichert ist. Zudem wird der Speicher 93 als ein temporärer Speicher verwendet, wenn der Prozessor 92 diverse Verarbeitungen ausführt.

[0161] Als Nächstes wird eine Beschreibung einer Hardwarekonfiguration jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g der vorliegenden Ausführungsform bereitgestellt. Wenn die Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g von dem Numerische-Steuerung-Gerät separate Geräte sind, ist jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g der vorliegenden Ausführungsform durch beispielsweise ein Computersystem implementiert. Jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g kann durch ein einzelnes Computersystem implementiert sein oder kann durch mehrere Computersysteme implementiert sein. Beispielsweise kann jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g durch ein Cloudsystem implementiert sein. In dem Cloudsystem ist es möglich, eine Trennung zwischen Hardware des Computersystems und einem Gerät, wie beispielsweise einem Server, für jede Funktion optional einzustellen. Beispielsweise kann ein einzelnes Computersystem eine Funktion als mehrere Geräte haben oder mehrere Computersysteme können eine Funktion als ein einzelnes Gerät haben.

[0162] Eine Beschreibung einer beispielhaften Konfiguration eines Computersystems, welches jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g implementiert, wird bereitgestellt. **Fig.** 25 ist ein Diagramm, welches eine beispielhafte Konfiguration eines Computersystems zeigt, welches jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g gemäß der zweiten, dritten, fünften und siebten Ausführungsform implementiert. Wie in **Fig.** 25 gezeigt ist, umfasst das Computersystem eine Steuereinheit 401, eine Eingabeeinheit 402, eine Speichereinheit 403, eine Anzeigeeinheit 404, eine Kommunikationseinheit 405 und eine Ausgabeeinheit 406, welche miteinander über einen Systembus 407 verbunden sind.

[0163] In **Fig.** 25 ist die Steuereinheit 401 beispielsweise die CPU oder dergleichen. Die Steuereinheit 401 führt Programme aus, welche diverse Verarbeitungen beschreiben, welche durch jedes der Informationsver-

arbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g der vorliegenden Ausführungsform ausgeführt wird. Die Eingabeeinheit 402 umfasst beispielsweise eine Tastatur, eine Maus und dergleichen und wird durch einen Nutzer des Computersystems dazu verwendet, diverse Informationsarten einzugeben. Die Speichereinheit 403 umfasst diverse Speicher, wie beispielsweise einen Direktzugriffspeicher (RAM) und einen nur lesbaren Speicher (ROM) und ein Speichergerät, wie beispielsweise eine Festplatte, und speichert die durch die Steuereinheit 401 auszuführenden Programme, notwendige Daten, welche während einer Verarbeitung bezogen werden, und dergleichen. Zudem wird die Speichereinheit 403 als ein temporärer Speicherbereich des Programms verwendet. Die Anzeigeeinheit 404 ist beispielsweise durch ein Flüssigkristallanzeige (LCD)-Panel gebildet und zeigt diverse Bildschirme für einen Nutzer des Computersystems an. Die Kommunikationseinheit 405 ist beispielsweise eine Kommunikationsschaltung, welche eine Kommunikationsverarbeitung durchführt. Die Kommunikationseinheit 405 kann mehrere Kommunikationsschaltungen umfassen, welche eins zu eins zu mehreren Kommunikationsverfahren zugeordnet sind. Die Ausgabeeinheit 406 ist eine Ausgabeschnittstelle, welche Daten an ein externes Gerät ausgibt, wie beispielsweise einen Drucker oder einem externen Speichergerät.

[0164] Es ist zu beachten, dass **Fig.** 25 ein Beispiel zeigt, und die Konfiguration des Computersystems nicht auf das Beispiel von **Fig.** 25 begrenzt ist. Beispielsweise muss das Computersystem nicht notwendigerweise die Ausgabeeinheit 406 umfassen. Wenn jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g durch die mehreren Computersysteme implementiert ist, müssen zudem alle diese Computersysteme nicht notwendigerweise das in **Fig.** 25 gezeigte Computersystem sein. Beispielsweise müssen einige Computersysteme nicht notwendigerweise die Anzeigeeinheit 404 und/oder die Ausgabeeinheit 406 und/oder die Eingabeeinheit 402, gezeigt in **Fig.** 25, umfassen.

[0165] Nun wird eine Beschreibung einer beispielhaften Betriebsweise des Computersystems, bis ein Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm in einem ausführbaren Zustand ist, bereitgestellt. Das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm ist ein Programm, welches die Verarbeitung jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g der vorliegenden Ausführungsform beschreibt. In dem Computersystem mit der oben beschriebenen Konfiguration wird das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm in der Speichereinheit 403 von beispielsweise einer Compact Disk (CD)-ROM oder einer DVD-ROM installiert, welche in einem CD-ROM-Laufwerk oder einem DVD-ROM-Laufwerk (nicht gezeigt) eingesetzt ist. Wenn das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm ausgeführt wird, wird das aus der Speichereinheit 403 gelesene Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm dann in einen Bereich gespeichert, welcher als ein Hauptspeichergerät der Speichereinheit 403 dient. In diesem Zustand führt die Steuereinheit 401 eine Verarbeitung als jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g der vorliegenden Ausführungsform gemäß dem in der Speichereinheit 403 gespeicherten Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm aus.

[0166] Es ist zu beachten, dass in der obigen Beschreibung das Programm, welches die Verarbeitung jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g beschreibt, unter Verwendung der CD-ROM oder der DVD-ROM als ein Aufzeichnungsmedium bereitgestellt ist, die vorliegende Offenbarung ist darauf jedoch nicht begrenzt. Beispielsweise kann ein Programm, welches durch ein Übertragungsmedium, wie beispielsweise dem Internet, durch die Kommunikationseinheit 405 bereitgestellt wird, auch zum Anpassen der Konfiguration des Computersystems, einer Fähigkeit eines bereitzustellenden Programms oder dergleichen verwendet werden.

[0167] Das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm gemäß den vorliegenden Ausführungsformen ist das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm zum Bestimmen der Antriebseinstellung der Werkzeugmaschine, welche das Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren der Welle, welche die Relativposition zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug ändert, während eines Schneidens durchführt, wobei das Antriebseinstellung-Bestimmungsprogramm den Computer dazu veranlasst, auszuführen: einen Schritt des Beziehens der Sucheinstellung, welche den Suchbereich und die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 umfasst, wobei der Suchbereich für die Antriebseinstellung eingestellt ist, welche die Maschinenbearbeitungseinstellung für die Werkzeugmaschine und/oder die Vibrationseinstellung für die Welle und/oder den Steuerungsparameter, welcher der Parameter zum Bestimmen der Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst, wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11 die als die Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und einen Schritt des Bestimmens der tatsächlichen Antriebseinstellung in dem eingestellten Suchbereich basierend auf der Sucheinstellung so, dass die Spanbruchbedingung erfüllt ist, wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird, wobei die Spanbruchbedingung die Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt.

[0168] Die Sucheinstellung-Eingabeeinheit 100 jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g wird durch die Eingabeeinheit 402 implementiert. Die Einstellungssucheinheiten 102b, 102c, 102c-2 und 102e der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g werden jeweils durch die Steuereinheit 401 implementiert. Es ist zu beachten, dass die Maschinenmodelle 105 und 105c und die Evaluationsfunktion 106 jeweils in der Speichereinheit 403 gespeichert sind.

[0169] Es ist zu beachten, dass in dem System, welches jedes der Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g umfasst, eine Allokation der jeweiligen Funktionen der gezeigten Geräte ein Beispiel ist, und eine Allokation der jeweiligen Funktionen der Geräte nicht auf das in **Fig.** 1 gezeigte Beispiel begrenzt ist, solange die oben beschriebenen Betriebsweisen durchgeführt werden können. Beispielsweise können die Informationsverarbeitungsgeräte 1b, 1c, 1c-2, 1e und 1g jeweils durch dasselbe Computersystem als das Maschinenbearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät 103 implementiert sein.

[0170] Die in den obigen Ausführungsformen beschriebenen Konfigurationen sind Beispiele und können mit den anderen bekannten Techniken kombiniert werden, die Ausführungsformen können miteinander kombiniert werden und ein Teil jeder der Konfigurationen kann weggelassen oder modifiziert werden, ohne den Grundgedanken zu verlassen.

[0171] Beispielsweise wurde in jeder der obigen Ausführungsformen ein Beispiel des Verfahrens des Suchens nach der Antriebseinstellung beschrieben, jedoch kann ein beliebiger Algorithmus verwendet werden, solange notwendige Einstellungen, wie beispielsweise die Spindelgeschwindigkeit, der Vorschub pro Zahn, die Vibrationsamplitude und die Vibrationsfrequenz, bestimmt werden können. Beispielsweise kann die Reihenfolge der Suche geändert werden durch Ändern der Reihenfolge der gezeigten Schritte. Zudem kann die Antriebseinstellung nicht nur unter Verwendung des Verfahrens des Suchens nach der Antriebseinstellung auf alle möglichen Weisen gesucht werden, sondern auch unter Verwendung diverser bekannter Optimierungsalgorithmen, beispielsweise einem Optimierungsalgorithmus, wie beispielsweise einem genetischen Algorithmus oder einer Bayes'sche Optimierung unter Verwendung von künstlicher Intelligenz.

[0172] Zudem wurde in den obigen Ausführungsformen die Hardwarekonfiguration basierend auf der Annahme beschrieben, dass das Informationsverarbeitungsgerät beispielsweise über das Netzwerk mit dem Numerische-Steuerung-Gerät verbunden ist und ein von dem Numerische-Steuerung-Gerät separates Gerät ist, das Informationsverarbeitungsgerät kann jedoch in dem Numerische-Steuerung-Gerät gebildet sein. Alternativ kann das Informationsverarbeitungsgerät auf einem Cloudserver existieren.

Bezugszeichenliste

1a, 1d, 1f, 1h	Numerische-Steuerung-Gerät;
1b, 1c, 1c-2, 1e, 1g	Informationsverarbeitungsgerät;
2	Antriebseinheit;
3	Werkzeugmaschine;
10	Maschinenbearbeitungsprogramm;
11	Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung;
12	Vibrationsreferenzeinstellung;
13	Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich;
14	Vibrationseinstellung-Suchbereich;
15	tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung;
16	tatsächliche Vibrationseinstellung;
17, 17r	Antriebswellenbefehl;
18	Spindelbefehl;
19	Steuerungsparameter-Suchbereich;
20	Spindelstrom;
21	Spindelposition;

22	Servomotorstrom;
23	Antriebswellenposition;
24	Steuerungsparameter;
30	Werkzeuginformation;
31	Werkstückinformation;
32	Betriebsinformation je Welle;
40	Lerndaten-Bezugseinheit;
41	Modellerzeugungseinheit;
42	Maschinenbearbeitungsoberflächenqualität-Bestimmungsmodell;
43	Spanbruch-Bestimmungsmodell;
44	Belohnungsberechnungseinheit;
45	Funktionsaktualisierungseinheit;
46	Folgerungsdaten-Bezugseinheit;
47	Folgerungseinheit;
48	Einstellungs- und Steuerungsparameter-Suchmodel;
90	Verarbeitungsschaltung;
91	Steuerungsschaltung;
92	Prozessor;
93	Speicher;
100, 100c	Sucheinstellung-Eingabeeinheit;
101	Maschinenbearbeitungsprogramm-Eingabeeinheit;
102, 102b, 102c, 102c-2, 102d, 102e, 102g, 102h	Einstellungssucheinheit;
103	Maschinenbearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät;
104	Befehlswert-Erzeugungseinheit;
105, 105c	Maschinenmodell;
106	Evaluationsfunktion;
107	KI-Modell;
110	n-te Vibrationstrajektorie;
111	(n+1)-te Vibrationstrajektorie;
112	Spanbruchbereich;
113	Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit;
114	Scheiternvorhersageeinheit;
120	Gelerntes-Modell-Speichereinheit;
201	Spindelservosteuereinheit;
202	Antriebswellenservosteuereinheit;
300	Spindel;
301	Antriebswelle;
302	Spindelmotor;
303	Werkstück;
304	Werkzeug;

305	Servomotor;
306	Beschleunigungssensor;
401	Steuereinheit;
402	Eingabeeinheit;
403	Speichereinheit;
404	Anzeigeeinheit;
405	Kommunikationseinheit;
406	Ausgabeeinheit;
407	Systembus.

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 7007531 [0004]

Patentansprüche

1. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät, welches eine Antriebseinstellung einer Werkzeugmaschine bestimmt, welche ein Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren einer Welle zum Ändern einer Relativposition zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug während eines Schneidens durchführt, wobei das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät umfasst:
eine Sucheinstellung-Eingabeeinheit, welche eine Sucheinstellung bezieht, welche einen Suchbereich und eine Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung umfasst,
wobei der Suchbereich für eine Antriebseinstellung eingestellt ist, welche eine Maschinenbearbeitungseinstellung für die Werkzeugmaschine und/oder eine Vibrationseinstellung für die Welle und/oder einen Steuerungsparameter, welcher ein Parameter zum Bestimmen einer Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst,
wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung die als eine Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und
eine Einstellungssucheinheit, welche basierend auf der Sucheinstellung eine tatsächliche Antriebseinstellung in dem eingestellten Suchbereich so bestimmt, dass eine Spanbruchbedingung erfüllt ist,
wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird,
wobei die Spanbruchbedingung eine Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt.

2. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 1, wobei die Einstellungssucheinheit nach der Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, basierend auf einer Vibrationsamplitude sucht, welche unter Verwendung eines Maschinenmodells geschätzt wird, welches die Vibrationsamplitude an einer Position einer Spitze des Werkzeugs basierend auf einem Antriebsbefehl für die Welle schätzt.

3. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Einstellungssucheinheit nach einem Kandidaten für die tatsächliche Antriebseinstellung sucht, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, und basierend auf einer ersten Evaluationsfunktion zum Evaluieren des Schneidens unter Verwendung des gesuchten Kandidaten bestimmt, ob der Kandidat als die tatsächliche Antriebseinstellung anzuwenden ist.

4. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 3, wobei die Einstellungssucheinheit nach mehreren Kandidaten für die tatsächliche Antriebseinstellung sucht, welche die Spanbruchbedingung erfüllen, und basierend auf der ersten Evaluationsfunktion die tatsächliche Antriebseinstellung aus den mehreren gesuchten Kandidaten bestimmt.

5. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 3 oder 4, wobei die erste Evaluationsfunktion durch eine lineare Summe aus mindestens einem Element aus einer zur Erzeugung einer Vibration erforderlichen elektrischen Energie, einer Vibrationsbeschleunigung, einer Maschinenbearbeitungsdauer, eines Schnittvolumens, einer maximalen Maschinenbearbeitungslast, einer mechanische Abnutzungsmenge und/oder einer akkumulierten Vibrationsschneidedauer repräsentiert ist.

6. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Einstellungssucheinheit einen Kandidaten für die tatsächliche Antriebseinstellung, welche die Spanbruchbedingung erfüllt, basierend auf einer zweiten Evaluationsfunktion zum Evaluieren, ob eine Anomalie beim Schneiden unter Verwendung des Kandidaten auftritt, evaluiert und den Kandidaten nicht als die tatsächliche Antriebseinstellung anwendet, wenn evaluiert wird, dass eine Anomalie beim Schneiden unter Verwendung des Kandidaten auftritt.

7. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 6, wobei, wenn die Antriebseinstellung, welche als die tatsächliche Antriebseinstellung anzuwenden ist, basierend auf der zweiten Evaluationsfunktion nicht gefunden wird, die Einstellungssucheinheit als die tatsächliche Antriebseinstellung eine Antriebseinstellung bestimmt, welche die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung umfasst und das Vibrationsschneiden nicht durchführt.

8. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 6 oder 7, wobei die zweite Evaluationsfunktion durch eine lineare Summe aus mindestens einem Element aus einer zur Erzeugung einer Vibration erforderlichen elektrischen Energie, einer Vibrationsbeschleunigung, einer Maschinenbearbeitungsdauer, eines Schnittvolumens, einer maximalen Maschinenbearbeitungslast, einer mechanische Abnutzungsmenge und/oder einer akkumulierten Vibrationsschneidedauer repräsentiert ist.

9. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 2, ferner umfassend:
eine Maschinenmodell-Aktualisierungseinheit, welche das Maschinenmodell basierend auf einem Messwert der Vibrationsamplitude aktualisiert.

10. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 1, wobei die Einstellungssucheinheit umfasst:
eine Folgerungsdaten-Bezugseinheit, welche die Maschinenbearbeitungseinstellung, die Vibrationseinstellung, ein Material des Werkstücks, ein Material des Werkzeugs, eine Form des Werkzeugs, eine Vorschubrate der Welle und eine Beschleunigung der Welle als Folgerungsdaten bezieht; und
eine Folgerungseinheit, welche die tatsächliche Antriebseinstellung aus den Folgerungsdaten unter Verwendung eines gelernten Modells folgert, welches die tatsächliche Antriebseinstellung, mit welcher eine Maschinenbearbeitungsqualität des Schneidens am besten ist, aus mehreren tatsächlichen Antriebszuständen, welche die Spanbruchbedingung erfüllen, aus der Maschinenbearbeitungseinstellung, der Vibrationseinstellung, dem Material des Werkstücks, dem Material des Werkzeugs, der Form des Werkzeugs, der Vorschubrate der Welle und der Beschleunigung der Welle folgert.

11. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß Anspruch 1, wobei die Maschinenbearbeitungseinstellung eine Umdrehungsgeschwindigkeit der Welle, eine Schnittrichtung und eine Schnitttiefe pro Umdrehung umfasst.

12. Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Antriebseinstellung-Bestimmungsgerät ein Numerische-Steuerung-Gerät ist, welches ferner umfasst:
eine Befehlswert-Erzeugungseinheit, welche den Antriebsbefehl für die Welle basierend auf der durch die Einstellungssucheinheit bestimmten tatsächlichen Antriebseinstellung erzeugt.

13. Antriebseinstellung-Bestimmungsverfahren zum Bestimmen einer Antriebseinstellung einer Werkzeugmaschine, welche ein Vibrationsschneiden, welches ein Auftreten eines Spanbruchs ermöglicht, durch Vibrieren einer Welle zum Ändern einer Relativposition zwischen einem Werkstück und einem Werkzeug während eines Schneidens durchführt, wobei das Antriebseinstellung-Bestimmungsverfahren umfasst:
einen Schritt des Beziehens einer Sucheinstellung, welche einen Suchbereich und eine Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung umfasst,
wobei der Suchbereich für eine Antriebseinstellung eingestellt ist, welche eine Maschinenbearbeitungseinstellung für eine Werkzeugmaschine und/oder eine Vibrationseinstellung für die Welle und/oder einen Steuerungsparameter, welcher ein Parameter zum Bestimmen einer Steuerungseigenschaft der Welle ist, umfasst,
wobei die Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung die als eine Referenz dienende Maschinenbearbeitungseinstellung ist, welche unabhängig davon bestimmt ist, ob das Vibrationsschneiden durchgeführt wird; und
einen Schritt des Bestimmens einer tatsächlichen Antriebseinstellung in dem eingestellten Suchbereich basierend auf der Sucheinstellung so, dass eine Spanbruchbedingung erfüllt ist,
wobei die tatsächliche Antriebseinstellung die Antriebseinstellung ist, welche bei Durchführung des Vibrationsschneidens verwendet wird,
wobei die Spanbruchbedingung die Bedingung ist, unter welcher der Spanbruch auftritt.

Es folgen 23 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

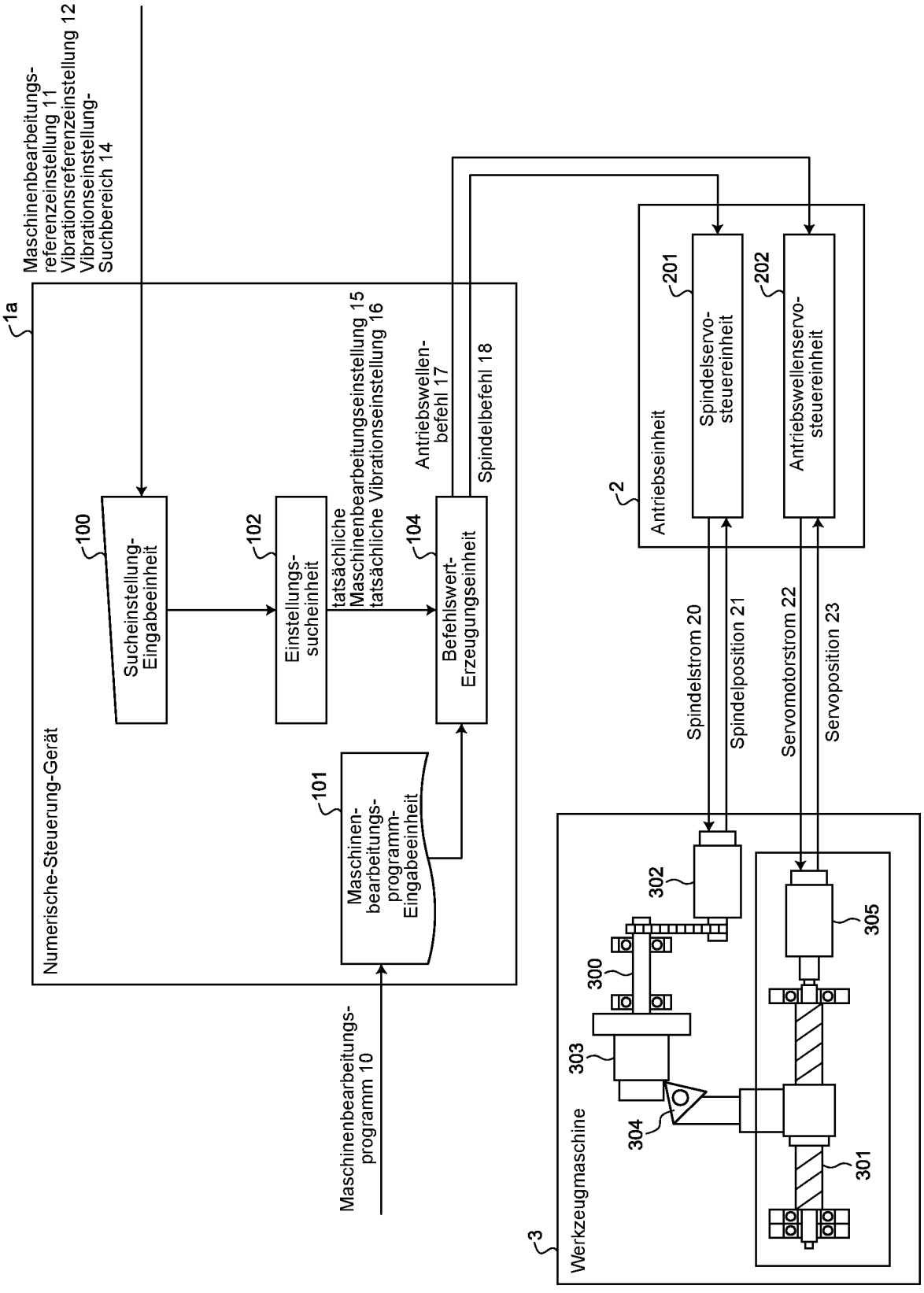


FIG.2

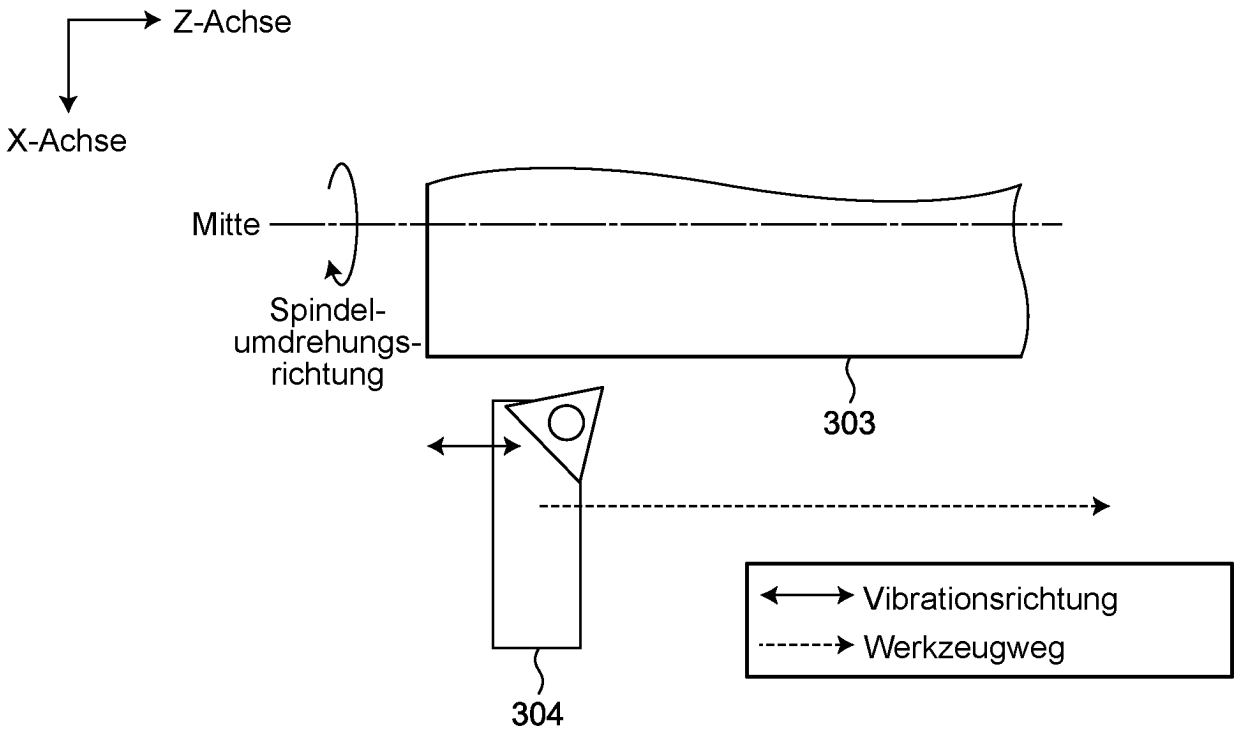

Z-Achse
X-Achse
Mitte
Spindel-
umdrehungs-
richtung
303
304
Vibrationsrichtung
Werkzeugweg

FIG.3

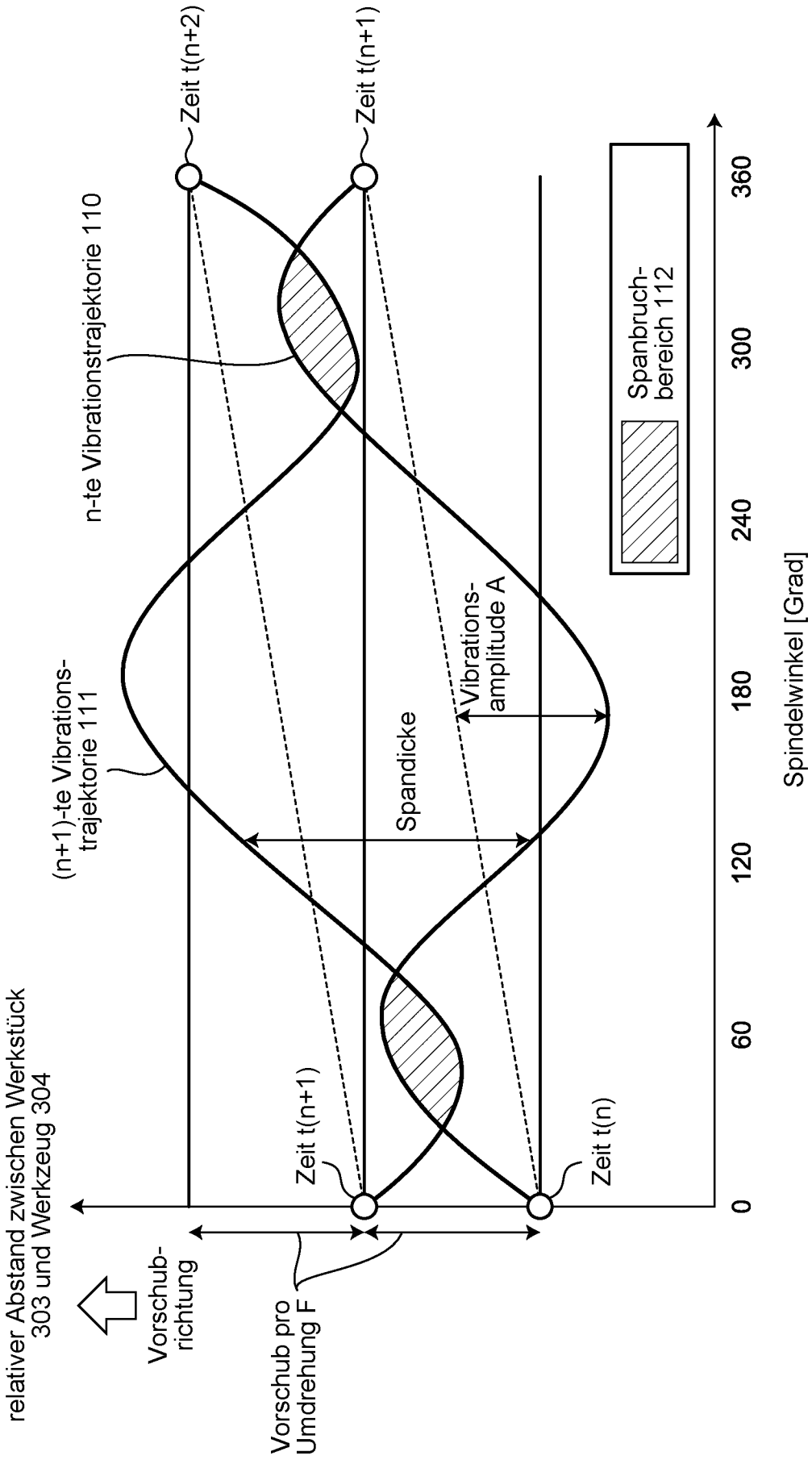

Zeit t(n+2)
Zeit t(n+1)
n-te Vibrationstrajektorie 110
(n+1)-te Vibrations-trajektorie 111
Spandicke
Vibrations-amplitude A
Spanbruch-bereich 112
relativer Abstand zwischen Werkstück 303 und Werkzeug 304
Vorschub-richtung
Vorschub pro Umdrehung F
Zeit t(n+1)
Zeit t(n)
0
60
120
180
240
300
360
Spindelwinkel [Grad]

FIG.4

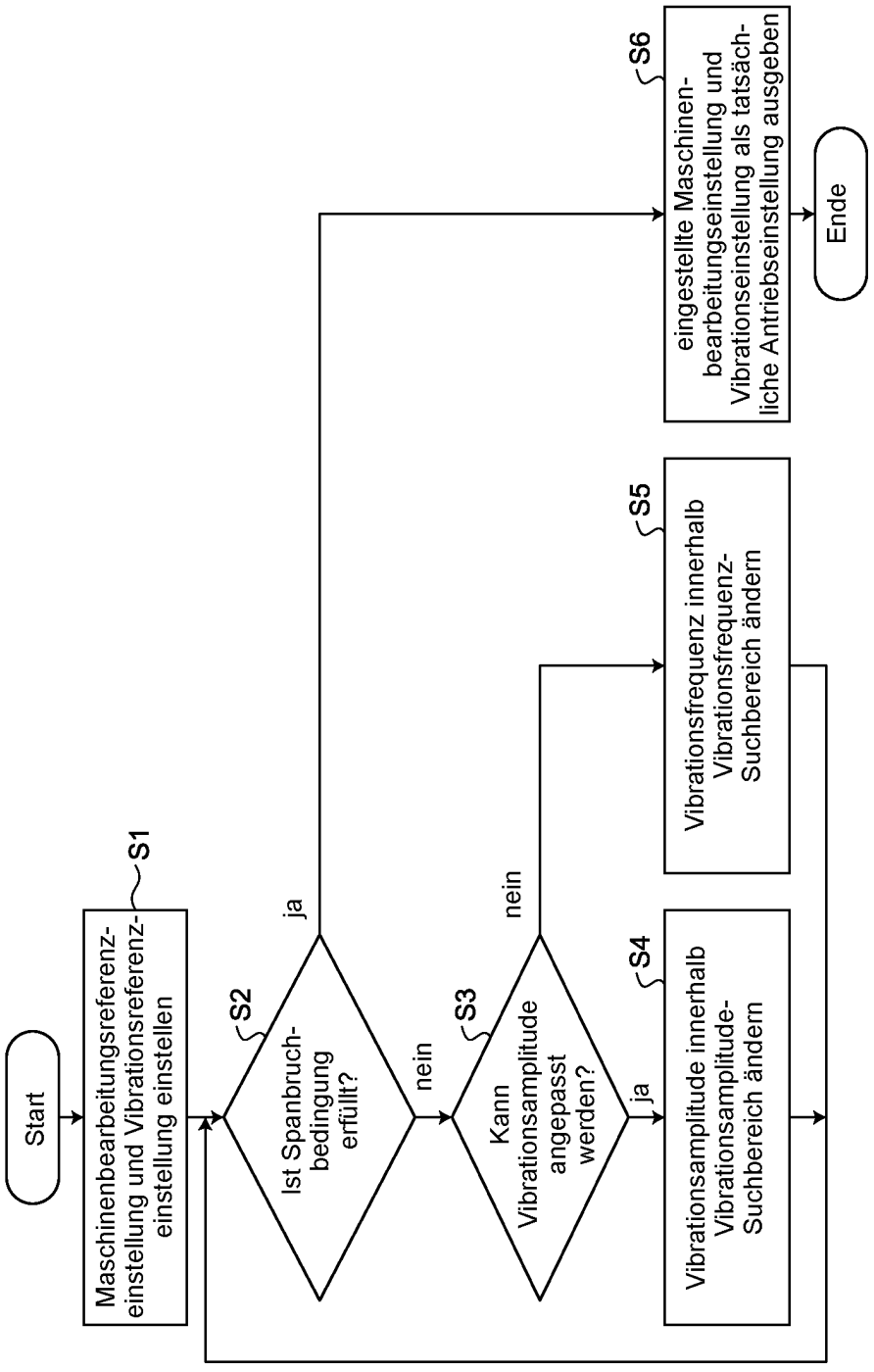

Start
Maschinenbearbeitungsreferenz-einstellung und Vibrationsreferenz-einstellung einstellen
S1
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
S2
ja
nein
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
S3
ja
nein
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S4
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S5
eingestellte Maschinen-bearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als tatsäch-liche Antriebseinstellung ausgeben
S6
Ende

FIG.5

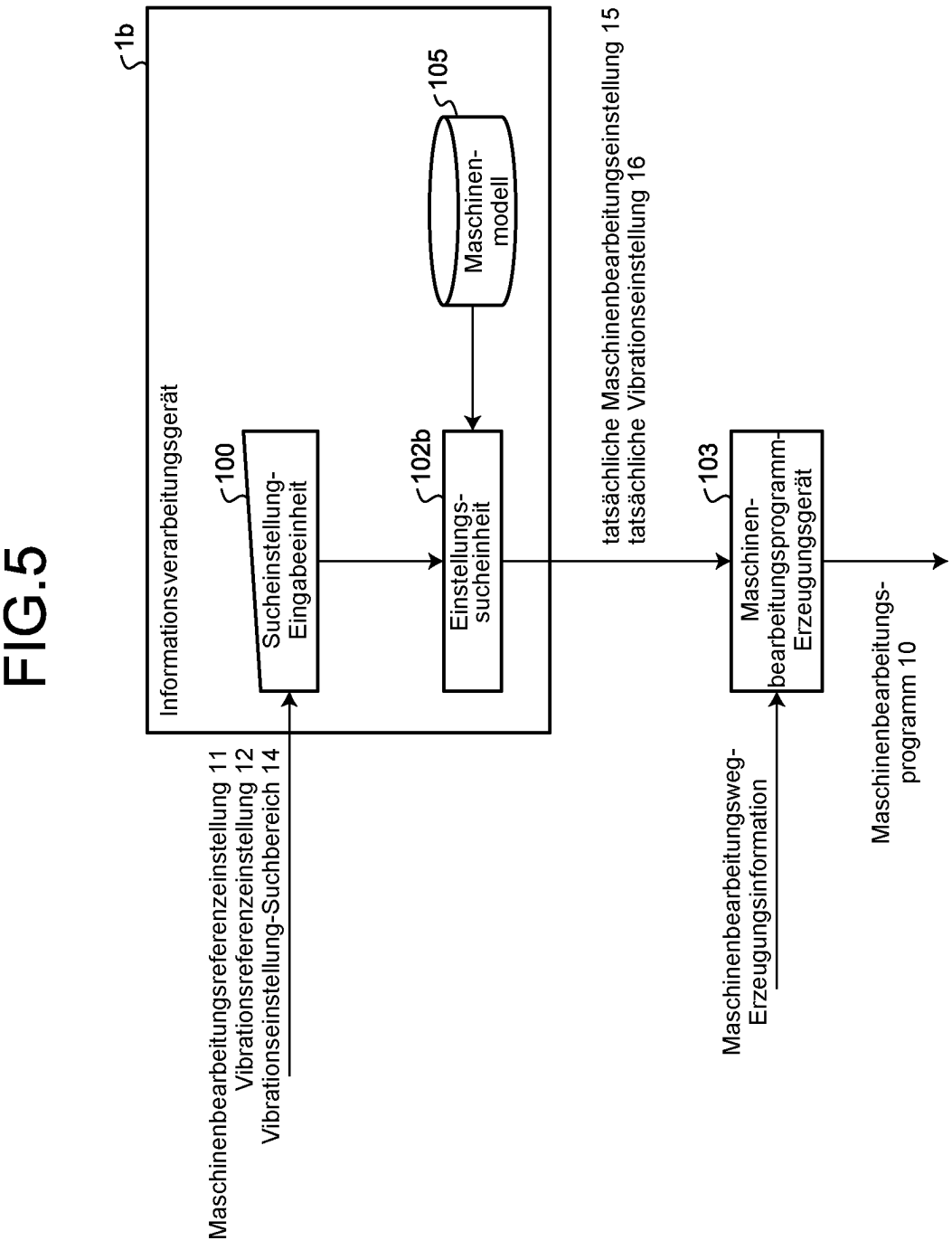

1b
Informationsverarbeitungsgerät
105
Maschinen-
modell
100
Sucheinstellung-
Eingabeeinheit
102b
Einstellungs-
sucheinheit
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
103
Maschinen-
bearbeitungsprogramm-
Erzeugungsgerät
Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11
Vibrationsreferenzeinstellung 12
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
Maschinenbearbeitungsweg-
Erzeugungsinformation
Maschinenbearbeitungs-
programm 10

FIG.6

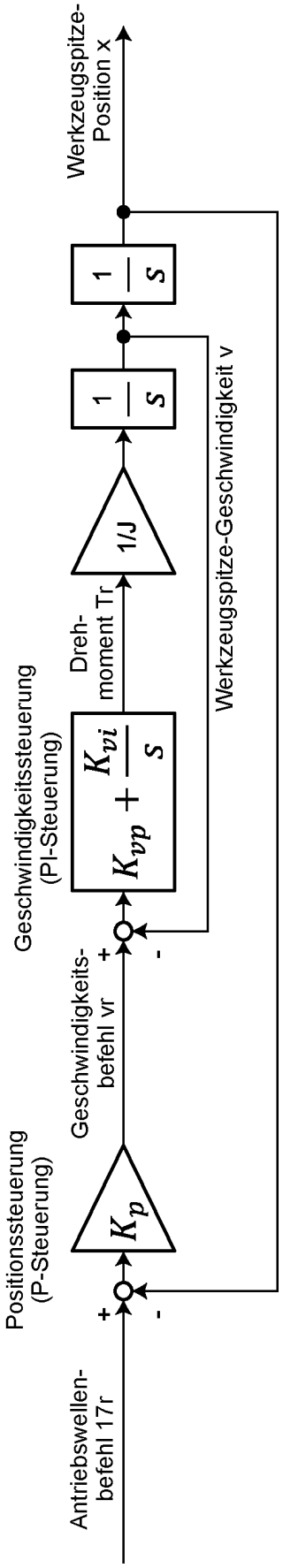

Antriebswellen-befehl 17r
+
-
Positionssteuerung (P-Steuerung)
K_p
Geschwindigkeits-befehl vr
+
-
Geschwindigkeitssteuerung (PI-Steuerung)
$K_{vp} + \frac{K_{vi}}{s}$
Dreh-moment Tr
1/J
$\frac{1}{s}$
$\frac{1}{s}$
Werkzeugspitze-Position x
Werkzeugspitze-Geschwindigkeit v

FIG.7

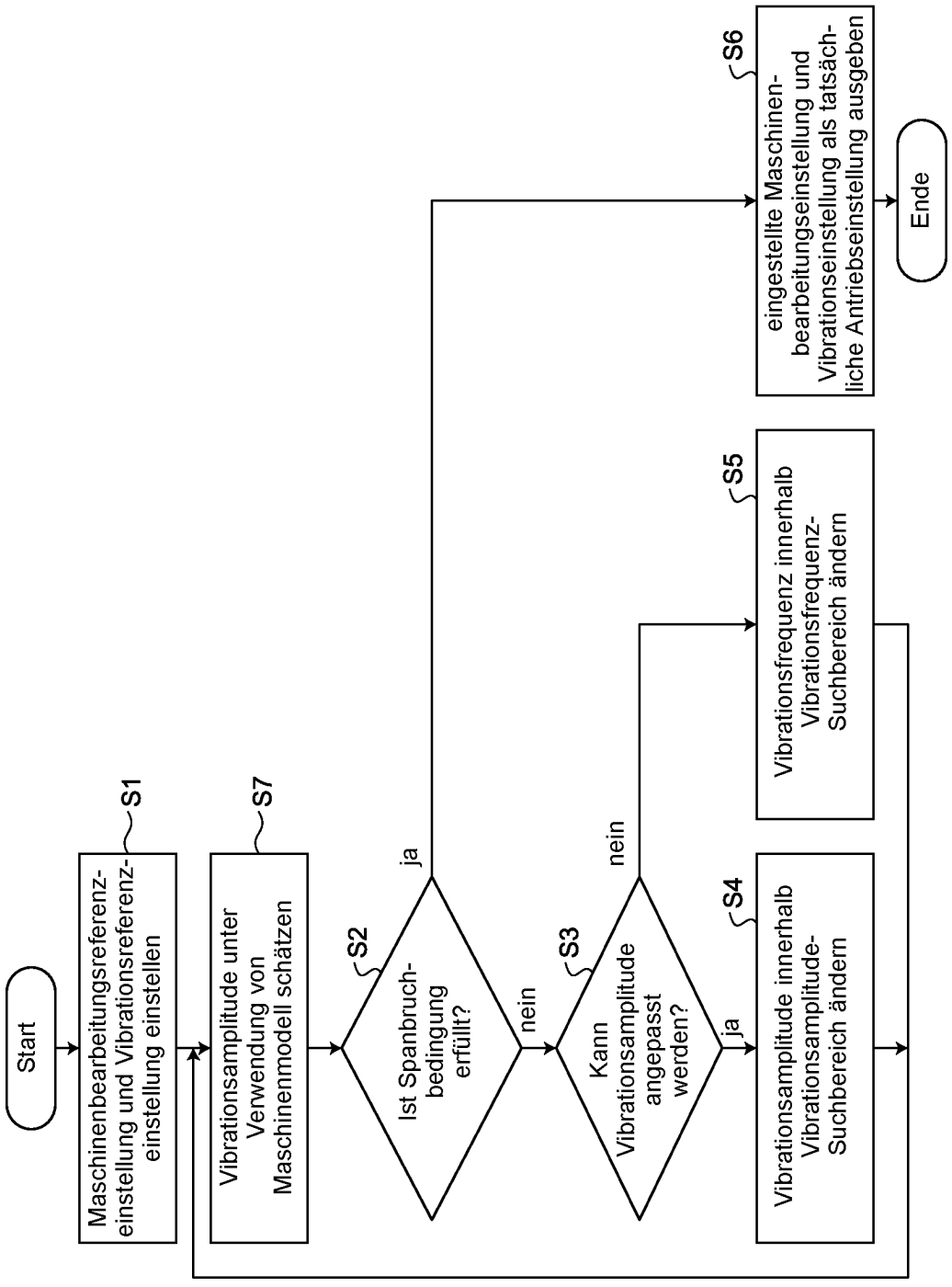

Start
Maschinenbearbeitungsreferenz-einstellung und Vibrationsreferenz-einstellung einstellen
S1
Vibrationsamplitude unter Verwendung von Maschinenmodell schätzen
S7
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
S2
ja
nein
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
S3
ja
nein
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S4
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S5
eingestellte Maschinen-bearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als tatsäch-liche Antriebseinstellung ausgeben
S6
Ende

FIG.8

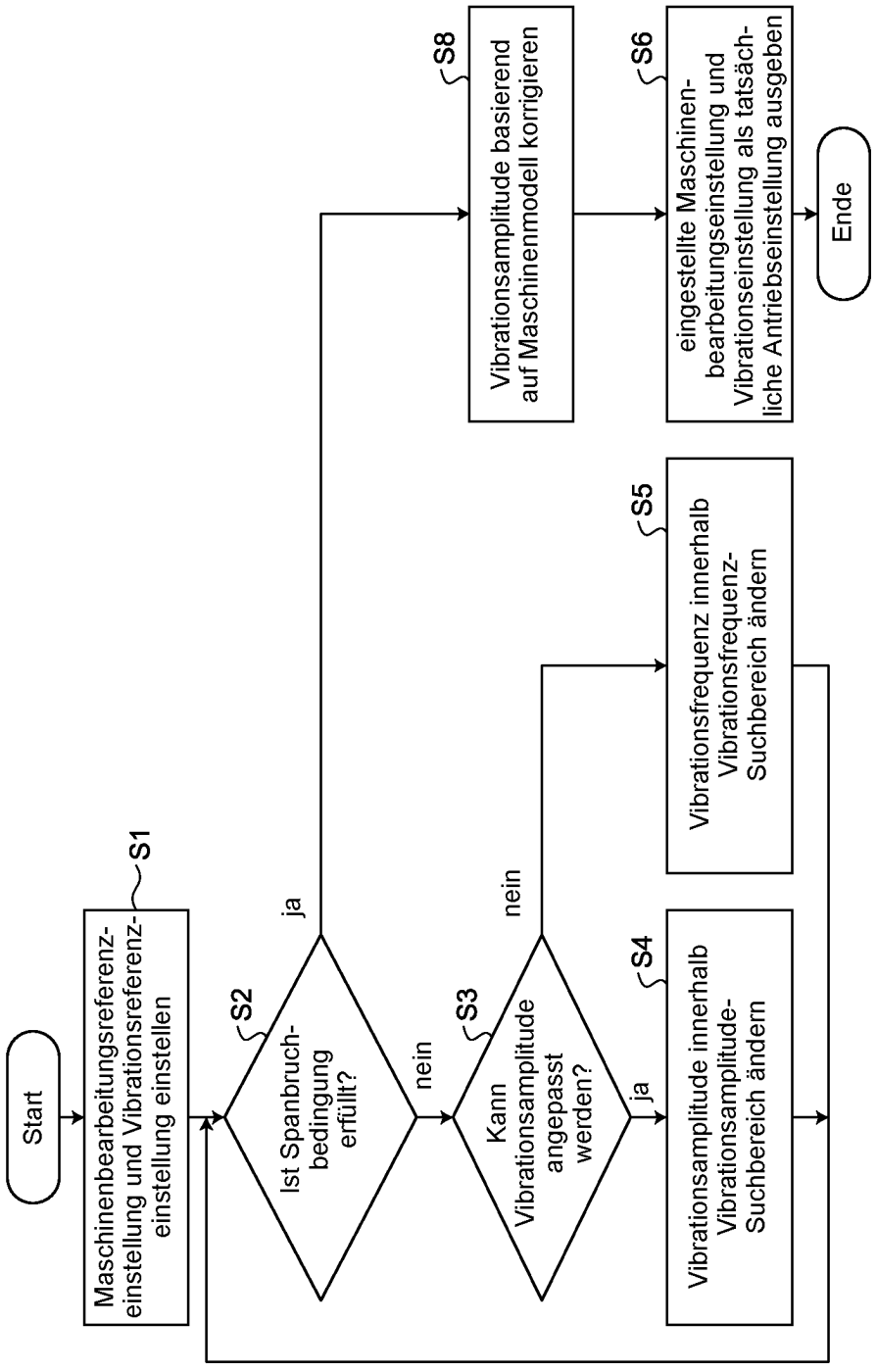

Start
Maschinenbearbeitungsreferenz-einstellung und Vibrationsreferenz-einstellung einstellen
S1
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
S2
ja
nein
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
S3
ja
nein
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S4
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S5
Vibrationsamplitude basierend auf Maschinenmodell korrigieren
S8
eingestellte Maschinen-bearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als tatsäch-liche Antriebseinstellung ausgeben
S6
Ende

FIG.9

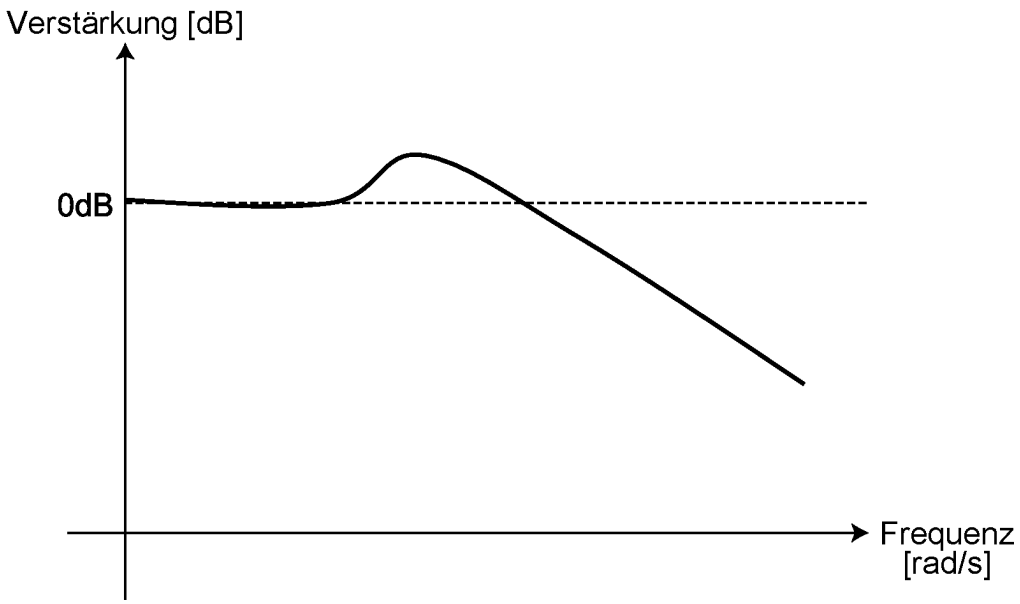


FIG.10

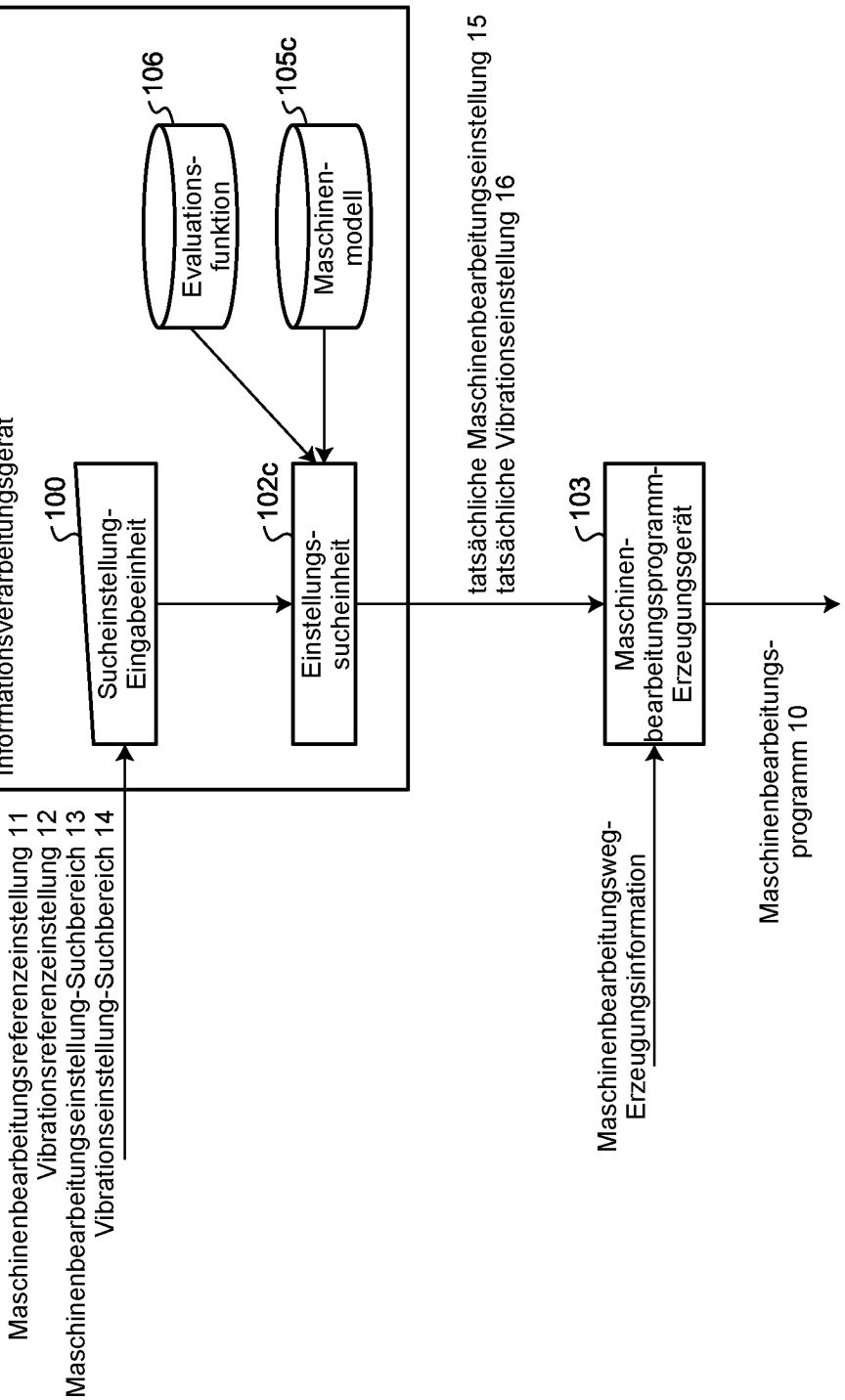

1c
Informationsverarbeitungsgerät
106
Evaluations-funktion
105c
Maschinen-modell
100
Sucheinstellung-Eingabeeinheit
102c
Einstellungs-sucheinheit
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
103
Maschinen-bearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät
Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11
Vibrationsreferenzeinstellung 12
Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich 13
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
Maschinenbearbeitungsweg-Erzeugungsinformation
Maschinenbearbeitungs-programm 10

FIG.11

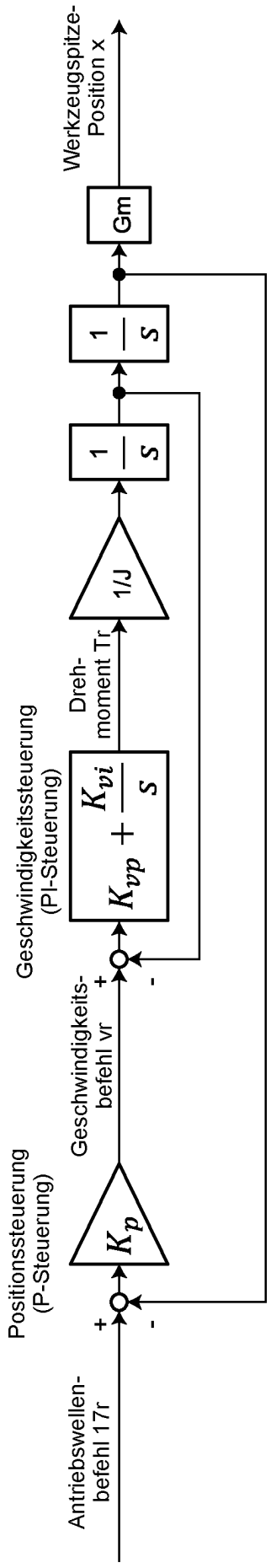

Antriebswellen-befehl 17r
+
-
Positionssteuerung (P-Steuerung)
K_p
Geschwindigkeits-befehl vr
+
-
Geschwindigkeitssteuerung (PI-Steuerung)
$K_{vp} + \frac{K_{vi}}{s}$
Dreh-moment Tr
1/J
$\frac{1}{s}$
$\frac{1}{s}$
Gm
Werkzeugspitze-Position x

FIG.12

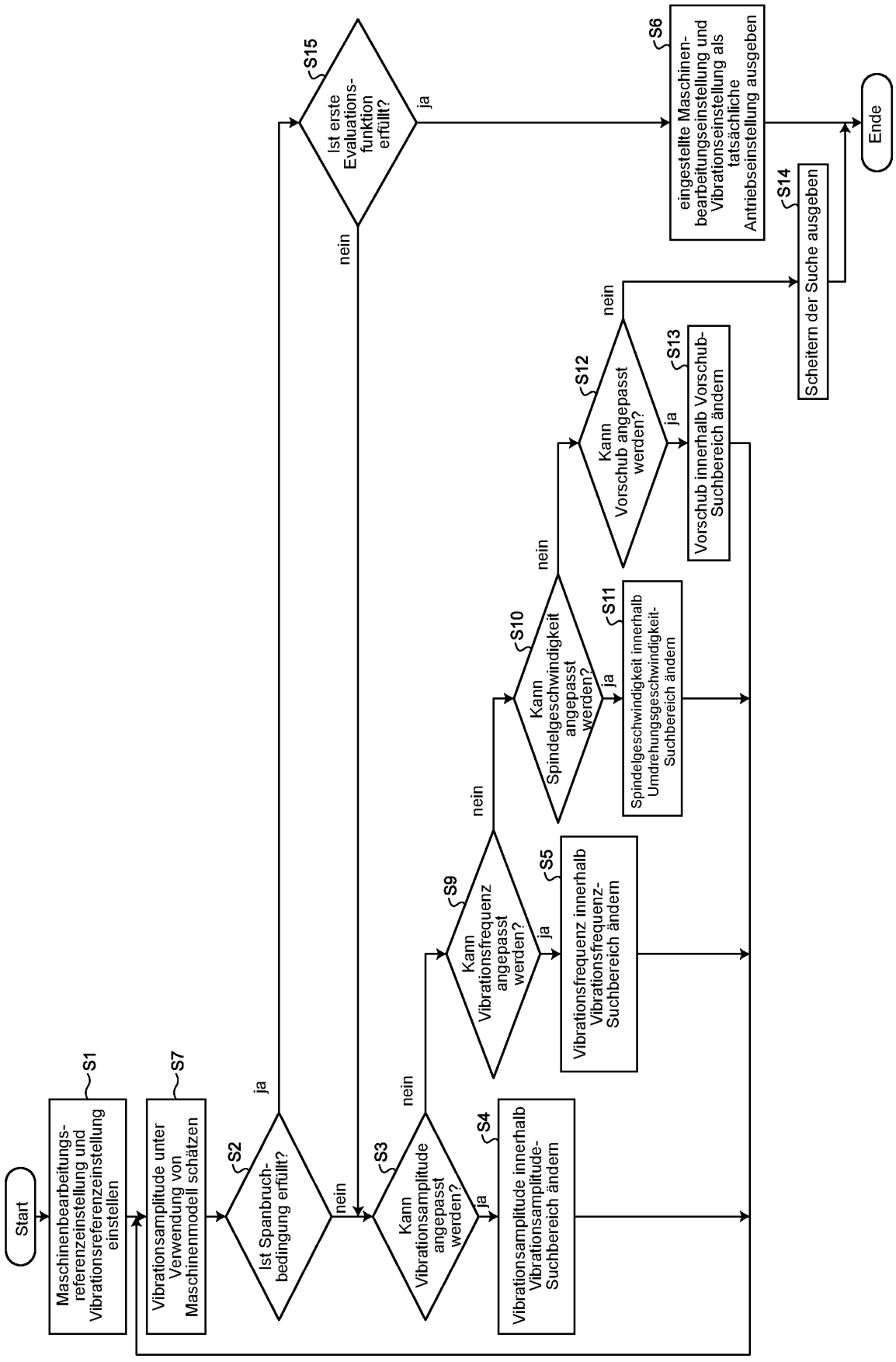

Start
S1
Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung und Vibrationsreferenzeinstellung einstellen
S7
Vibrationsamplitude unter Verwendung von Maschinenmodell schätzen
S2
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
ja
nein
S3
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
ja
nein
S4
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S9
Kann Vibrationsfrequenz angepasst werden?
ja
nein
S5
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S10
Kann Spindelgeschwindigkeit angepasst werden?
ja
nein
S11
Spindelgeschwindigkeit innerhalb Umdrehungsgeschwindigkeit-Suchbereich ändern
S12
Kann Vorschub angepasst werden?
ja
nein
S13
Vorschub innerhalb Vorschub-Suchbereich ändern
S15
Ist erste Evaluations-funktion erfüllt?
ja
nein
S6
eingestellte Maschinen-bearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als tatsächliche Antriebseinstellung ausgeben
S14
Scheitern der Suche ausgeben
Ende

FIG.13

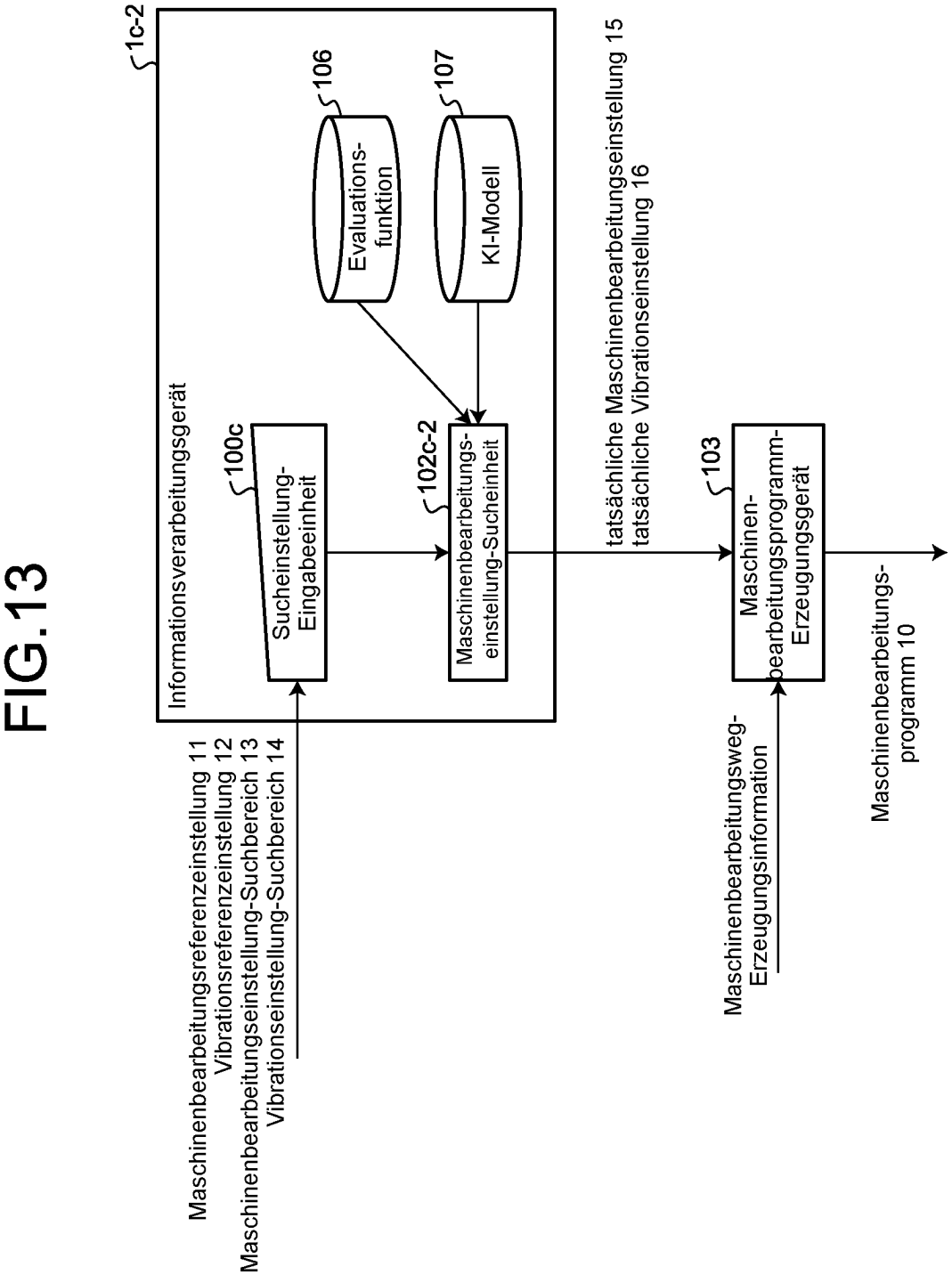

1c-2
Informationsverarbeitungsgerät
106
Evaluations-funktion
107
KI-Modell
100c
Sucheinstellung-Eingabeeinheit
102c-2
Maschinenbearbeitungs-einstellung-Sucheinheit
103
Maschinen-bearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät
Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11
Vibrationsreferenzeinstellung 12
Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich 13
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
Maschinenbearbeitungsweg-Erzeugungsinformation
Maschinenbearbeitungs-programm 10

FIG.14

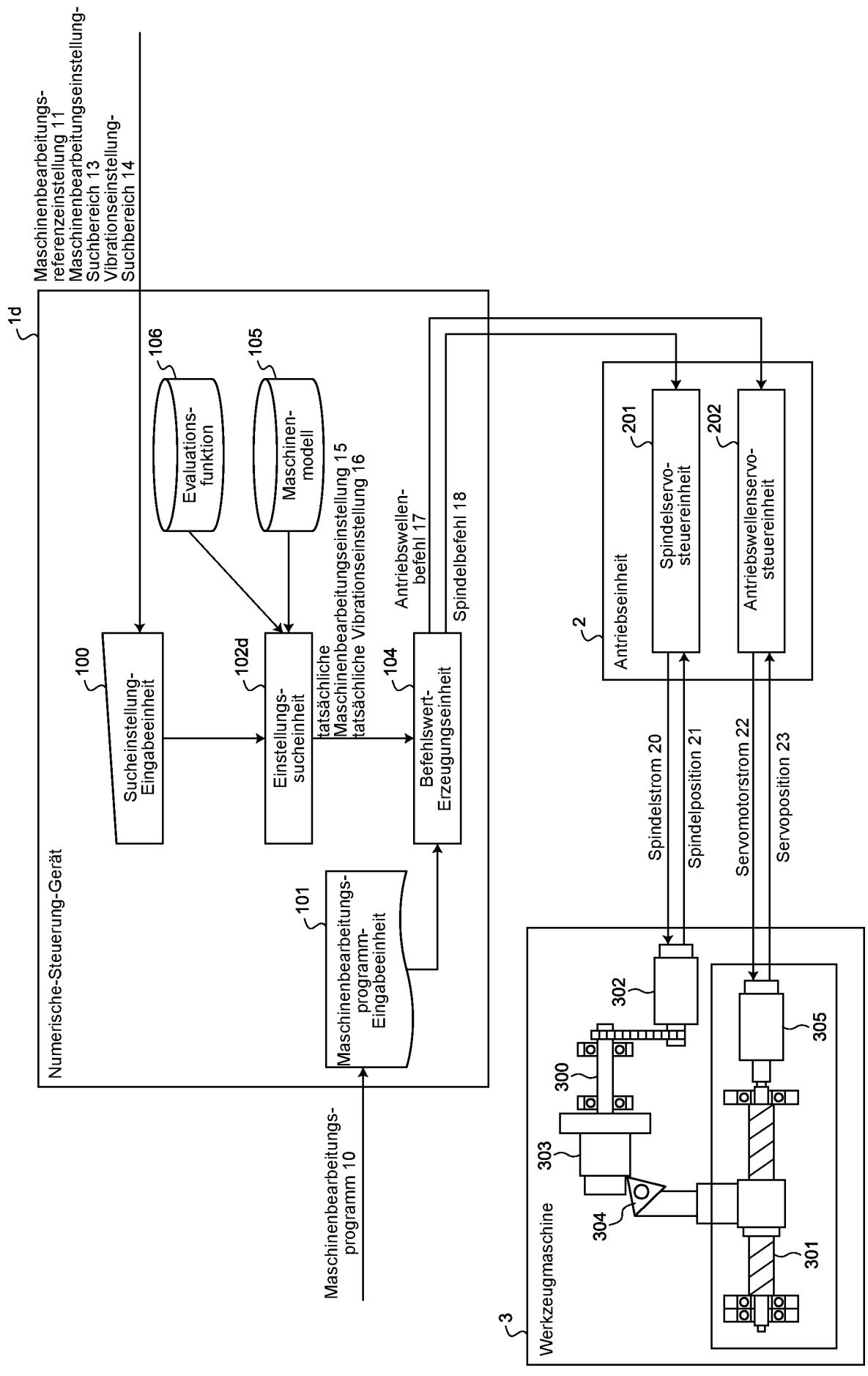

Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung 11
Maschinenbearbeitungseinstellung-Suchbereich 13
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
1d
Numerische-Steuerung-Gerät
106
Evaluations-funktion
105
Maschinen-modell
100
Sucheinstellung-Eingabeeinheit
102d
Einstellungs-sucheinheit
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
104
Befehlswert-Erzeugungseinheit
Antriebswellen-befehl 17
Spindelbefehl 18
101
Maschinenbearbeitungs-programm-Eingabeeinheit
Maschinenbearbeitungs-programm 10
2
Antriebseinheit
201
Spindelservo-steuereinheit
202
Antriebswellenservo-steuereinheit
Spindelstrom 20
Spindelposition 21
Servomotorstrom 22
Servoposition 23
3
Werkzeugmaschine
302
300
303
304
305
301

FIG.15

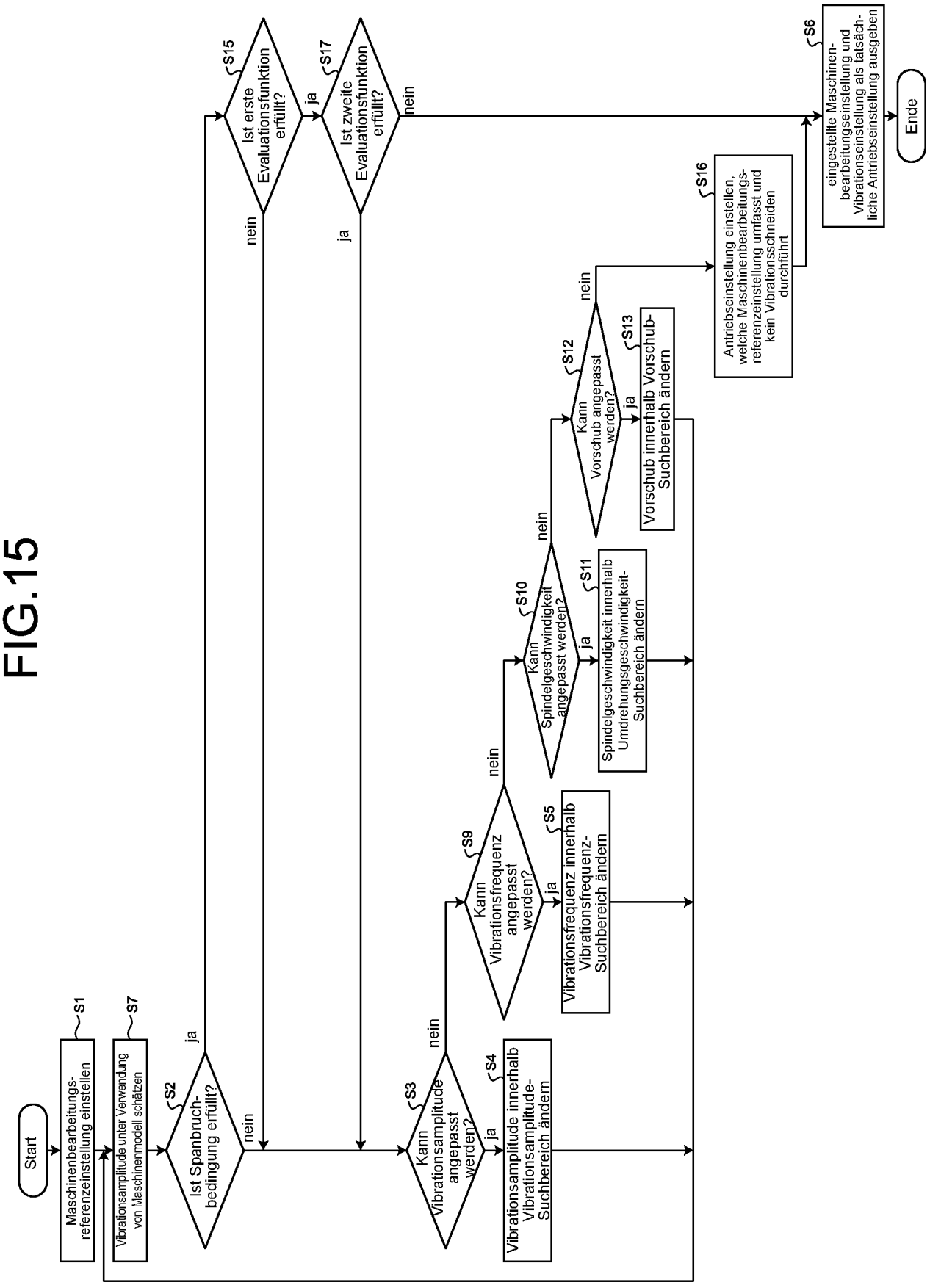

Start
S1
Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung einstellen
S7
Vibrationsamplitude unter Verwendung von Maschinenmodell schätzen
S2
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
ja
nein
S3
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
ja
nein
S4
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S9
Kann Vibrationsfrequenz angepasst werden?
ja
nein
S5
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S10
Kann Spindelgeschwindigkeit angepasst werden?
ja
nein
S11
Spindelgeschwindigkeit innerhalb Umdrehungsgeschwindigkeit-Suchbereich ändern
S12
Kann Vorschub angepasst werden?
ja
nein
S13
Vorschub innerhalb Vorschub-Suchbereich ändern
S15
Ist erste Evaluationsfunktion erfüllt?
ja
nein
S17
Ist zweite Evaluationsfunktion erfüllt?
ja
nein
S16
Antriebseinstellung einstellen, welche Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung umfasst und kein Vibrationsschneiden durchführt
S6
eingestellte Maschinen-bearbeitungseinstellung und Vibrationseinstellung als tatsäch-liche Antriebseinstellung ausgeben
Ende

FIG.16

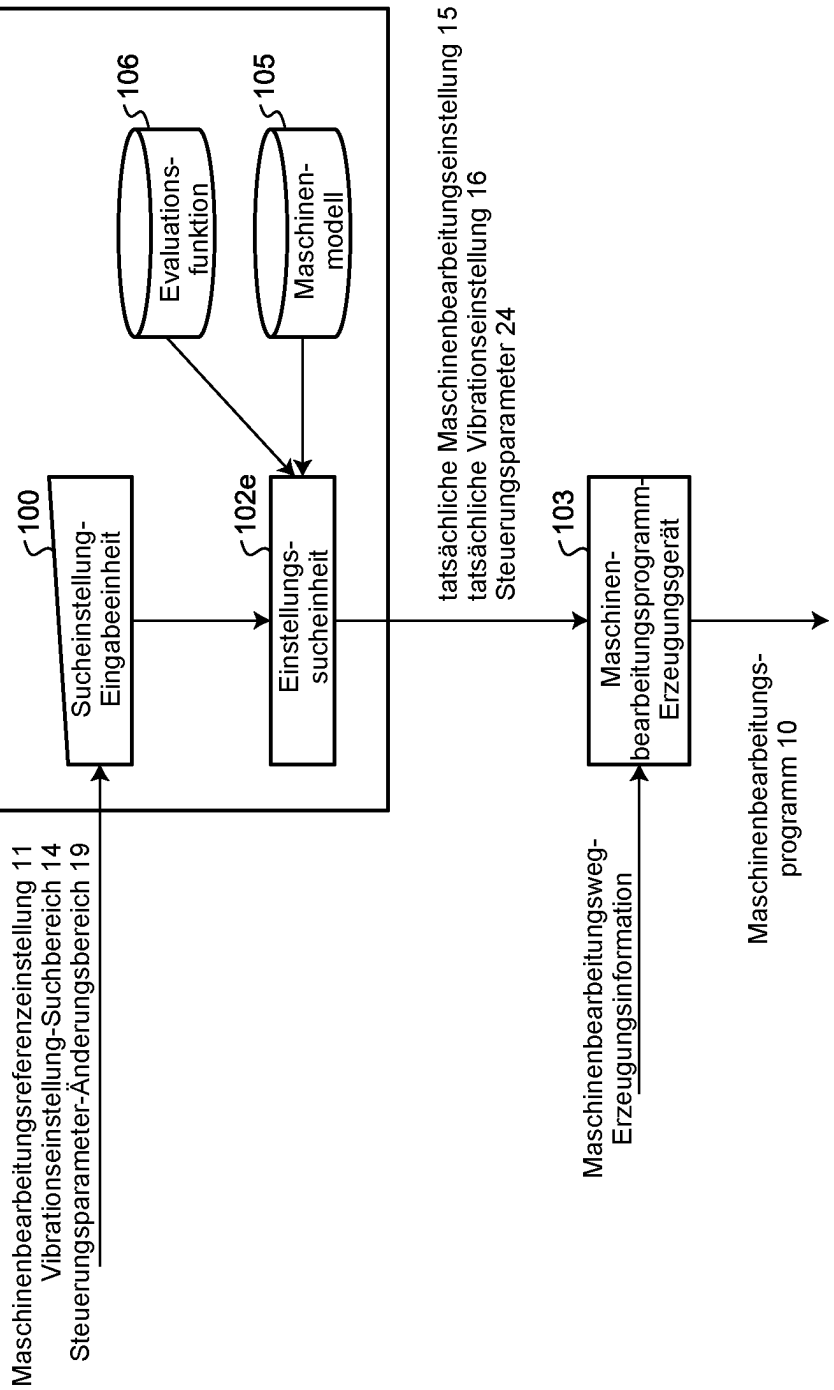

1e
Informationsverarbeitungsgerät
106
Evaluations-funktion
105
Maschinen-modell
100
Sucheinstellung-Eingabeeinheit
102e
Einstellungs-sucheinheit
103
Maschinen-bearbeitungsprogramm-Erzeugungsgerät
Maschinenbearbeitungsreferenzeinstellung 11
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
Steuerungsparameter-Änderungsbereich 19
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
Steuerungsparameter 24
Maschinenbearbeitungsweg-Erzeugungsinformation
Maschinenbearbeitungs-programm 10

FIG.17

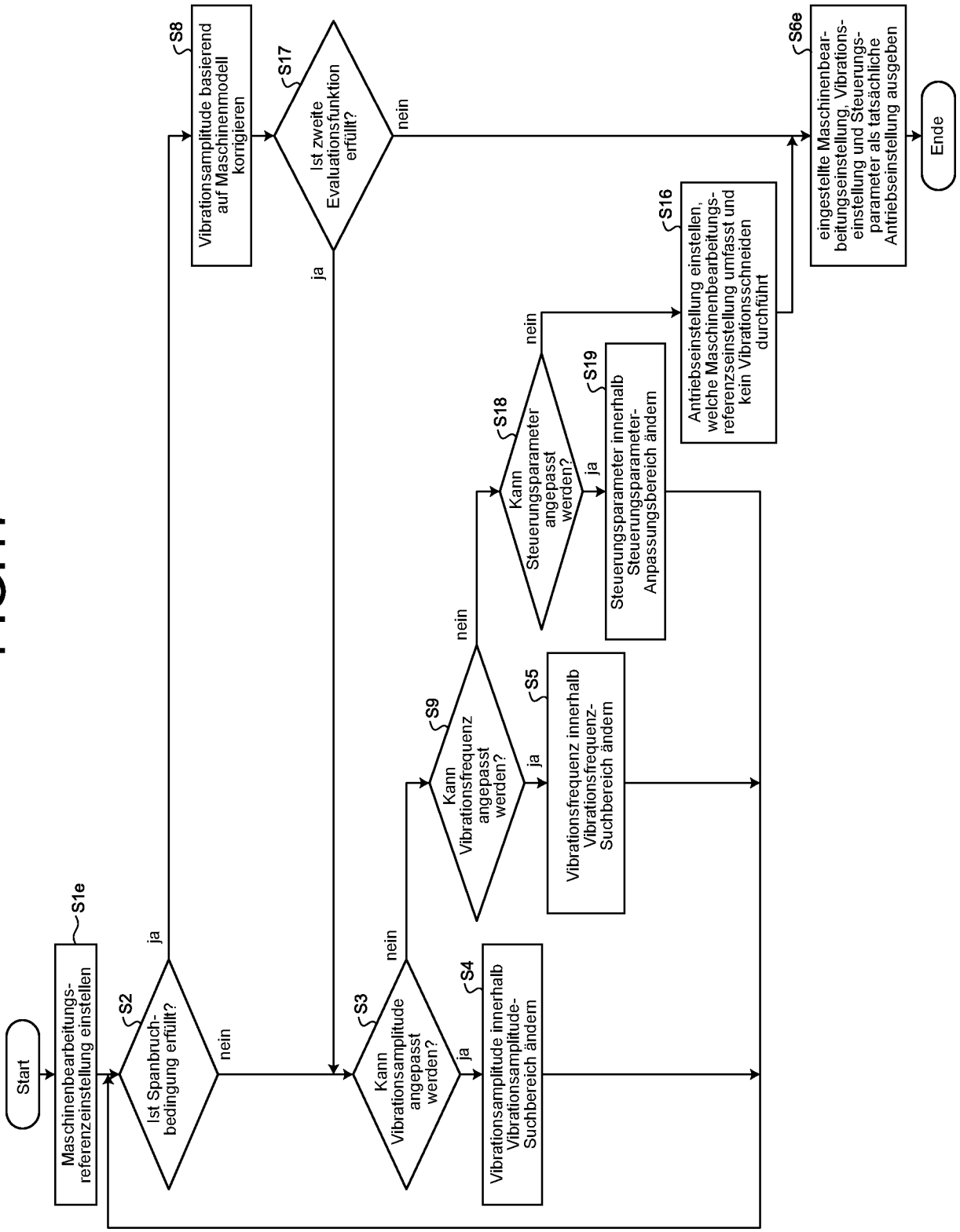

Start
S1e
Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung einstellen
S2
Ist Spanbruch-bedingung erfüllt?
ja
nein
S8
Vibrationsamplitude basierend auf Maschinenmodell korrigieren
S17
Ist zweite Evaluationsfunktion erfüllt?
ja
nein
S6e
eingestellte Maschinenbear-beitungseinstellung, Vibrations-einstellung und Steuerungs-parameter als tatsächliche Antriebseinstellung ausgeben
Ende
S3
Kann Vibrationsamplitude angepasst werden?
nein
ja
S4
Vibrationsamplitude innerhalb Vibrationsamplitude-Suchbereich ändern
S9
Kann Vibrationsfrequenz angepasst werden?
nein
ja
S5
Vibrationsfrequenz innerhalb Vibrationsfrequenz-Suchbereich ändern
S18
Kann Steuerungsparameter angepasst werden?
nein
ja
S19
Steuerungsparameter innerhalb Steuerungsparameter-Anpassungsbereich ändern
S16
Antriebseinstellung einstellen, welche Maschinenbearbeitungs-referenzseinstellung umfasst und kein Vibrationsschneiden durchführt

FIG.18

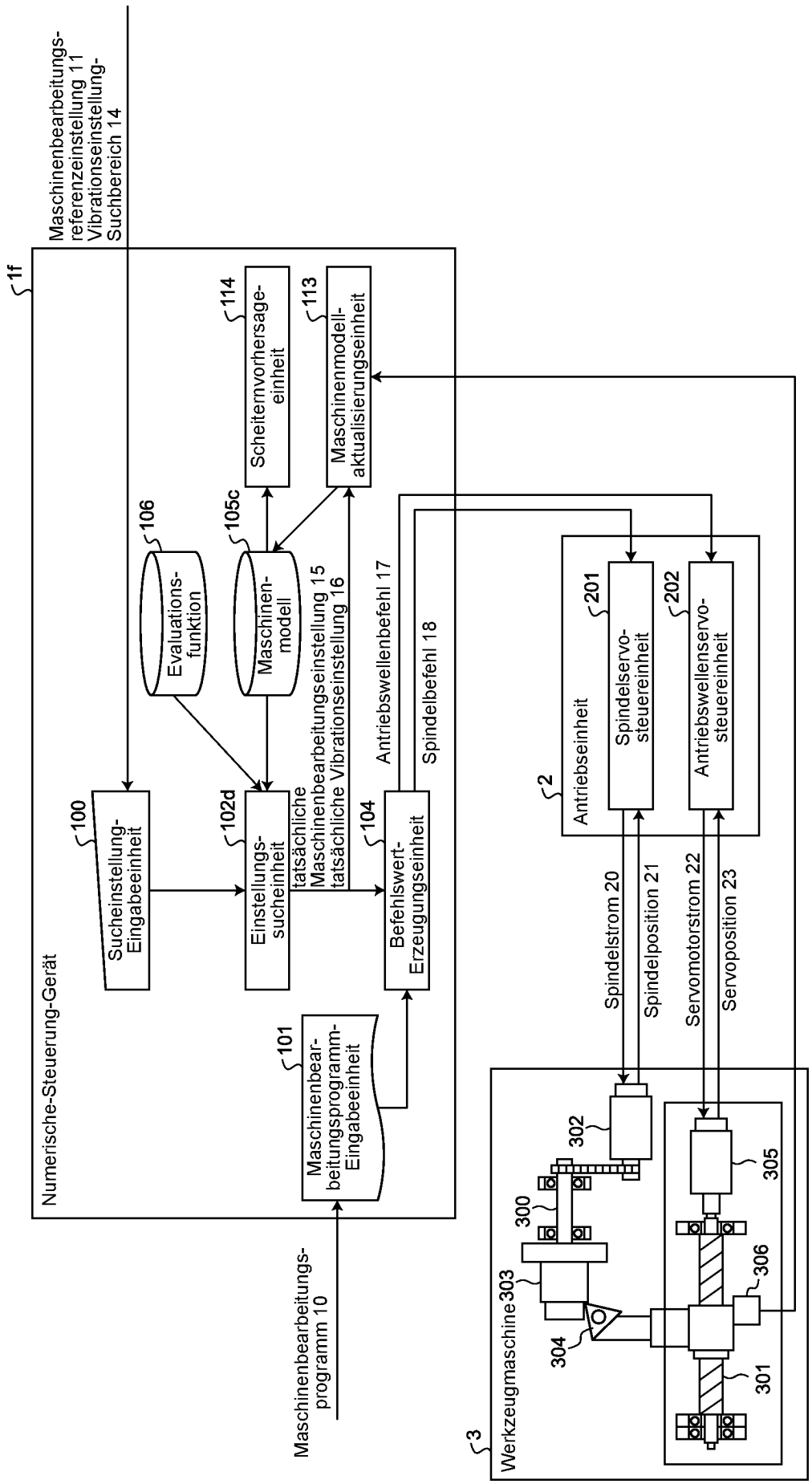

Maschinenbearbeitungs-referenzeinstellung 11
Vibrationseinstellung-Suchbereich 14
1f
Numerische-Steuerung-Gerät
Sucheinstellung-Eingabeeinheit
100
Einstellungs-sucheinheit
102d
Evaluations-funktion
106
Maschinen-modell
105c
Scheitenvorhersage-einheit
114
Maschinenmodell-aktualisierungseinheit
113
tatsächliche Maschinenbearbeitungseinstellung 15
tatsächliche Vibrationseinstellung 16
Befehlswert-Erzeugungseinheit
104
Antriebswellenbefehl 17
Spindelbefehl 18
Maschinenbear-beitungsprogramm-Eingabeeinheit
101
Maschinenbearbeitungs-programm 10
2
Antriebseinheit
Spindelservo-steuereinheit
201
Antriebswellenservo-steuereinheit
202
Spindelstrom 20
Spindelposition 21
Servomotorstrom 22
Servoposition 23
3
Werkzeugmaschine
300
301
302
303
304
305
306

FIG.19

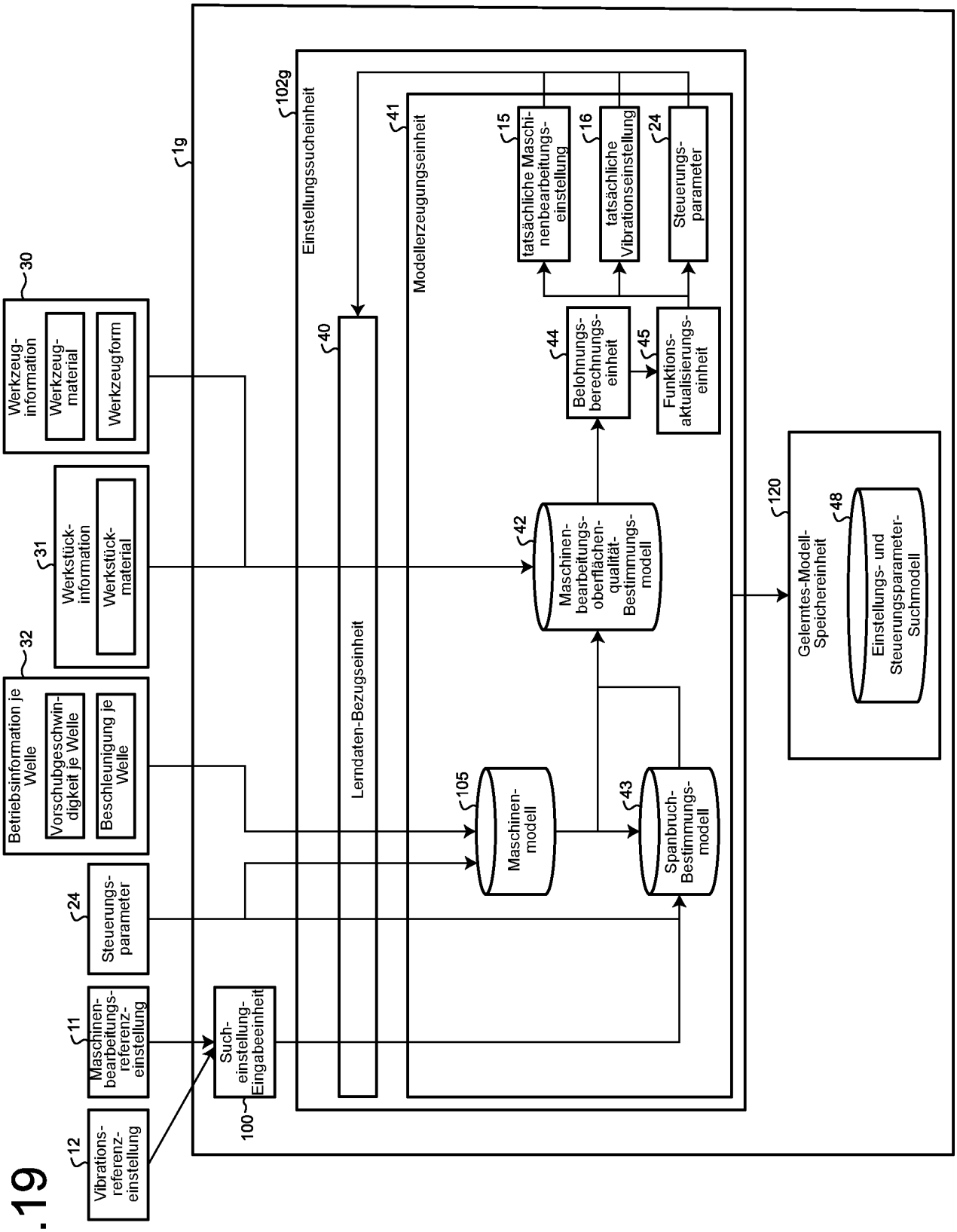

1g
Einstellungssucheinheit
102g
Modellerzeugungseinheit
41
Lerndaten-Bezugseinheit
40
15
tatsächliche Maschinenbearbeitungs-einstellung
16
tatsächliche Vibrationseinstellung
24
Steuerungs-parameter
44
Belohnungs-berechnungs-einheit
45
Funktions-aktualisierungs-einheit
42
Maschinen-bearbeitungs-oberflächen-qualität-Bestimmungs-modell
105
Maschinen-modell
43
Spanbruch-Bestimmungs-modell
120
Gelerntes-Modell-Speichereinheit
48
Einstellungs- und Steuerungsparameter-Suchmodell
30
Werkzeug-information
Werkzeug-material
Werkzeugform
31
Werkstück-information
Werkstück-material
32
Betriebsinformation je Welle
Vorschubgeschwin-digkeit je Welle
Beschleunigung je Welle
24
Steuerungs-parameter
11
Maschinen-bearbeitungs-referenz-einstellung
12
Vibrations-referenz-einstellung
100
Such-einstellung-Eingabeeinheit

FIG.20

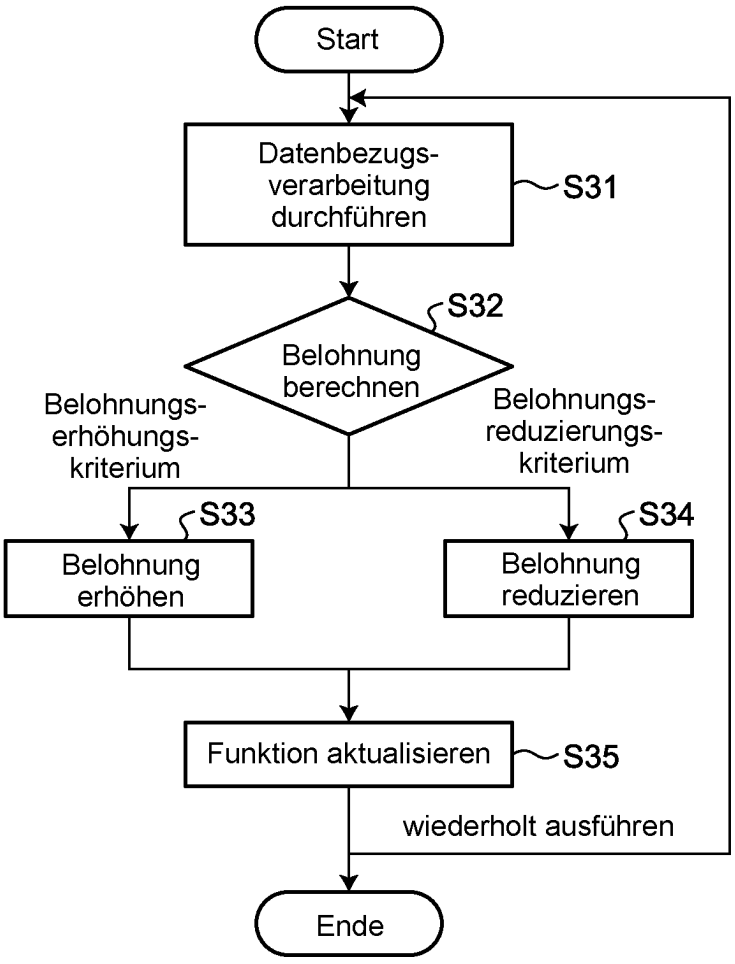

Start
Datenbezugs-verarbeitung durchführen
S31
S32
Belohnung berechnen
Belohnungs-erhöhungs-kriterium
Belohnungs-reduzierungs-kriterium
S33
S34
Belohnung erhöhen
Belohnung reduzieren
Funktion aktualisieren
S35
wiederholt ausführen
Ende

FIG.21

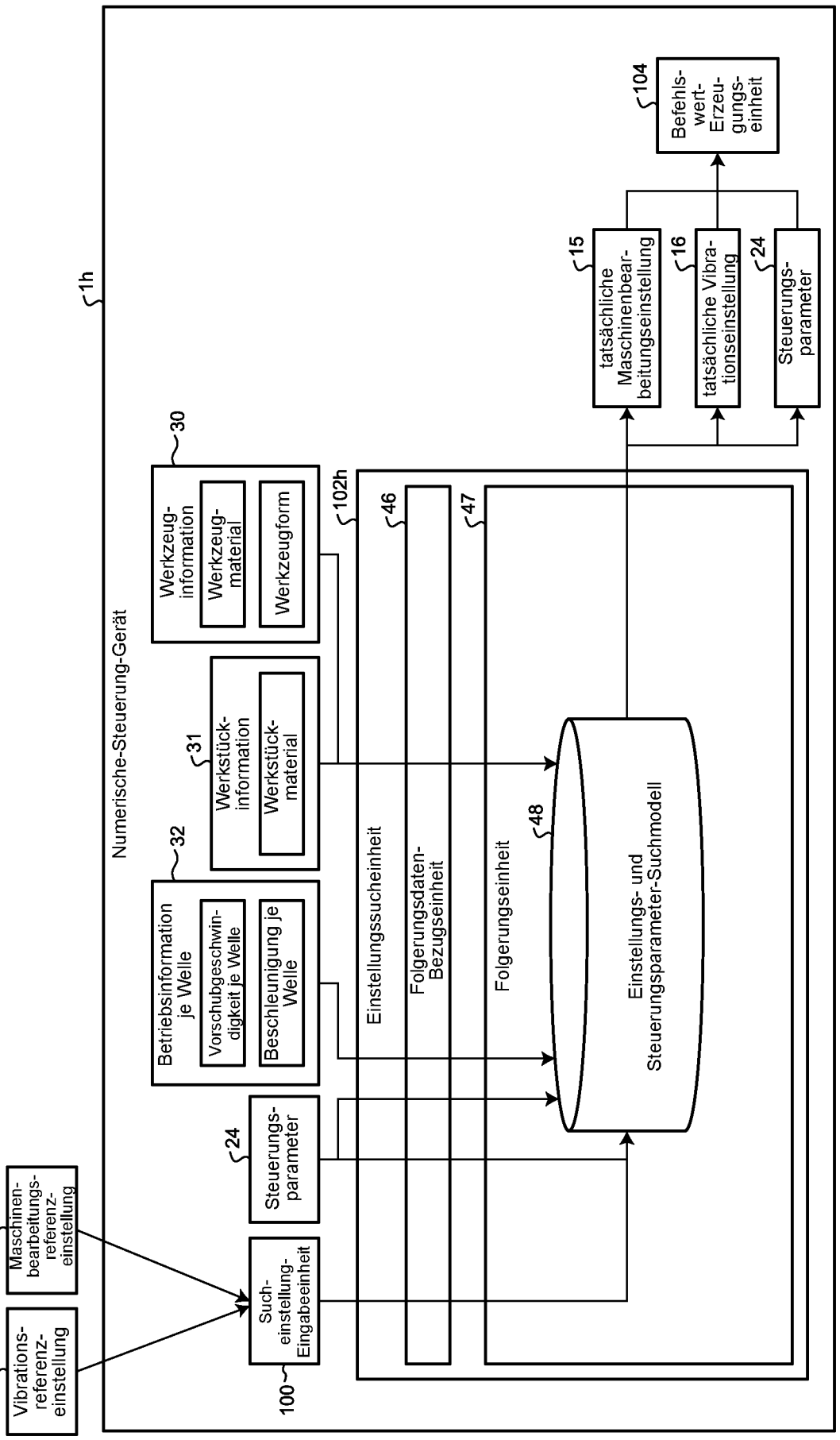

Vibrations-referenz-einstellung
12
Maschinen-bearbeitungs-referenz-einstellung
11
Such-einstellung-Eingabeeinheit
100
Steuerungs-parameter
24
Betriebsinformation je Welle
Vorschubgeschwin-digkeit je Welle
Beschleunigung je Welle
32
Werkstück-information
Werkstück-material
31
Werkzeug-information
Werkzeug-material
Werkzeugform
30
Numerische-Steuerung-Gerät
1h
102h
Einstellungssucheinheit
Folgerungsdaten-Bezugseinheit
46
Folgerungseinheit
47
Einstellungs- und Steuerungsparameter-Suchmodell
48
tatsächliche Maschinenbear-beitungseinstellung
15
tatsächliche Vibra-tionseinstellung
16
Steuerungs-parameter
24
Befehls-wert-Erzeu-gungs-einheit
104

FIG.22

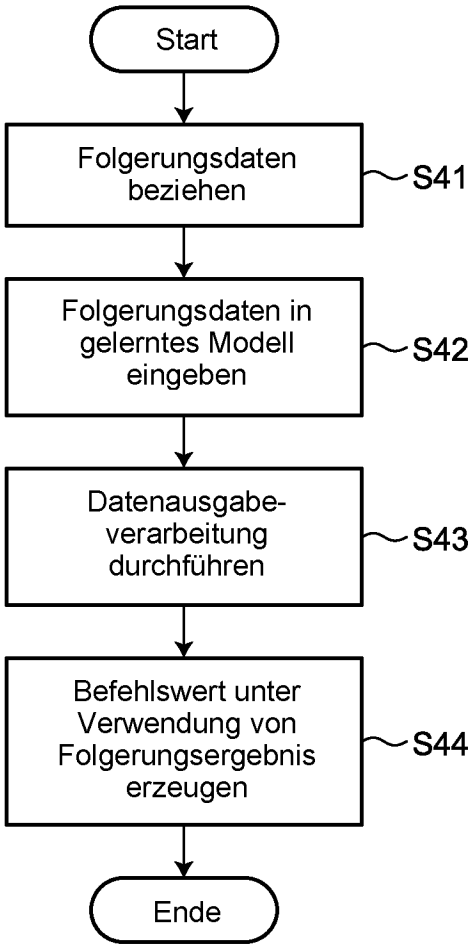

Start
Folgerungsdaten beziehen
S41
Folgerungsdaten in gelerntes Modell eingeben
S42
Datenausgabe-verarbeitung durchführen
S43
Befehlswert unter Verwendung von Folgerungsergebnis erzeugen
S44
Ende

FIG.23

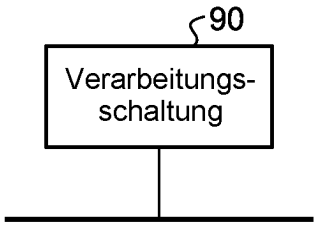


FIG.24

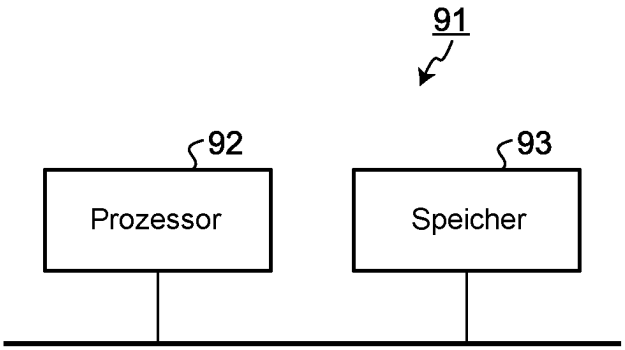
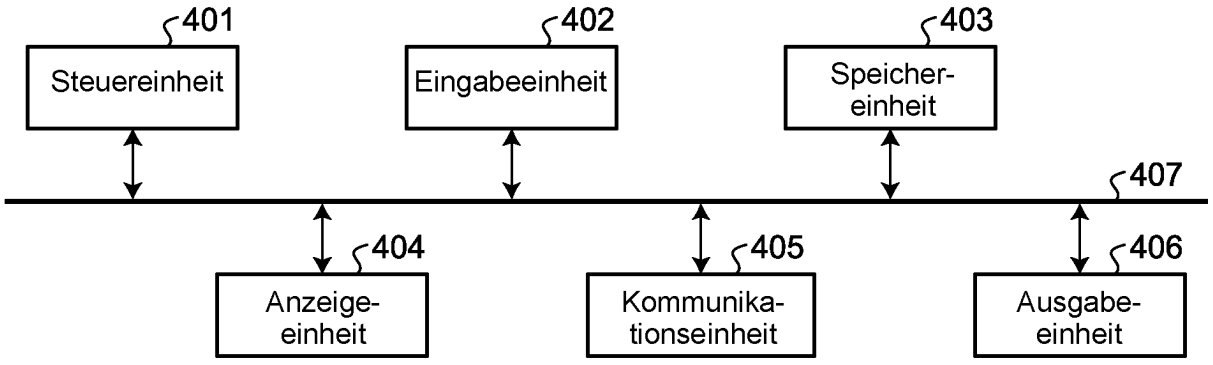


FIG.25



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.