

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
06. Februar 2020 (06.02.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/025103 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/418 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/070614

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Juli 2018 (30.07.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: FEITEN, Wendelin; Max-Löw-Str. 47, 85579 Neubiberg (DE). ALBRECHT, Sebastian; Theresienstraße 42, 85399 Hallbergmoos (DE). KAST, Bernd; Josef-Strobl-Str. 11, 89335 Ichenhausen (DE).

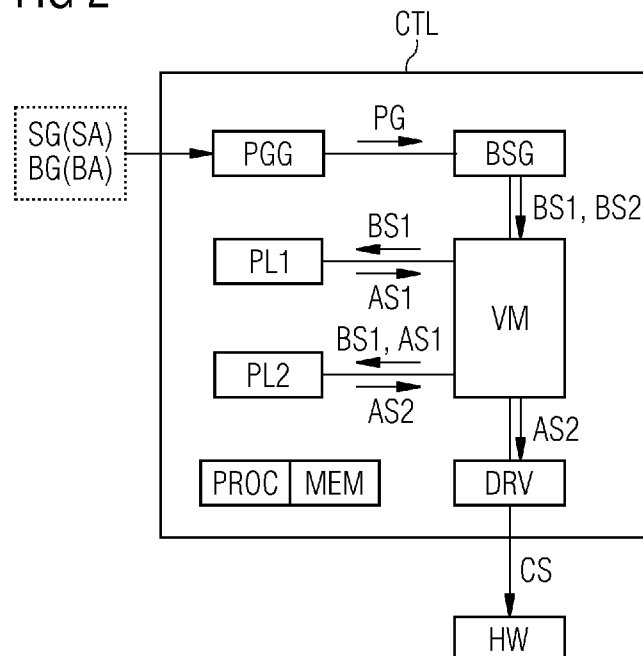
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING OR MACHINING A PRODUCT AND CONTROL DEVICE FOR CONTROLLING A PRODUCTION SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM HERSTELLEN ODER BEARBEITEN EINES PRODUKTS SOWIE STEUEREINRICHTUNG ZUM STEUERN EINES PRODUKTIONSSYSTEMS

FIG 2



(57) Abstract: According to the invention, for producing or machining a product (P), differently detailed structural information (SA) about a structure of the product and digital machining information (BA) about a machining process are read in. The structural information (SA) is examined as to whether a respective item of structural information is given further detail by a respective other structure. Furthermore, a plurality of machining sequences (BS1, BS2) for the product is generated from the structural information (SA) and machining information (BA) in such a way that an item of structural information (ZSA1) from a first machining sequence (BS1) is given further detail by an item of structural information (ZSA2) from a second machining sequence (BS2). The first machining sequence



WO 2020/025103 A1

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(BS1) is then transmitted to a first planning module (PL1) and the second machining sequence (BS2) is transmitted to a second planning module (PL2). By means of the received machining sequence (BS1, BS2), the planning modules (PL1, PL2) in each case generate an action sequence (AS1, AS2) as a planning result, a planning result (AS1) of the first planning (PL1) being taken into consideration by the second planning module (PL2) during generation of the action sequence (AS2) thereof. Control signals (CS) for controlling the production system (PS) are then generated and output by means of the action sequence (AS2) generated by the second planning module (PL2).

(57) Zusammenfassung: Erfindungsgemäß werden zum Herstellen oder Bearbeiten eines Produkts (P) unterschiedlich detaillierte Strukturangaben (SA) über eine Struktur des Produkts sowie digitale Bearbeitungsangaben (BA) über einen Bearbeitungsprozess eingelesen. Die Strukturangaben (SA) werden dahingehend geprüft, ob eine jeweilige Strukturangabe durch eine jeweilige andere Strukturangabe weiter detailliert wird. Weiterhin werden aus den Strukturangaben (SA) und Bearbeitungsangaben (BA) mehrere Bearbeitungssequenzen (BS1, BS2) für das Produkt derart generiert, dass eine Strukturangabe (ZSA1) aus einer ersten Bearbeitungssequenz (BS1) durch eine Strukturangabe (ZSA2) aus einer zweiten Bearbeitungssequenz (BS2) weiter detailliert wird. Die erste Bearbeitungssequenz (BS1) wird dann zu einem ersten Planungsmodul (PL1) und die zweite Bearbeitungssequenz (BS2) zu einem zweiten Planungsmodul (PL2) übermittelt. Die Planungsmodul (PL1, PL2) generieren jeweils anhand der empfangenen Bearbeitungssequenz (BS1, BS2) eine Aktionssequenz (AS1, AS2) als Planungsergebnis, wobei ein Planungsergebnis (AS1) des ersten Planungsmoduls (PL1) durch das zweite Planungsmodul (PL2) bei der Generierung seiner Aktionssequenz (AS2) berücksichtigt wird. Anhand der vom zweiten Planungsmodul (PL2) generierten Aktionssequenz (AS2) werden dann Steuersignale (CS) zum Steuern des Produktionssystems (PS) generiert und ausgegeben.

Beschreibung

Verfahren zum Herstellen oder Bearbeiten eines Produkts sowie
Steuereinrichtung zum Steuern eines Produktionssystems

5

Zeitgemäße Produktionssysteme zur Herstellung oder Bearbei-
tung von technischen Produkten weisen in der Regel viele in-
teragierende Produktionsmodule, wie zum Beispiel Roboter,
CNC-Maschinen, 3D-Drucker, Reaktoren, Brenner, Heizanlagen
10 oder Förderbänder auf, die eine Vielzahl von Bearbeitungs-
und Handhabungsschritten am Produkt ausführen.

Zur Planung eines Produktionsprozesses für ein Produkt sind
die Aktionen der Produktionsmodule aufeinander abzustimmen
15 und vorzugsweise hinsichtlich vorgegebener Kriterien zu opti-
mieren. Für moderne Produktionssysteme wird häufig ange-
strebt, dass möglichst kurzfristig unterschiedliche Produkte
oder verschiedene Varianten von Produkten hergestellt oder
bearbeitet werden können. Jede Änderung erfordert aber in der
20 Regel eine erneute Abstimmung und Optimierung der erforderli-
chen Aktionssequenzen für die beteiligten Produktionsmodule.

Zur Unterstützung der Planung sind mittlerweile spezialisier-
te Planungsprogramme verfügbar, mit denen sich ausgehend von
25 spezifischen Planungsaufgaben geeignete Aktionssequenzen für
Produktionsmodule generieren lassen. Derartige Planungsaufga-
ben lassen sich beispielsweise mittels geeigneter Beschrei-
bungssprachen wie PDDL (Planning Domain Definition Language)
oder OWL (Web Ontology Language) in maschinenlesbarer Weise
30 ausdrücken und automatisiert verarbeiten. Die verfügbaren
Planungsprogramme sind in der Regel jeweils auf eine vorgege-
bene Planungsebene oder Planungsdomäne spezialisiert, wie zum
Beispiel auf Planungen auf symbolischer Ebene mittels PDDL
oder OWL oder auf konkrete Planungen, wie beispielsweise Be-
35 wegungsplanungen. Eine automatische, domänenübergreifende Ab-
stimmung oder Optimierung von Aktionssequenzen ist allerdings
in der Regel nicht vorgesehen, sondern wird oft manuell durch

Experten ausgeführt. Dies ist jedoch, insbesondere bei häufig wechselnden Produkten oder Produktvarianten sehr aufwendig.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein rechnerge-
5 stütztes Verfahren zum Herstellen oder Bearbeiten eines Produkts sowie eine Steuereinrichtung zum Steuern eines Produktionssystems anzugeben, mit denen sich ein Planungsaufwand und/oder Produktionsaufwand verringern lässt.

10 Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, durch eine Steuereinrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 13, durch ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 sowie
15 durch ein computerlesbares Speichermedium mit den Merkmalen des Patentanspruchs 15.

Erfindungsgemäß werden zum Herstellen oder Bearbeiten eines Produkts durch ein Produktionssystem, unterschiedlich detail-
20 lierte, digitale Strukturangaben über eine Struktur des Produkts oder eines Vorprodukts sowie digitale Bearbeitungsangaben über einen Bearbeitungsprozess des Produkts oder eines Vorprodukts eingelesen. Unter einem Vorprodukt ist hierbei insbesondere eine Vorstufe oder ein Vorzustand des Produkts oder eines Produktteils, ein Ausgangsprodukt, ein Zwischen-
25 produkt, ein Teilprodukt oder ein am Anfang der Fertigung vorliegendes Produktteil oder eine Vorstufe des Produkts, allgemein ein dem fertigen Produkt vorhergehender Produktionszustand zu verstehen. Die Strukturangaben werden dahingehend geprüft, ob eine jeweilige Strukturangabe durch eine je-
30 weilige andere Strukturangabe weiter detailliert wird. Weiterhin werden aus den Strukturangaben und Bearbeitungsangaben mehrere Bearbeitungssequenzen für das Produkt derart generiert, dass eine Strukturangabe aus einer ersten Bearbeitungssequenz durch eine Strukturangabe aus einer zweiten Be-
35 arbeitungssequenz weiter detailliert wird. Die erste Bearbeitungssequenz wird dann zu einem ersten Planungsmodul und die zweite Bearbeitungssequenz zu einem zweiten Planungsmodul übermittelt. Die Planungsmodule generieren jeweils anhand der

empfangenen Bearbeitungssequenz eine Aktionssequenz als Planungsergebnis, wobei ein Planungsergebnis des ersten Planungsmoduls durch das zweite Planungsmodul bei der Generierung seiner Aktionssequenz berücksichtigt wird. Anhand der vom zweiten Planungsmodul generierten Aktionssequenz werden dann Steuersignale zum Steuern des Produktionssystems generiert und ausgegeben.

Zum Ausführen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind eine Steuereinrichtung, ein Computerprogrammprodukt sowie ein computerlesbares Speichermedium vorgesehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren sowie die erfindungsgemäße Steuereinrichtung können beispielsweise mittels eines oder mehrerer Computer, Prozessoren, anwendungsspezifischer integrierter Schaltungen (ASIC), digitaler Signalprozessoren (DSP) und/oder sogenannter „Field Programmable Gate Arrays“ (FPGA) ausgeführt bzw. implementiert werden.

Ein Vorteil der Erfindung ist insbesondere darin zu sehen, dass durch die Zerlegung des gesamten Planungsproblems in mehrere Sub-Planungsprobleme ein für die Planung erforderlicher Rechenaufwand häufig erheblich reduziert werden kann. In vielen Fällen wird hierdurch eine Planung in Echtzeit während der Fertigung ermöglicht. Dabei kann durch die planungsmodulübergreifende Berücksichtigung von Planungsergebnissen eine domänenübergreifende Aktionsoptimierung realisiert werden. Darüber hinaus können für eine Produktionsplanung und für eine Produktionssteuerung häufig gleiche Modelle und somit einheitliche Schnittstellen verwendet werden.

Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung können die Strukturangaben als Knoten in einem oder mehreren digitalen Strukturgraphen gespeichert werden. Unter einem digitalen Graphen ist hier und im Folgenden insbesondere eine

digitale Datenstruktur mit Knoten und als Kanten bezeichneten Verweisen auf Knoten zu verstehen. Ein Strukturgraph kann rekursiv angeben, wie sich ein Produkt oder eine Produktstruktur aus Teilstrukturen zusammensetzt. So kann beispielsweise
5 eine Produktstruktur im Strukturgraphen durch einen Knoten spezifiziert werden, der auf Subknoten verweist, die jeweils eine Teilstruktur dieser Produktstruktur spezifizieren. Ein Strukturgraph kann insbesondere als Baumgraph realisiert sein.

10

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann bei der Prüfung, ob eine erste Strukturangabe durch eine zweite Strukturangabe weiter detailliert wird, geprüft werden, ob ein vom Knoten der ersten Strukturangabe ausgehender Teilstrukturgraph einen vom Knoten der zweiten Strukturangabe ausgehenden Teilstrukturgraphen enthält. Alternativ oder zusätzlich kann geprüft werden, ob der Knoten der zweiten Strukturangabe dem Knoten der ersten Strukturangabe in einem Strukturgraphen hinsichtlich seiner Verweisstruktur nachfolgt. Die vorstehenden Prüfungen lassen sich auf einfache
15 20 Weise implementieren.

25

Weiterhin können die Strukturangaben jeweils ein Attribut umfassen, das einen Detaillierungsgrad oder Verallgemeinerungsgrad angibt. Die Prüfung, ob eine jeweilige Strukturangabe durch eine jeweilige andere Strukturangabe weiter detailliert wird, kann dann anhand der Attribute erfolgen.

30

Vorteilhafterweise können die Strukturangaben und die Bearbeitungsangaben jeweils als Knoten in einem digitalen Produktionsgraphen derart gespeichert werden, dass eine jeweilige Strukturangabe, die eine jeweils andere Strukturangabe weiter detailliert, dieser im Produktionsgraphen hinsichtlich seiner Verweisstruktur nachfolgt. Durch einen solchen Produktionsgraphen können Bearbeitungs- und/oder Herstellungsschritte
35 für das Produkt in flexibler Weise auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen spezifiziert und organisiert werden.

Vorzugsweise können die Bearbeitungssequenzen jeweils als Teilgraph des Produktionsgraphen generiert werden. Hierzu kann der Produktionsgraph in Teilgraphen segmentiert werden.

5 Nach einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung können aus den Strukturangaben Zielstrukturangaben selektiert werden, die jeweils einen Zielzustand des Produkts spezifizieren. Die Bearbeitungssequenzen können dann derart generiert werden, dass eine Zielstrukturangabe aus der ersten Bearbeitungssequenz durch eine Zielstrukturangabe aus der zweiten
10 Bearbeitungssequenz weiter detailliert wird. Zu diesem Zweck können Zielstrukturangaben aus verschiedenen Zweigen des Produktionsgraphen verglichen werden und abhängig davon eine Gruppe von Zielstrukturangaben auf unterschiedlichen Detail-
15 lierungsebenen selektiert und bereitgestellt werden.

Vorzugsweise kann beim Generieren einer jeweiligen Bearbeitungssequenz, dieser Bearbeitungssequenz ausgehend von einer jeweiligen Zielstrukturangabe sukzessive mindestens eine
20 Strukturangabe und mindestens eine Bearbeitungsangabe zugeordnet werden, durch die eine Überführung mindestens eines Vorprodukts durch mindestens einen Bearbeitungsprozess in den jeweiligen Zielzustand spezifiziert wird.

25 Die Generierung einer jeweiligen Bearbeitungssequenz kann beendet werden, sobald alle Anfangspunkte der Bearbeitungssequenz nur vorgegebene Ausgangsprodukte umfassen. Auf diese Weise können Bearbeitungssequenzen auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen generiert werden, die jeweils einen voll-
30 ständigen Produktionsweg von den Ausgangsprodukten bis zum Endprodukt spezifizieren.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann ein Planungsergebnis des zweiten Planungsmoduls anhand eines vorgegebenen Kriteriums bewertet werden. Abhängig von dieser Bewertung kann dann veranlasst werden, dass das erste Planungs-
35 modul eine neue Aktionssequenz generiert und/oder dass eine neue Bearbeitungssequenz generiert wird. Als Kriterium kann

beispielsweise ein Zeitbedarf, ein Ressourcenverbrauch, ein Materialverbrauch, ein Verschleiß oder Emissionen des durch das Planungsergebnis bedingten Produktionsablaufs herangezogen werden. Durch eine derartige dynamische Neugenerierung von Aktionssequenzen oder Bearbeitungssequenzen kann die Bearbeitung flexibel an wechselnde Produktionsbedingungen angepasst werden.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass falls ein Planungsmodul oder ein Hardware-Treiber des Produktionssystems einen Fehler meldet, eine neue Bearbeitungssequenz unter Berücksichtigung des Fehlers generiert wird. Auf diese Weise können Fehler im Produktionsablauf in vielen Fällen selbständig vermieden werden.

Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung können die generierten Aktionssequenzen jeweils zusammen mit einer zugeordneten Detaillierungsangabe ausgegeben, insbesondere visualisiert werden. Auf diese Weise können aktuelle Planungsergebnisse detaillierungsebenenspezifisch dargestellt werden, wodurch eine Überwachung des Produktionssystems durch einen Benutzer vereinfacht wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen jeweils in schematischer Abbildung:

Figur 1 ein Produktionssystem zur Herstellung von Produkten,

Figur 2 eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung beim Steuern eines Produktionssystems,

Figur 3 einen Strukturgraphen zum Speichern von Strukturangaben über eine Produktstruktur,

Figur 4 einen Bearbeitungsgraphen zum Speichern von Bearbeitungsangaben über einen Bearbeitungsprozess und

Figur 5 einen Ausschnitt eines erfindungsgemäßen Produktionsgraphen.

5 Figur 1 zeigt ein Produktionssystem PS, zum Beispiel eine Fertigungsanlage zur Herstellung von unterschiedlichen Produkten in schematischer Darstellung. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel soll durch das Produktionssystem PS ein Produkt P, zum Beispiel ein Motor, ein Kraftfahrzeug, eine Baugruppe,
10 eine elektronische Schaltung, ein Prozessor, ein Werkzeug oder ein anderes mechanisches, chemisches und/oder elektronisches Produkt hergestellt oder bearbeitet werden.

Das Produktionssystem PS verfügt über eine Vielzahl von Produktionsmodulen PMA, PMB, ..., zum Beispiel Roboter, CNC-Maschinen, 3D-Drucker, Reaktoren, Schweißgeräte, Brenner, Heizanlagen oder Förderbänder. Durch die Produktionsmodule PMA, PMB, ... werden Ausgangsprodukte AP, das heißt am Anfang der Fertigung vorliegende und zur Herstellung des Produkts P erforderliche Vorprodukte bearbeitet und/oder zusammengesetzt, um letztlich das Produkt P zu erhalten.
20

Das Produktionssystem PS verfügt weiterhin über eine Steuereinrichtung CTL zum Steuern der Produktionssysteme PS. Die Steuereinrichtung CTL kann als Teil des Produktionssystem PS oder ganz oder teilweise extern zum Produktionssystem PS implementiert sein.
25

Unter einem Steuern sei hierbei insbesondere ein Ansteuern der Produktionsmodule PMA, PMB, ... oder eines anderen Teils des Produktionssystem PS verstanden, so dass diese eine gewünschte Aktion im Produktionsprozess vornehmen. Darüber hinaus sei unter einem Steuern auch ein Ausgeben und Verwenden von steuerungsrelevanten, das heißt zum Steuern des Produktionssystem beiträgenden Daten und Steuersignalen, insbesondere zur Überwachung, Wartung und/oder Betriebsoptimierung des Produktionssystem PS und/oder zur Verschleiß- oder Beschädigungserkennung verstanden.
30
35

Zum Steuern der Produktherstellung werden zur Steuereinrichtung CTL digitale Strukturangaben SA über eine Struktur des Produkts P und/oder seiner Vorprodukte sowie digitale Bearbeitungsangaben BA über zur Herstellung des Produkts und/oder seiner Vorprodukte erforderliche Bearbeitungsprozesse übermittelt. Die Strukturangaben SA können eine sogenannte BOM (Bill of Materials) und die Bearbeitungsangaben BA eine sogenannte BOP (Bill of Process) umfassen.

10

Erfindungsgemäß umfassen die Strukturangaben SA und die Bearbeitungsangaben BA unterschiedlich detaillierte Strukturangaben bzw. Bearbeitungsangaben. Auf diese Weise kann die Herstellung des Produkts P auf unterschiedlichen semantischen Ebenen bzw. Detaillierungsebenen, Abstraktionsebenen oder Verallgemeinerungsebenen spezifiziert werden. Dabei kann eine Produktstruktur oder ein Bearbeitungsprozess einerseits auf einer symbolischen Beschreibungsebene, das heißt mit geringer Detaillierungstiefe mittels symbolischer Beschreibungssprachen wie PDDL oder OWL beschrieben werden. Beispielsweise kann so spezifiziert werden, dass das Produkt einen Grundkörper sowie einen Deckel aufweist, der auf dem Grundkörper zu befestigen ist. Andererseits können detailliertere Strukturangaben die genauen Abmessungen des Grundkörpers und des Deckels spezifizieren sowie eine Position angeben, in der der Deckel auf dem Grundkörper zu befestigen ist. Durch noch weiter detaillierte Strukturangaben SA oder Bearbeitungsangaben BA kann weiter spezifiziert werden, wo welche Bohrungen am Grundkörper bzw. Deckel anzubringen sind, um diesen zu befestigen.

30

Allgemein gibt eine detailliertere Strukturangabe gegenüber einer weniger detaillierten Strukturangabe mindestens eine weitere Eigenschaft oder Struktur des Produkts an oder verfeinert oder untergliedert eine oder mehrere bereits in der weniger detaillierten Strukturangabe spezifizierten Eigenschaften oder Strukturen. Entsprechend gibt eine detailliertere Bearbeitungsangabe gegenüber einer weniger detaillierten

35

Bearbeitungsangabe mindestens einen weiteren Bearbeitungsschritt an oder verfeinert oder untergliedert einen bereits in der weniger detaillierten Bearbeitungsangabe angegebenen Bearbeitungsschritt. Ob eine vorgegebene Strukturangabe eine
5 andere Strukturangabe weiter detailliert, kann mittels eines Parsers und/oder durch Vergleich von Strukturelementen auf einfache Weise festgestellt werden.

Erfindungsgemäß werden aus den Strukturangaben SA und den Bearbeitungsangaben BA unterschiedlich detaillierte Bearbeitungssequenzen, das heißt Bearbeitungssequenzen auf unterschiedlichen semantischen Ebenen generiert und wie nachfolgend beschrieben, jeweils einem auf die betreffende semantische Ebene spezialisierten Planungsmodul zugeführt.
10

Anhand der Strukturangaben SA und der Bearbeitungsangaben BA generiert die Steuereinrichtung CTL für jedes der Produktionsmodule PMA, PMB, ... eine spezifische Aktionssequenz ASA, ASB, ..., anhand der das betreffende Produktionsmodul PMA, PMB, ... gesteuert wird.
15
20

Figur 2 zeigt in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Steuereinrichtung CTL beim Steuern eines Produktionssystems. Das Produktionssystem kann dabei wie im Zusammenhang mit Figur 1 beschrieben implementiert sein.
25

Die Steuereinrichtung CTL verfügt zur Implementierung des erfindungsgemäßen Verfahrens über einen Computer oder Prozessor PROC zum Ausführen aller Verfahrensschritte sowie einen Speicher MEM zum Speichern von im Rahmen des Verfahrens zu bearbeitenden Daten.
30

Durch die Steuereinrichtung CTL werden unterschiedlich detaillierte digitale Strukturangaben SA über eine Struktur eines herzustellenden Produkts und/oder seiner Vorprodukte sowie unterschiedlich detaillierte digitale Bearbeitungsangaben BA über einen Bearbeitungsprozess des Produkts und/oder seiner Vorprodukte eingelesen. Die Strukturangaben SA und die
35

Bearbeitungsangaben BA können wie im Zusammenhang mit Figur 1 beschrieben ausgestaltet sein.

5 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel werden die Strukturangaben SA in Form von digitalen Strukturgraphen SG und die Bearbeitungsangaben BA in Form von digitalen Bearbeitungsgraphen BG zur Steuereinrichtung CTL übermittelt.

10 Ein derartiger digitaler Strukturgraph SG zum Speichern von unterschiedlich detaillierten Strukturangaben über eine Struktur eines Produkts oder eines Vorprodukts ist in Figur 3 schematisch dargestellt.

15 Der Strukturgraph SG ist ein gerichteter Graph mit einer Vielzahl von Knoten und Verweisen auf Subknoten. Der Strukturgraph SG spezifiziert eine Produktstruktur in deklarativer Weise auf unterschiedlichen semantischen Ebenen, Detaillierungsebenen, Abstraktionsebenen, Verallgemeinerungsebenen bzw. in unterschiedlichen Planungsdomänen. Der Strukturgraph
20 SG wird durch eine digitale, verlinkte Datenstruktur, vorzugsweise durch Klasseninstanzen im Sinne der objektorientierten Programmierung implementiert. Die Knoten dieser Datenstruktur umfassen Strukturangaben, die einen jeweiligen Aspekt der Struktur des herzustellenden oder zu bearbeitenden
25 Produkts oder eines Teils davon jeweils auf einer spezifischen semantischen Ebene charakterisieren. Die Strukturangaben des Strukturgraphen SG sind, wie im Zusammenhang mit Figur 1 beschrieben, unterschiedlich detailliert.

30 Die Knoten des Strukturgraphen SG können auf weitere Knoten verweisen. Diese Verweise bilden die gerichteten Kanten des Strukturgraphen SG. Die Kanten charakterisieren eine Implementierungsbeziehung oder Detaillierungsbeziehung zwischen den Knoten. Die Verweise zeigen dabei jeweils in Richtung
35 größerer Detaillierung. Das heißt ein Verweis von einem erste Produktstruktur spezifizierenden Knoten zu einem eine zweite Produktstruktur spezifizierenden Knoten gibt an, dass

die zweite Produktstruktur die erste weiter detailliert und/oder eine Substruktur der ersten Struktur bildet.

Die Strukturangaben des Strukturgraphen SG umfassen im vor-
5 liegenden Ausführungsbeispiel eine Strukturangabe P über ein herzustellendes Produkt, das heißt über ein Endprodukt bzw. ein Produkt in einem Zielzustand. Die Strukturangabe P bildet damit eine Zielstrukturangabe, die vorzugsweise durch eine Zielinstanz implementiert wird.

10

Die Strukturangabe P verweist auf Strukturangaben P1 und P2 über Teilprodukte des herzustellenden Produkts. Die Verweise spezifizieren hierbei, dass das Produkt durch die Strukturangaben P1 und P2 über die Teilprodukte weiter detailliert
15 wird. Die Teilprodukte können zum Beispiel ein Grundkörper des Produkts und ein auf dem Grundkörper anzubringender Deckel des Produkts sein.

Weiterhin wird die Strukturangabe P1 durch Strukturangaben
20 P3, P4, ... über weitere Teilprodukte und die Strukturangabe P2 durch Strukturangaben POS, ORI und DRL weiter detailliert, was durch entsprechend gerichtete Kanten repräsentiert wird. Die Strukturangabe POS spezifiziert hierbei eine Zielposition und die Strukturangabe ORI eine Zielorientierung des Teilprodukts P2. Die Strukturangaben POS und ORI können insbesondere
25 Koordinatenangaben und Winkelangaben umfassen. Die Strukturangabe DRL beschreibt ihrerseits ein am Teilprodukt P2 anzubringendes Bohrloch. Auch das Bohrloch ist weiter durch Position, Orientierung und Bohrlochdurchmesser detaillierbar, wo-
30 für weitere Verweise auf entsprechende Strukturangaben vorgesehen sein können.

Ein digitaler Bearbeitungsgraph BG zum Speichern von Bearbeitungsangaben über einen Bearbeitungsprozess des herzustellenden Produkts oder eines seiner Vorprodukte ist in Figur 4
35 schematisch dargestellt.

Der Bearbeitungsgraph BG ist ein gerichteter Graph mit Knoten und Verweisen auf Knoten. Derartige Bearbeitungsgraphen spezifizieren Fähigkeiten des Produktionssystems und der darin ablaufenden Bearbeitungsprozesse. Der Bearbeitungsgraph BG spezifiziert insbesondere prozedurale Beziehungen zwischen Vorprodukten und sich daraus durch einen Bearbeitungsprozess ergebenden Folgeprodukten auf einer spezifischen semantischen Ebene, Detaillierungsebene, Abstraktionsebene, Verallgemeinerungsebene bzw. in einer spezifischen Planungsdomäne. Der Bearbeitungsgraph BG ist durch eine digitale, verlinkte Datenstruktur, vorzugsweise durch Klasseninstanzen implementiert.

Die Knoten dieser Datenstruktur umfassen Bearbeitungsangaben über einen Bearbeitungsprozess, der mindestens ein Vorprodukt in mindestens ein Folgeprodukt überführt, sowie Knoten eines Strukturgraphen, die das mindestens eine Vorprodukt und das mindestens eine Folgeprodukt auf der spezifischen semantischen Ebene der Bearbeitungsangabe charakterisieren. Derartige Bearbeitungsangaben werden häufig auch als Operatoren bezeichnet. Darüber hinaus können im Bearbeitungsgraphen BG auch Angaben über Produktionsmodule, die den betreffenden Bearbeitungsprozess ausführen, als Knoten gespeichert werden.

Die Knoten des Bearbeitungsgraphen BG können auf andere Knoten verweisen. Diese Verweise bilden die gerichteten Kanten des Bearbeitungsgraphen BG, die in Richtung des Produktionsverlaufs oder Produktionsflusses zeigen. Das heißt der Knoten des mindestens einen Vorprodukts verweist auf den Knoten der Bearbeitungsangabe, der wiederum auf den Knoten des mindestens einen Folgeprodukts verweist. Insofern ein Knoten eines Strukturgraphen – wie im Zusammenhang mit Figur 3 bereits erläutert – Verweise auf einen oder mehrere andere Knoten des Strukturgraphen enthalten kann, kann ein Knoten des Strukturgraphen einen ganzen Teilstrukturgraphen repräsentieren. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Figur 4 indes nur die Ausgangsknoten solcher Teilstrukturgraphen explizit dargestellt.

Der Bearbeitungsgraph BG verknüpft somit Vorprodukte und gegebenenfalls Angaben über Produktionsmodule mit Folgeprodukten und spezifiziert damit insbesondere welche Vorprodukte durch einen jeweiligen Bearbeitungsschritt zu welchen Folgeprodukten führen. Mit anderen Worten: der Bearbeitungsgraph spezifiziert die für einen Bearbeitungsprozess benötigten Vorprodukte sowie die daraus resultierenden Folgeprodukte.

Mittels derartiger Bearbeitungsgraphen können Bearbeitungsprozesse auf unterschiedlichen semantischen Ebenen, Detaillierungsebenen, Abstraktionsebenen, Verallgemeinerungsebenen bzw. in unterschiedlichen Planungsdomänen charakterisiert werden. Zum Beispiel kann auf symbolischer Ebene angegeben werden, dass ein Deckel mit einem Grundkörper zu verbinden ist. Auf subsymbolischer Ebene kann dann weiter detailliert werden, dass Bohrungen mittels eines Bohrers am Deckel und am Grundkörper anzubringen sind, und dass der Deckel mit dem Grundkörper zu verschrauben ist. Durch weitere Bearbeitungsgraphen kann dann weiter detailliert werden, wo genau die Bohrungen und Schrauben anzubringen sind.

In dem durch Figur 4 veranschaulichten beispielhaften Bearbeitungsgraphen BG bildet eine digitale Bearbeitungsangabe JN einen Knoten, der eine Verbindung (englisch: join) von Vorprodukten zu einem zusammengefügt Produkt als Folgeprodukt spezifiziert. Die Vorprodukte werden im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch die Teilprodukte P1 und P2 gebildet, die auf den Knoten der Bearbeitungsangabe JN verweisen, der wiederum auf den Knoten P des herzustellenden Produkts als Folgeprodukt verweist. Durch die vorstehende Datenstruktur wird spezifiziert, dass die Teilprodukte P1 und P2 miteinander verbindbar sind, und dass das resultierende verbundene Objekt das Produkt P ist.

Die zur Ausführung des durch die Bearbeitungsangabe, hier JN, spezifizierten Bearbeitungsschritts erforderlichen Strukturangaben über die Vorprodukte oder das oder die Folgeprodukte sind den Strukturgraphen der Vorprodukte und Folgeprodukte

hier P1, P2 und P auf der für die Bearbeitungsangabe JN erforderlichen Detaillierungsebene zu entnehmen.

Wie durch Figur 2 weiter veranschaulicht, werden die Strukturgraphen SG und die Bearbeitungsgraphen BG einem
5 Produktionsgraphengenerator PGG der Steuereinrichtung CTL zugeführt. Der Produktionsgraphengenerator PGG generiert aus den Strukturgraphen SG und den Bearbeitungsgraphen BG einen digitalen Produktionsgraphen PG. Der Produktionsgraph PG wird
10 spezifisch für ein aktuell herzustellendes und zu bearbeitendes Produkt sowie für aktuell verfügbare Produktionsmodule des Produktionssystems PS generiert.

Figur 5 zeigt einen Ausschnitt eines erfindungsgemäßen Produktionsgraphen PG in schematischer Darstellung. Der Produktionsgraph PG ist ein gerichteter Graph mit Knoten und Verweisen auf Knoten oder Teilgraphen, der durch eine verlinkte Datenstruktur, vorzugsweise durch Klasseninstanzen implementiert wird.
20

Die Knoten dieser Datenstruktur umfassen Knoten von Strukturgraphen und Knoten von Bearbeitungsgraphen, die wie oben beschrieben implementiert sein können. Insofern die Knoten von Strukturgraphen und Bearbeitungsgraphen gegebenenfalls auf
25 andere Knoten verweisen, können die Knoten des Produktionsgraphen PG jeweils einen ganzen Teilstrukturgraphen bzw. Teilbearbeitungsgraphen repräsentieren. Aus Übersichtlichkeitsgründen ist in Figur 5 von derartigen Teilstrukturgraphen bzw. Teilbearbeitungsgraphen jeweils nur ein repräsentativer Knoten dargestellt; das heißt die im Zusammenhang mit
30 Figur 3 beschriebenen und in Richtung feinerer Detaillierung zeigenden Verweise zwischen Knoten von Strukturgraphen sind im Produktionsgraphen PG zwar vorhanden, aber in Figur 5 nicht explizit dargestellt.

35

Bei der Prüfung, ob ein erster Knoten eines Strukturgraphen einen zweiten Knoten eines Strukturgraphen weiter detailliert, wird festgestellt, ob ein vom ersten Knoten ausgehen-

der Teilstrukturgraph einen vom zweiten Knoten ausgehenden Teilstrukturgraphen enthält und/oder ob der zweite Knoten dem ersten Knoten im Strukturgraphen bzw. Produktionsgraphen PG hinsichtlich einer Verweisstruktur nachfolgt. Dies kann auf
5 einfache Weise mittels eines Parsers und/oder durch Vergleich von Datenstrukturen festgestellt werden. Alternativ oder zusätzlich können Knoten eines Strukturgraphen jeweils ein Attribut umfassen, das einen Detaillierungsgrad, eine semantische Ebene bzw. eine Planungsdomäne angibt. Abhängig von dieser Prüfung wird ein Verweis vom ersten Knoten auf den zweiten Knoten erzeugt. In vielen Fällen kann indes eine Verweisstruktur eines jeweiligen Strukturgraphen für den Produktionsgraphen PG übernommen werden.

15 Die in Figur 5 dargestellten, zwischen Knoten von Strukturangaben und Knoten von Bearbeitungsangaben verlaufenden Kanten des Produktionsgraphen PG verweisen – wie im Zusammenhang mit Figur 4 erläutert – in Richtung des Produktionsablaufs. Mithin werden die beteiligten Bearbeitungsgraphen bzw. deren
20 Knoten gemäß dem Produktionsablauf verlinkt. In vielen Fällen können diese Verweise von den beteiligten Bearbeitungsgraphen übernommen werden.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel umfasst der Produktionsgraph PG eine Strukturangabe PM über einen Roboterarm als
25 Produktionsmodul des Produktionssystems sowie eine Strukturangabe P über ein herzustellendes oder zu bearbeitendes Produkt. Die Strukturangabe P spezifiziert hierbei einen Zielzustand des Produkts durch unterschiedlich detaillierte Zielstrukturangaben ZSA1 und ZSA2, wobei die Zielstrukturangabe
30 ZSA1 durch die Zielstrukturangabe ZSA2 weiter detailliert wird.

Weiterhin umfasst der Produktionsgraph PG Strukturangaben P1,
35 P2, P3, P4, ... über Teilprodukte des Produkts, die zum Beispiel einen Grundkörper, einen darauf aufzusetzenden Deckel und weitere Teile des Produkts spezifizieren. Ferner enthält

der Produktionsgraph PG Strukturangaben PO1 und PO2 über Positionen und/oder Orientierungen des Roboterarms.

Die Bezugszeichen für die Strukturangaben PM, PO1, PO2, P, P1, P2, ... werden im Folgenden auch für die dadurch repräsentierten Produktionsmodule, Positionen, Produkte und Teilprodukte verwendet.

Darüber hinaus umfasst der Produktionsgraph PG Bearbeitungsangaben JN, MOV und PCK über auszuführende Bearbeitungsschritte. Im Einzelnen spezifiziert die Bearbeitungsangabe JN ein Verbinden von Vorprodukten zu einem zusammengesetzten Folgeprodukt, die Bearbeitungsangabe MOV eine Bewegung (englisch: move) des Roboterarms PM zu einer durch eine Strukturangabe, hier PO1 bzw. PO2 spezifizierten Zielposition und die Bearbeitungsangabe PCK ein Aufnehmen (englisch: pick) eines spezifizierten Teilprodukts durch den Roboterarm.

Der Produktionsgraph PG umfasst mehrere digitale Bearbeitungssequenzen auf unterschiedlichen semantischen Ebenen, Detaillierungsebenen Abstraktionsebenen, Verallgemeinerungsebene bzw. Planungsdomänen als Teilgraphen. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Figur 5 nur zwei beispielhafte Bearbeitungssequenzen BS1 und BS2 schematisch dargestellt.

Die Bearbeitungssequenzen BS1 und BS2 werden jeweils aus Strukturgraphen und Bearbeitungsgraphen als Abfolge von Strukturangaben und Bearbeitungsangaben gebildet. Eine jeweilige Abfolge spezifiziert hierbei auf einer bearbeitungssequenzspezifischen Detaillierungsebene eine Abfolge von Vorprodukten, Operatoren und Folgeprodukten, wobei die Folgeprodukte wiederum als Vorprodukte für einen oder mehrere weitere Operatoren fungieren, solange sie noch nicht das fertige Produkt, hier P, ergeben.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird die Bearbeitungssequenz BS1 durch die Bearbeitungssequenz BS2 weiter detailliert. Der gesamte Produktionsgraph PG spezifiziert damit die

Bearbeitungs- und/oder Herstellungsschritte für das Produkt P auf unterschiedlichen semantischen Planungsebenen bzw. Detaillierungsebenen.

5 Die einer höheren, das heißt weniger detaillierten Planungsdomäne zugeordnete Bearbeitungssequenz BS1 spezifiziert ein Verbinden der Teilprodukte P3, P4, ... durch die Bearbeitungsangabe JN zum Teilprodukt P1, sowie dessen Verbinden durch eine weitere Bearbeitungsangabe JN mit dem Teilprodukt P2 zum
10 Endprodukt P. Ein für diese Planungsdomäne zuständiges Planungsmodul kann sich auf dieser Planungsebene zum Beispiel darauf beschränken, geeignete Start- und/oder Zielposen zu finden, die zu keinen Kollisionen führen.

15 Die in Figur 5 durch ein punktiertes Rechteck hervorgehobene Teilsequenz der Bearbeitungssequenz BS1 wird durch die Bearbeitungssequenz BS2 weiter detailliert. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel spezifiziert die Bearbeitungssequenz BS2 eine Bewegung MOV des Roboterarms PM zur Position PO1, eine
20 Aufnahme PCK des Teilprodukts P1, eine Bewegung MOV des Roboterarms PM mit dem Teilprodukt P1 zur Position PO2 sowie eine Verbindung des Teilprodukts P1 mit dem Teilprodukt P2 zum Endprodukt P. Im Unterschied zu den Bearbeitungsangaben der Bearbeitungssequenz BS1 werden durch die Bearbeitungsangaben
25 der Bearbeitungssequenz BS2 konkrete Handhabungen des Roboterarms beim Ausführen eines jeweiligen Bearbeitungsschritts spezifiziert und quantifiziert. Für diese Planungsdomäne kann vorzugsweise ein Planungsmodul eingesetzt werden, das zu Lösung der entsprechenden Planungsaufgabe konkrete kollisionsfreie Trajektorien berechnet.
30

Oberhalb oder unterhalb der Bearbeitungssequenzen BS1 und BS2 können eine oder mehrere weitere gröbere bzw. feinere Detaillierungsebenen vorgesehen sein. So kann der Produktionsgraph
35 PG zum Beispiel eine weitere, detailliertere Bearbeitungssequenz umfassen, in der die kollisionsfreien Trajektorien zum Beispiel hinsichtlich einer Ausführungsgeschwindigkeit optimiert werden.

Wie durch Figur 2 weiter veranschaulicht, wird der vom Produktionsgraphengenerator PGG generierte Produktionsgraph PG zu einem Bearbeitungssequenzgenerator BSG übermittelt.

5 Letzterer ist an den Produktionsgraphengenerator PGG gekoppelt und selektiert aus dem übermittelten Produktionsgraphen PG mehrere Bearbeitungssequenzen, hier BS1 und BS2.

Zu diesem Zweck werden zunächst im Produktionsgraphen PG die
10 Zielstrukturangaben ZSA1 und ZSA2 selektiert. Die Zielstrukturangaben ZSA1 und ZSA2 spezifizieren einen Zielzustand des Produkts P, das heißt einen Zustand in den das Produkt P durch das Produktionssystem PS zu bringen ist, auf unterschiedlichen semantischen Ebenen, Detaillierungsebenen, Abstraktionsebenen, Verallgemeinerungsebenen bzw. Planungsebenen.
15 Die Selektion der Zielstrukturangaben erfolgt, indem im Produktionsgraphen PG ausgehend von der detailliertesten Zielstrukturangabe, hier ZSA2, schrittweise im zugehörigen Strukturgraphen, hier P, entgegen der Richtung der Kanten zu weniger detaillierten Zielstrukturangaben, hier ZSA1, höher gestiegen wird.
20

Für jede der so gefundenen Zielstrukturangaben, hier ZSA2 bzw. ZSA1, wird eine Bearbeitungssequenz, hier BS2 bzw. BS1,
25 generiert, wobei die jeweilige Detaillierungsebene oder semantische Ebene der Zielstrukturangabe die Planungsdomäne der jeweils generierten Bearbeitungssequenz festlegt. Das heißt die Planungsdomäne, semantische Ebene bzw. Detaillierungsebene der jeweils resultierenden Bearbeitungssequenz wird gewissermaßen anhand des fertigen Produkts „eingestellt“.
30

Die Generierung einer jeweiligen Bearbeitungssequenz BS1 bzw. BS2 erfolgt, indem im Produktionsgraphen PG ausgehend von der jeweiligen Zielstrukturangabe ZSA1 bzw. ZSA2 auf gleicher Detaillierungsebene sukzessive entgegen der Richtung der Kanten
35 von Folgeprodukten über Bearbeitungsangaben in Richtung der Vorprodukte bis zu den Ausgangsprodukten zurückgegangen wird. Der so durchlaufende Teilgraph des Produktionsgraphen PG wird

dann als Bearbeitungssequenz BS1 bzw. BS2 ausgegeben. Die Generierung einer jeweiligen Bearbeitungssequenz BS1 bzw. BS2 wird beendet, sobald alle Ausgangspunkte des bisher durchlaufenden Teilgraphen nur noch Ausgangsprodukte in einem Ausgangszustand umfassen. In diesem Fall enthält eine jeweilige

5 Bearbeitungssequenz BS1 bzw. BS2 einen vollständigen Weg von den Ausgangsprodukten zum Endprodukt.

Vorteilhafterweise kann die Generierung der Bearbeitungssequenzen BS1 und/oder BS2 auch abhängig von aktuellen Produktionsbedingungen, Umgebungsbedingungen und/oder Nebenbedingungen oder abhängig von einer Anzahl von Kanten eines Teilgraphen des Produktionsgraphen PG erfolgen. Hierdurch kann die Produktion in flexibler Weise auf unterschiedliche Produktionsbedingungen abgestimmt werden.

10

15

Die Bearbeitungssequenzen BS1 und BS2 werden vom Bearbeitungssequenzgenerator BSG zu einem damit gekoppelten Verteilungsmodul VM übermittelt. Das Verteilungsmodul VM ist an mehrere auf eine jeweilige Planungsdomäne, Detaillierungsebene bzw. semantische Ebene spezialisierte Planungsmodule PL1 und PL2 zur domänenspezifischen Aktionsplanung und Aktionsoptimierung gekoppelt. Die Planungsdomäne des Planungsmoduls PL2 ist hierbei detaillierter als die Planungsdomäne des Planungsmoduls PL1. Der Begriff Planungsdomäne bezeichnet hierbei insbesondere eine semantische Ebene, eine Detaillierungsebene, eine Abstraktionsebene oder eine Verallgemeinerungsebene oder allgemein eine Klasse von digitalen Planungsaufgaben. Das Verteilungsmodul kann in diesem Zusammenhang gewissermaßen als Meta-Planungsmodul aufgefasst werden.

20

25

30

Derartige Planungsmodule werden nachfolgend auch als Planer bezeichnet. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in Figur 2 nur zwei Planer PL1 und PL2 explizit dargestellt. Im Allgemeinen können auch drei oder mehr Planer vorgesehen sein. Zur domänenspezifischen Aktionsplanung ist eine Vielzahl von Planern für unterschiedliche Planungsdomänen verfügbar, zum Beispiel Handlungsplaner, Bewegungsplaner oder Wahrnehmungsplaner.

35

Das Verteilungsmodul VM übermittelt die Bearbeitungssequenz BS1 an den Planer PL1 und die Bearbeitungssequenz BS2 an den Planer PL2, jeweils im Rahmen einer zu lösenden domänenspezifischen Planungsaufgabe.

Eine Planungsaufgabe umfasst hierbei allgemein eine von einem oder mehreren Ausgangsprodukten oder Ausgangszuständen führende Bearbeitungssequenz zusammen mit einer Beschreibung der zur Ausführung der Bearbeitungssequenz verfügbaren Produktionsmittel und/oder der vorliegenden Produktionsbedingungen. Letztere können zum Beispiel durch Umgebungsdaten, Sensordaten und/oder Nebenbedingungen für den Produktionsprozess spezifiziert oder quantifiziert werden.

Ausgehend von der gestellten Planungsaufgabe versucht der jeweilige Planer eine vorzugsweise nach einem vorgegebenen Kriterium optimierte Aktionssequenz zu finden, die im Rahmen der verfügbaren Produktionsmittel und/oder Produktionsbedingungen vom Ausgangszustand über die Bearbeitungssequenz zum Zielzustand führt. Das vorgegebene Kriterium kann hierbei zum Beispiel einen Zeitbedarf, einen Ressourcenverbrauch, einen Verschleiß und/oder Emissionen des Produktionssystems betreffen.

Eine Aktionssequenz umfasst digitale Steueranweisungen für Komponenten des Produktionssystems, zum Beispiel für Roboter, Förderbänder, Schweißgeräte, Kameras oder andere Produktionsmodule, um einen konkreten Produktionsprozess auszuführen. Eine Aktionssequenz kann insbesondere digitale Steueranweisungen zum Positionieren, Bewegen und/oder Greifen von Roboterarmen, zum Verbinden mehrerer Teilprodukte, zum Bohren, Schleifen oder Schweißen oder zum Steuern anderer Bearbeitungsaktionen umfassen. Falls eine die gestellte Planungsaufgabe lösende Aktionssequenz gefunden wird, wird diese vom jeweiligen Planer als Planungsergebnis zum Verteilungsmodul VM übermittelt.

Das Verteilungsmodul VM ruft die Planer, hier PL1 und PL2, sukzessive mit zunehmendem Detaillierungsgrad auf und übermittelt dabei mit der jeweiligen Planungsaufgabe auch Planungsergebnisse eines vorhergehenden Planers an den nachfolgenden Planer. Auf diese Weise kann die Planung sukzessive von einer abstrakten, symbolischen Planungsebene bis zu einer konkreten Planungsebene verfeinert werden, die alle für die Produktion erforderlichen Details spezifiziert.

10 Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird durch das Verteilungsmodul VM zuerst der Planer PL1 mit der die Bearbeitungssequenz BS1 umfassenden Planungsaufgabe aufgerufen. Der Planer PL1 versucht infolgedessen in der der Bearbeitungssequenz BS1 zugeordneten Planungsdomäne eine Aktionssequenz AS1 zu
15 finden, durch die die Bearbeitungssequenz BS1 realisiert oder implementiert werden kann. Auf dieser Detaillierungsebene kann die gesuchte Aktionssequenz AS1 zum Beispiel geeignete Start- und Zielposen umfassen, die zu keinen Kollisionen führen und/oder qualitativ angeben, dass ein Deckel auf einen
20 Grundkörper aufzusetzen ist. Die gefundene Aktionssequenz AS1 wird als Planungsergebnis des Planers PL1 von diesem zum Verteilungsmodul VM übermittelt.

Daraufhin wird durch das Verteilungsmodul VM der Planer PL2 mit der die Bearbeitungssequenz BS2 umfassenden Planungsaufgabe aufgerufen, wobei zusätzlich die gefundene Aktionssequenz AS1 zum Planer PL2 übermittelt und bei dessen Planung berücksichtigt wird. Der Planer PL2 versucht infolgedessen in der der Bearbeitungssequenz BS2 zugeordneten Planungsdomäne eine Aktionssequenz AS2 zu finden, durch die die Bearbeitungssequenz BS2 realisiert oder implementiert werden kann. Auf dieser Detaillierungsebene kann die gesuchte Aktionssequenz AS2 abhängig von der Aktionssequenz AS1 beispielsweise konkrete kollisionsfreie Trajektorien für die Aktionssequenz
35 AS1 quantifizieren, wie zum Beispiel die konkreten Bewegungen und Greifaktionen eines Roboterarms zum Aufsetzen des Deckels auf den Grundkörper. Die gefundene Aktionssequenz AS2 wird

als Planungsergebnis des Planers PL2 von diesem zum Verteilungsmodul VM übermittelt.

Auf die oben beschriebene Weise wird das Planungsergebnis des Planers PL1 durch das Planungsergebnis des Planers PL2 bei
5 der Generierung seiner Aktionssequenz AS2 verfeinert. Insofern jeder Planer, hier PL1 bzw. PL2, nur seinen eigenen Planungsraum und die Ergebnisse eines jeweils vorhergehenden Planers berücksichtigt, kann eine domänenübergreifende Opti-
10 mierung realisiert werden, die gegenüber einer globalen Optimierung über alle Planungsräume einen erheblich geringeren Rechenaufwand erfordert.

Falls der Planer PL1 oder PL2 ausgehend von den vorgegebenen
15 Rahmenbedingungen keine Aktionssequenz zur Realisierung der jeweiligen Bearbeitungssequenz finden kann oder einen anderen Fehler feststellt, wird eine entsprechende Fehlerinformation zum Verteilungsmodul VM übermittelt. Durch einen Empfang dieser Fehlerinformation kann das Verteilungsmodul VM dazu ver-
20 anlasst werden, einen oder mehrere Planer mit einer modifizierten Planungsaufgabe aufzurufen und den obigen Planungsprozess erneut zu durchlaufen. Insbesondere kann dabei ein Planer aufgerufen werden, der einer höheren Planungsdomäne zugeordnet ist, als der Planer, bei dem der Fehler aufgetre-
25 ten ist. Alternativ oder zusätzlich kann das Verteilungsmodul VM infolge des Empfangs der Fehlerinformation den Bearbeitungssequenzgenerator BSG dazu veranlassen, eine oder mehrere neue Bearbeitungssequenzen, insbesondere mit geringerem Detaillierungsgrad und/oder mit modifizierten Nebenbedingungen
30 zu generieren und mit diesen Bearbeitungssequenzen den Planungsprozess erneut zu durchlaufen.

Die vorstehend beschriebene Neugenerierung von Aktionssequenzen und/oder Bearbeitungssequenzen kann auch abhängig von ei-
35 ner Prüfung der Aktionssequenzen AS2 oder AS1 durch das Verteilungsmodul VM veranlasst werden. Als Prüfungskriterium kann hierbei zum Beispiel ein Zeitbedarf, ein Ressourcenverbrauch, ein Materialverbrauch und/oder ein Verschleiß heran-

gezogen werden, der durch die generierten Aktionssequenzen bedingt wäre.

Das Verteilungsmodul VM prüft weiterhin eine Ausführbarkeit
5 der Aktionssequenz AS2 durch das Produktionssystem. Sobald
eine ausführbare Aktionssequenz AS2 vorliegt, werden aus die-
ser spezifische Aktionssequenzen für die einzelnen beteilig-
ten Produktionsmodule abgeleitet und zu Hardwaretreibern DRV
dieser Produktionsmodule übermittelt. Die Hardwaretreiber DRV
10 generieren aus den produktionsmodulspezifischen Aktionsse-
quenzen spezifische Steuersignale CS zum Steuern der spezifi-
schen Produktionsmodule. Die Steuersignale CS werden schließ-
lich von den Hardwaretreibern DRV zu entsprechenden Hardware-
komponenten HW des Produktionssystems übermittelt, um das
15 Produkt P herzustellen.

Durch die Segmentation des Produktionsgraphen PG in Teilgra-
phen, hier BS1 und BS2, und die anschließende
teilgraphenspezifische Aktionsplanung und/oder Optimierung
20 kann ein für die Planung erforderlicher Rechenaufwand erheb-
lich verringert werden. Dies gilt insbesondere, da für viele
spezifische Planungsdomänen effiziente und spezialisierte
Planungsmodule zur domänenspezifischen Aktionsoptimierung
verfügbar sind. Auf diese Weise kann die Produktionsplanung
25 und Produktionsoptimierung in vielen Fällen in Echtzeit wäh-
rend der Fertigung oder Bearbeitung des Produkts P erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen oder Bearbeiten eines Produkts (P) durch ein Produktionssystem (PS), wobei

- 5 a) unterschiedlich detaillierte, digitale Strukturangaben (SA) über eine Struktur des Produkts oder eines Vorprodukts sowie digitale Bearbeitungsangaben (BA) über einen Bearbeitungsprozess des Produkts oder eines Vorprodukts eingelesen werden,
- 10 b) die Strukturangaben (SA) dahingehend geprüft werden, ob eine jeweilige Strukturangabe durch eine jeweilige andere Strukturangabe weiter detailliert wird,
- c) aus den Strukturangaben (SA) und Bearbeitungsangaben (BA) mehrere Bearbeitungssequenzen (BS1, BS2) für das Produkt der-
- 15 art generiert werden, dass eine Strukturangabe (ZSA1) aus einer ersten Bearbeitungssequenz (BS1) durch eine Strukturangabe (ZSA2) aus einer zweiten Bearbeitungssequenz (BS2) weiter detailliert wird,
- d) die erste Bearbeitungssequenz (BS1) zu einem ersten Planungsmodul (PL1) und die zweite Bearbeitungssequenz (BS2) zu
- 20 einem zweiten Planungsmodul (PL2) übermittelt werden,
- e) die Planungsmodule (PL1, PL2) jeweils anhand der empfangenen Bearbeitungssequenz (BS1, BS2) eine Aktionssequenz (AS1, AS2) als Planungsergebnis generieren, wobei ein Planungser-
- 25 gebnis (AS1) des ersten Planungsmoduls (PL1) durch das zweite Planungsmodul (PL2) bei der Generierung seiner Aktionssequenz (AS2) berücksichtigt wird, und
- f) anhand der vom zweiten Planungsmodul (PL2) generierten Aktionssequenz (AS2) Steuersignale (CS) zum Steuern des Produk-
- 30 tionssystems (PS) generiert und ausgegeben werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturangaben (SA) als Knoten in einem oder mehreren digitalen Strukturgraphen (SG) gespeichert werden.

35

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Prüfung, ob eine erste Strukturangabe durch eine zweite Strukturangabe weiter detailliert wird, geprüft wird,

ob ein vom Knoten der ersten Strukturangabe ausgehender Teilstrukturgraph einen vom Knoten der zweiten Strukturangabe ausgehenden Teilstrukturgraphen enthält, und/oder ob der Knoten der zweiten Strukturangabe dem Knoten der ersten Strukturangabe in einem Strukturgraphen hinsichtlich seiner Verweisstruktur nachfolgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

10 dass die Strukturangaben (SA) jeweils ein Attribut umfassen, das einen Detaillierungsgrad angibt, und dass die Prüfung, ob eine jeweilige Strukturangabe durch eine jeweilige andere Strukturangabe weiter detailliert wird, anhand der Attribute erfolgt.

15

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

die Strukturangaben (SA) und die Bearbeitungsangaben (BA) jeweils als Knoten in einem digitalen Produktionsgraphen (PG) derart gespeichert werden, dass eine jeweilige Strukturangabe, die eine jeweils andere Strukturangabe weiter detailliert, dieser im Produktionsgraphen (PG) hinsichtlich seiner Verweisstruktur nachfolgt.

25 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungssequenzen (BS1, BS2) jeweils als Teilgraph des Produktionsgraphen (PG) generiert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

30 dass aus den Strukturangaben (SA) Zielstrukturangaben (ZSA1, ZSA2) selektiert werden, die jeweils einen Zielzustand des Produkts (P) spezifizieren, und dass die Bearbeitungssequenzen (BS1, BS2) derart generiert werden, dass eine Zielstrukturangabe (ZSA1) aus der ersten Bearbeitungssequenz (BS1) durch eine Zielstrukturangabe (ZSA2) aus der zweiten Bearbeitungssequenz (BS2) weiter detailliert wird.

35

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass beim Generieren einer jeweiligen Bearbeitungssequenz (BS1, BS2) dieser Bearbeitungssequenz ausgehend von einer jeweiligen Zielstrukturangabe (ZSA1, ZSA2) sukzessive mindestens eine Strukturangabe und mindestens eine Bearbeitungsangabe zugeordnet werden, durch die eine Überführung mindestens eines Vorprodukts durch mindestens einen Bearbeitungsprozess in den jeweiligen Zielzustand spezifiziert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Generierung einer jeweiligen Bearbeitungssequenz (BS1, BS2) beendet wird, sobald alle Anfangspunkte der Bearbeitungssequenz nur vorgegebene Ausgangsprodukte umfassen.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Planungsergebnis (AS2) des zweiten Planungsmoduls (PL2) anhand eines vorgegebenen Kriteriums bewertet wird und abhängig davon veranlasst wird,
- dass das erste Planungsmodul (PL1) eine neue Aktionssequenz generiert und/oder
 - dass eine neue Bearbeitungssequenz generiert wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass falls ein Planungsmodul (PL1, PL2) oder ein Hardware-Treiber (DRV) des Produktionssystems (PS) einen Fehler meldet, eine neue Bearbeitungssequenz unter Berücksichtigung des Fehlers generiert wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die generierten Aktionssequenzen (AS1, AS2) jeweils zusammen mit einer zugeordneten Detaillierungsangabe ausgegeben werden.

13. Steuereinrichtung (CTL) zum Steuern eines Produktionssystems (PS), eingerichtet zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

5 14. Computerprogrammprodukt eingerichtet zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12.

15. Computerlesbares Speichermedium mit einem Computerprogrammprodukt nach Anspruch 14.

FIG 1

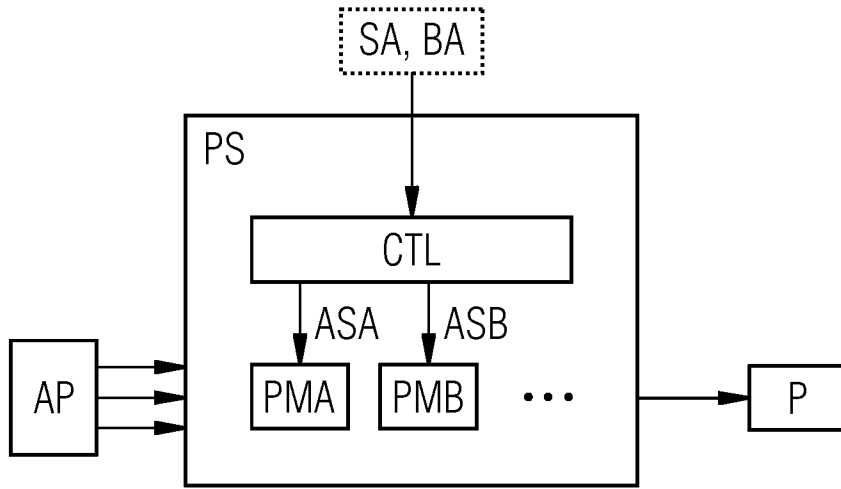


FIG 2

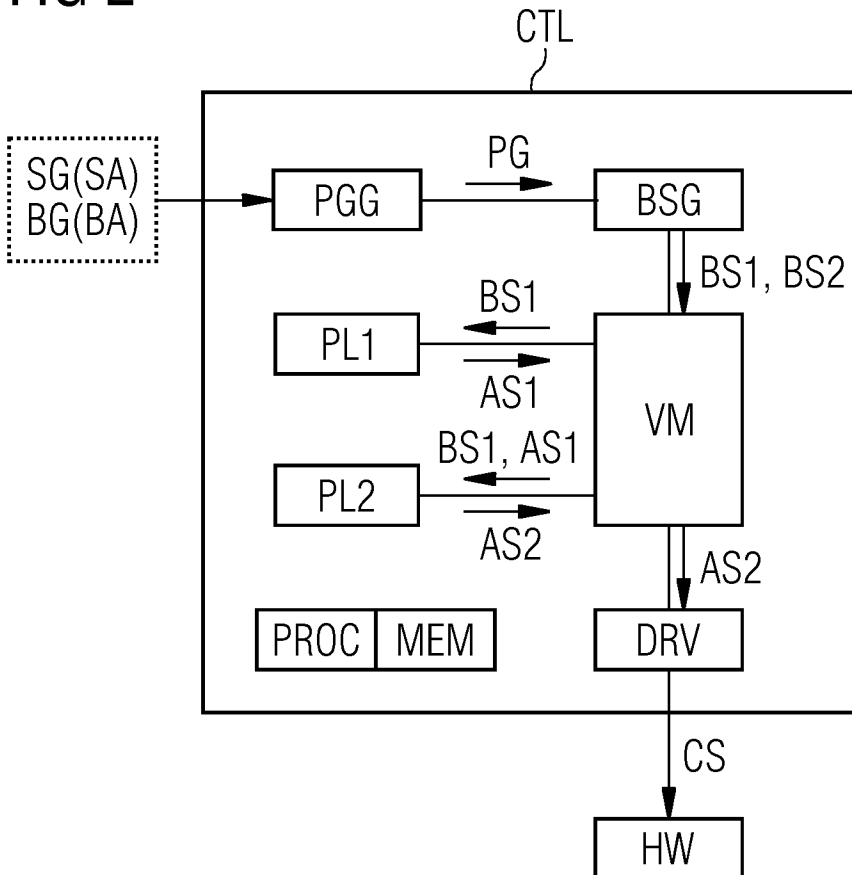


FIG 3

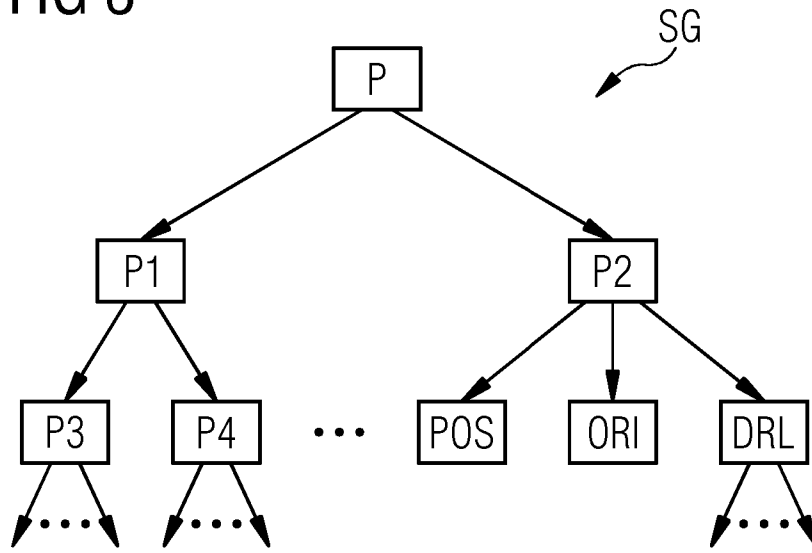
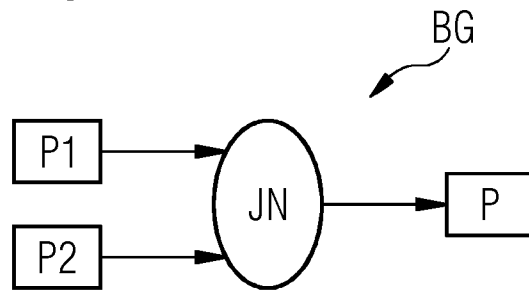


FIG 4



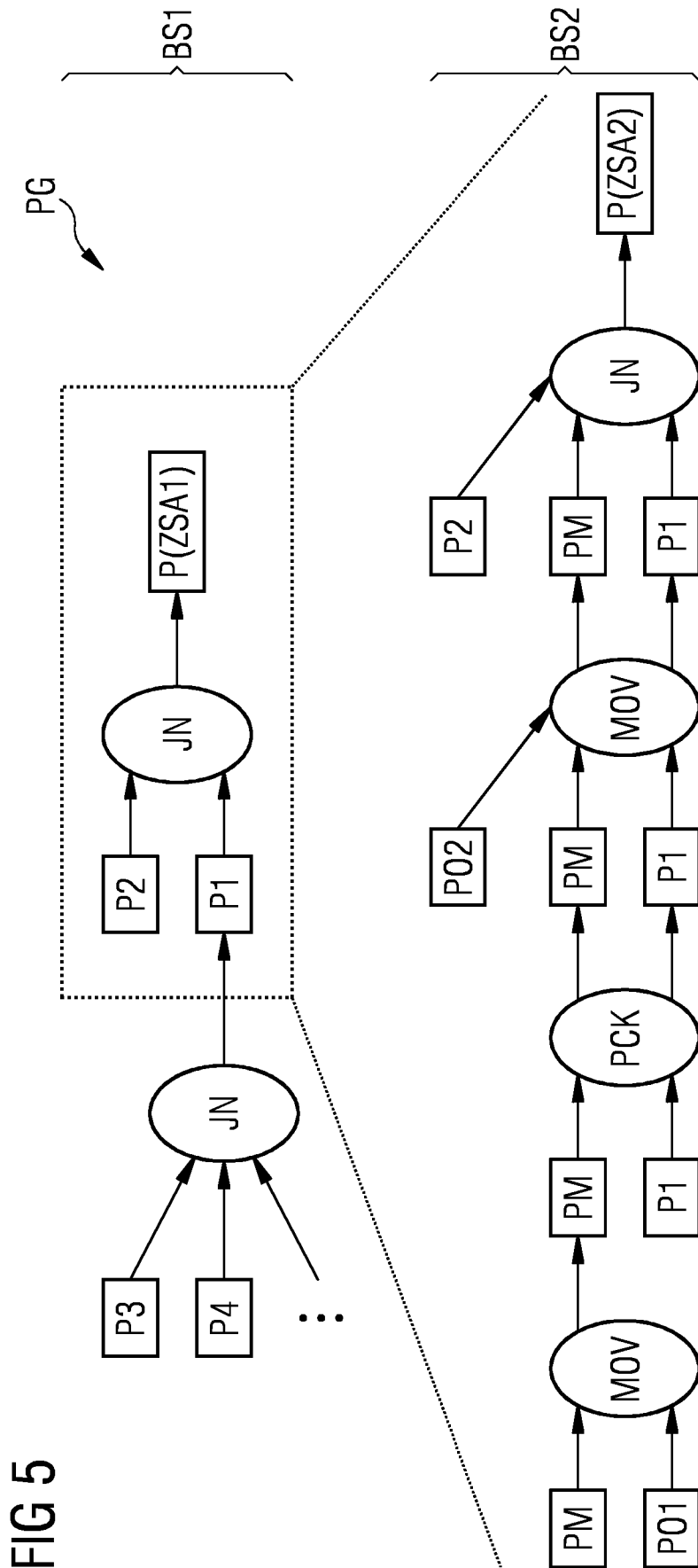


FIG 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/070614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G05B 19/418(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B; G06Q		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 3343476 A1 (SIEMENS AG [DE]) 04 July 2018 (2018-07-04) paragraph [0036] - paragraph [0059]	1-15
A	WO 2018050252 A1 (SIEMENS AG [DE]) 22 March 2018 (2018-03-22) page 15, line 8 - page 18, line 7	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 11 April 2019		Date of mailing of the international search report 23 April 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Baas, Gert-Jan Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/070614

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	3343476	A1	04 July 2018	EP	3343476	A1	04 July 2018
				WO	2018121904	A1	05 July 2018
WO	2018050252	A1	22 March 2018	NONE			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/070614

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G05B19/418
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G05B G06Q

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 3 343 476 A1 (SIEMENS AG [DE]) 4. Juli 2018 (2018-07-04) Absatz [0036] - Absatz [0059] -----	1-15
A	WO 2018/050252 A1 (SIEMENS AG [DE]) 22. März 2018 (2018-03-22) Seite 15, Zeile 8 - Seite 18, Zeile 7 -----	1-15

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
11. April 2019	23/04/2019

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Baas, Gert-Jan
--	---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/070614

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 3343476	A1	04-07-2018	EP 3343476 A1	04-07-2018
			WO 2018121904 A1	05-07-2018

WO 2018050252	A1	22-03-2018	KEINE	
