

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 569 579** <sup>(13)</sup> **C2**

(51) МПК  
**G05B 19/00** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: **2013114569/08**, **01.04.2013**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**01.04.2013**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **01.04.2013**

(43) Дата публикации заявки: **10.10.2014** Бюл.  
№ **28**

(45) Опубликовано: **27.11.2015** Бюл. № **33**

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **RU 2313442 C1, 27.12.2007. SU  
1548032 A1, 09.03.1990. SU 1158344 A,  
30.05.1985. US 2002/0153184 A1, 24.10.2002.  
WO 01/37060 A1, 25.05.2001.**

Адрес для переписки:

**394026, г.Воронеж, Московский просп., 14,  
ГОУВПО "ВГТУ", патентный отдел**

(72) Автор(ы):

**Черниченко Владимир Викторович (RU),  
Андроханов Сергей Валерьевич (RU)**

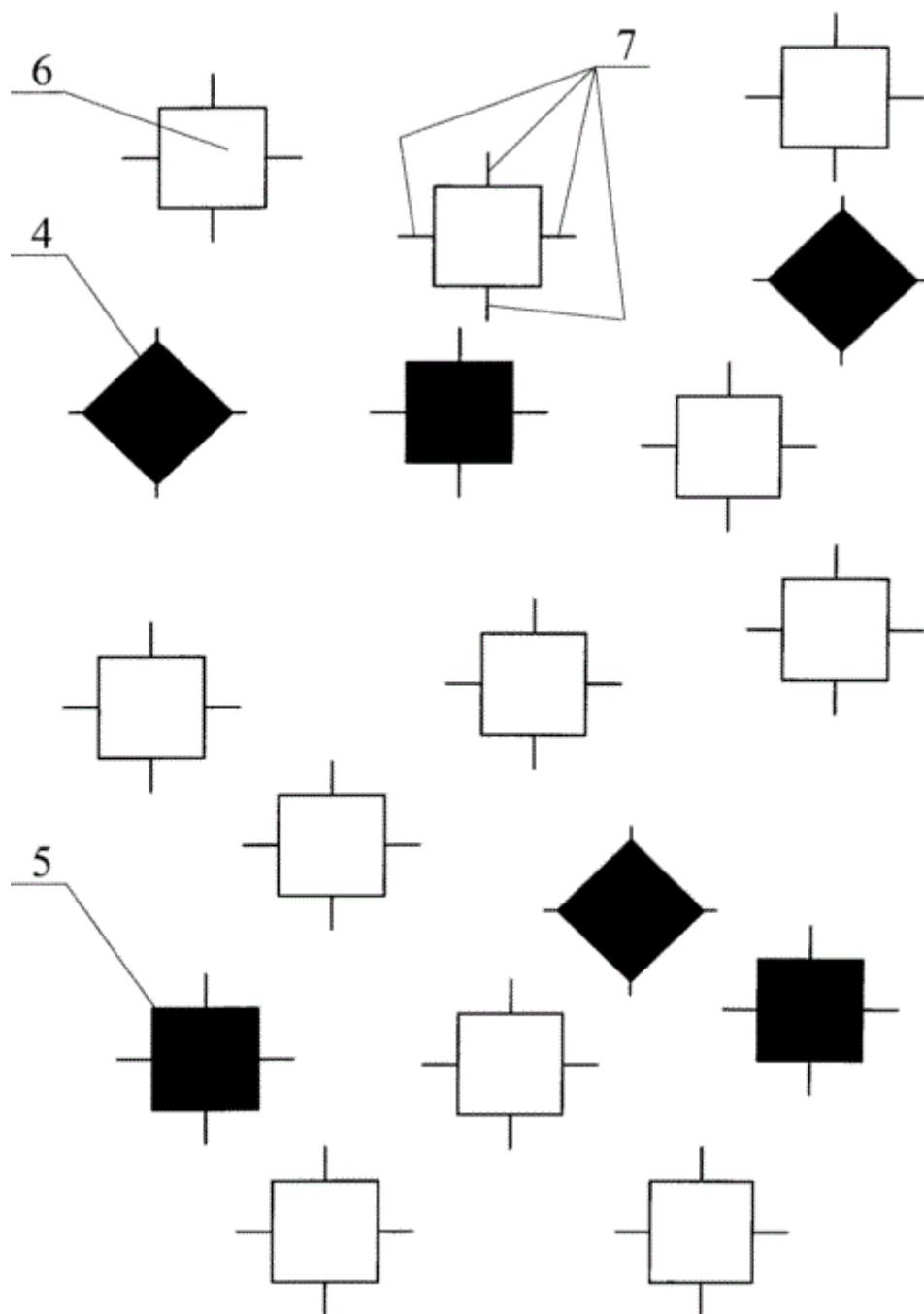
(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный  
технический университет" (RU)**

(54) **МЕХАТРОННО-МОДУЛЬНЫЙ РОБОТ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к робототехнике и может быть использовано при создании мехатронно-модульных роботов. Технический результат заключается в повышении надежности и работы создаваемых мехатронно-модульных роботов. Мехатронно-модульный робот состоит из совокупностей сопряженных между собой тождественных модулей, каждая из которых состоит из сопряженных между собой модулей, имеющих интерфейсные площадки для стыковки, при этом один из двух сопрягаемых между собой модулей является управляющим по отношению к другому/им, с ним стыкуемому/им, причем указанная иерархия в структуре совокупностей мехатронно-модульного робота соблюдается при последующем сопряжении совокупностей до формирования окончательной структуры мехатронно-модульного робота. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1

Изобретение относится к машиностроению, а именно к робототехнике, и может быть использовано при создании мехатронно-модульных роботов.

Одно из важнейших и перспективных направлений развития современной робототехники связано с разработкой нового класса устройств - многозвенных мехатронно-модульных роботов с адаптивной структурой. Структурный синтез при проектировании реконфигурируемых мехатронно-модульных роботов рассматривается как одновременное, автоматизированное решение двух задач выбора: порядка блочно-модульной сборки и варианта настройки априорно периодического закона изменения обобщенных координат  $(y, z)$ , определяющего алгоритм управления движением.

Известен способ многоальтернативной оптимизации моделей автоматизации структурного синтеза мехатронно-модульных роботов заключающийся в проведении

синтеза структуры многоинвариантной модели мехатронно-модульных роботов, и последующей фиксации полученных оптимальных решений (И.М.Макаров, В.М.Лохин, С.В.Манько, М.П.Романов, М.В.Кадочников. ИТ, "Технологии обработки знаний в задачах управления автономными мехатронно-модульными реконфигурируемыми роботами". - Приложение к ж. "Информационные технологии". М., "Новые технологии", 2010, №8, стр.3-7, рис.14 - прототип).

Указанный способ многоальтернативной оптимизации моделей автоматизации структурного синтеза мехатронно-модульных роботов заключается в создании конкретных модулей и запоминании конкретных положений отдельных модулей для решения целевых задач.

Недостатками данного способа являются его значительная сложность, низкая эффективность ориентации в окружающей среде реконфигурируемых мехатронных устройств, преимущественно мехатронно-модульных роботов.

Задачей предложенного технического решения является устранение указанных недостатков и создание мехатронно-модульных роботов, применение которых позволит ускорить процесс синтеза, а также повысит эффективность ориентации в окружающей среде и надежность работы создаваемых мехатронных устройств, преимущественно мехатронно-модульных роботов.

Решение поставленной задачи достигается тем, что предложенный мехатронно-модульный робот, согласно изобретению состоит как минимум из двух совокупностей сопряженных между собой тождественных модулей, предпочтительно трех и более, при этом каждая совокупность состоит как минимум из двух сопряженных между собой модулей, предпочтительно двух и более, первичного и вновь с ним сопрягаемого/ых вторичного/ых, имеющих интерфейсные площадки для стыковки, при этом один из двух сопрягаемых между собой модулей, преимущественно первичный, является управляющим по отношению к другому/им, вторичному/ым, с ним стыкуемому/им, причем указанная иерархия в структуре совокупностей мехатронно-модульного робота соблюдается при последующем сопряжении совокупностей до формирования окончательной структуры мехатронно-модульного робота, при этом в каждой совокупности стыкуемые с управляющим модулем вторичные модули имеют возможность к самостоятельному осуществлению алгоритма сборки и синтеза структуры робота на более низком уровне, чем упомянутый управляющий модуль, причем количество модулей, объединяемых в упомянутый робот, определено: из соотношения  $n=1, N$ , где  $n$  - количество модулей, объединяемых в один робот; из соотношения  $n=1+x_1+2x_2+4x_3+8x_4$ , где  $x_1, x_4=1,0$  - количество интерфейсных площадок на модуле,  $N \leq 16$  - предельное количество модулей, которые могут быть объединены в один робот, при этом сопряжение каждого нового модуля с ранее собранным/и осуществлено вдоль выбранного направления и обеспечено стыковкой его первой интерфейсной площадки с одной из свободных на любых других элементах конструкции, занимающих ближайшее крайнее положение в том или ином ряду, причем интерфейсные площадки каждого модуля выполнены с возможностью стыковки с аналогичными площадками, по крайней мере, в четырех диаметрально противоположных направлениях, при этом альтернативные переменные для алгоритмов управления синтезированной мехатронно-модульной конструкцией для описания параметров периодического закона движения выбраны из следующего соотношения:

$$\text{Angle}=A+B\sin(\omega t+\varphi),$$

где  $A$  - значение обобщенной координаты, относительно которой происходит периодическое движение;  $B$  - амплитуда периодического колебания обобщенной координаты, причем суммарная величина  $|A|+|B|$  не превышает максимально допустимого отклонения обобщенной координаты модуля;  $\varphi$  - смещение фазы периодического движения.

В варианте исполнения, для оптимизационного структурного синтеза выбраны значения альтернативных переменных  $\overline{x_1 \cdot x_{41n}}$ , обеспечивающих максимальное значение функции:

$$f = \frac{[y(\overline{x_1 \cdot x_{41n}})]^2 + [z(\overline{x_1 \cdot x_{41n}})]^2}{N(\overline{x_1 \cdot x_{41n}})N_c(\overline{x_{10} \cdot x_{41n}})} \rightarrow \max$$

при ограничениях  $n=1, N$

$$|A_1(\overline{x_{10} \cdot x_{12n}}) + B_1(\overline{x_{14n} \cdot x_{17n}})| \leq y^{\max}$$

$$|A_2(\overline{x_{26} \cdot x_{29n}}) + B_2(\overline{x_{30n} \cdot x_{33n}})| \leq z^{\max}$$

$$\overline{x_1 \cdot x_{41n}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

где  $y^{\max}, z^{\max}$  - максимально допустимые отклонения обобщенной координаты модуля относительно ее нулевого значения.

Сущность изобретения иллюстрируется чертежами, где на фиг.1 показаны отдельные мехатронно-модульные роботы со свободными интерфейсными площадками, на фиг.2 - мехатронно-модульный робот, состоящий из нескольких модулей, соединенных между собой по свободным интерфейсным площадкам и образующий фигуру в виде многоугольника, на фиг.3 - мехатронно-модульный робот, состоящий из нескольких модулей, соединенных между собой по свободным интерфейсным площадкам и образующий фигуру в виде квадрата, на фиг.4 - мехатронно-модульный робот, состоящий из нескольких модулей, соединенных между собой по свободным интерфейсным площадкам и образующий фигуру в виде прямоугольника.

Мехатронно-модульный робот 1 состоит как минимум из двух совокупностей 2 и 3 сопряженных между собой модулей 4, 5 и 6.

Один из двух сопрягаемых между собой модулей, преимущественно первичный 4, выполнен управляющим по отношению к другому, вторичному 5, с ним стыкуемому, причем указанная иерархия в структуре совокупностей мехатронно-модульного робота соблюдается при последующем сопряжении совокупностей до формирования окончательной структуры мехатронно-модульного робота. В каждой совокупности стыкуемые с управляющим модулем 4 вторичные модули 5 имеют возможность к самостоятельному осуществлению алгоритма сборки и синтеза структуры робота на более низком уровне, чем упомянутый управляющий модуль 4. В свою очередь, модуль 5, являющийся вторичным и управляемым по отношению к модулю 4, является первичным и управляющим по отношению к модулю 6. Указанная иерархия в структуре совокупностей мехатронно-модульного робота соблюдается при последующем сопряжении совокупностей 2 и 3 до формирования окончательной структуры мехатронно-модульного робота

Сопряжение каждого нового модуля с ранее собранным/и осуществлено вдоль выбранного направления и обеспечено стыковкой его первой свободной интерфейсной площадки 7 с одной из свободных аналогичных площадок 7 на любых других элементах конструкции, занимающих ближайшее крайнее положение в том или ином ряду. Несвободная интерфейсная площадка 8 образована за счет стыковки между собой двух свободных интерфейсных площадок 7.

Модули предложенного мехатронно-модульного робота могут быть соединены между собой следующим образом.

Рассматривают множество проектных элементов и вводят соответствующие альтернативные переменные путем представления дискретных чисел, соответствующих этим элементам, в двоичном исчислении.

Обозначают количество модулей, объединяемых в один мехатронно-модульный робот 1, без четко выраженной структуры,  $n = \overline{1, N}$ . Тогда в двоичном исчислении получают при  $N \leq 16$ , где  $N$  - количество сторон;  $n$  - количество возможных итераций

$$n = 1 + x_1 + 2x_2 + 4x_3 + 8x_4,$$

$$\overline{x_1, x_4} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

где

При блочно-модульной сборке робота 1 полагают, что сопряжение каждого нового модуля с ранее собранными осуществляется вдоль выбранного направления и обеспечивается стыковкой его первой свободной интерфейсной площадки 7 с одной из свободных аналогичных интерфейсных площадок 7 на любых других модулях 4, 5 и 6, как элементах конструкции, занимающих ближайшее крайнее положение в том или ином ряду.

Выделяют этот алгоритм преимущественно как Асб. Описание порядка сборки приводят к указанию направления и места крепления очередного элемента с использованием алгоритма Асб.

В направлении для стыковки  $n$ -го модуля  $n_{ст}$  принимают четыре значения  $n_{ст}=1$  - север,  $n_{ст}=2$  - восток,  $n_{ст}=3$  - юг,  $n_{ст}=4$  - запад и представляют через альтернативные переменные:

$$n_{ст, n} = 1 + x_{5n} + 2x_{6n},$$

$$n = 1N, \quad \overline{x_{5n}, x_{6n}} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

где

Номер площадки, выбираемой для стыковки  $n$ -го модуля в двоичном исчислении, записывают в следующем виде:

$$n_{ст, n} = 1 + x_{7n} + 2x_{8n} + 4x_{9n},$$

$$n = 2N, \quad \overline{x_{7n}, x_{9n}} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

где

Альтернативные переменные для описания параметров периодического закона вводят следующим образом:

$$\text{Angle} = A + B \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A$  - значение обобщенной координаты, относительно которой происходит периодическое движение;

$B$  - амплитуда периодического колебания обобщенной координаты; суммарная величина  $|A| + |B|$  не должна превышать максимально допустимого отклонения обобщенной координаты модуля;

$\varphi$  - смещение фазы периодического движения.

Настройкой параметров этого закона определяют алгоритмы управления синтезируемой мехатронно-модульной конструкции. Указанные параметры характеризуются дискретными значениями, имеющими соответствующие численные номера в пределах  $N \leq 16$ .

Затем для оптимизационного структурного синтеза выбирают значения альтернативных переменных  $\overline{x_1^*, x_{41n}^*}$ , обеспечивающих максимальное значение функции

$$f = \frac{[y(\overline{x_1, x_{41n}})]^2 + [z(\overline{x_1, x_{41n}})]^2}{N(\overline{x_1, x_{4n}}) N_c(\overline{x_{10}, x_{41n}})} \rightarrow \max$$

при ограничениях  $n=1, N$

$$|A_1(\overline{x_{10}, x_{12n}}) + B_1(\overline{x_{14n}, x_{17n}})| \leq y^{\max},$$

$$\left| A_2(\overline{X_{26} \cdot X_{29n}}) + B_2(\overline{X_{30n} \cdot X_{33n}}) \right| \leq Z^{\max}$$

$$\overline{X_1 \cdot X_{41n}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

где  $y^{\max}$ ,  $z^{\max}$  - максимально допустимые отклонения обобщенной координаты модуля относительно ее нулевого значения.

Для нахождения максимального значения функции  $f$  используют рандомизированный алгоритм многоальтернативной оптимизации, который дополняют еще одним уровнем в рамках управляемого роя частиц.

Для синхронизации процедуры метода роя частиц и вариационной процедуры многоальтернативной оптимизации на каждом шаге управляют выбором частицы для обновления скорости изменения координат, которую осуществляют с использованием рандомизированной схемы. С этой целью вводят случайную дискретную величину  $m$ , которая принимает значение  $m=1, M$  с вероятностью  $p_n$ . На первом шаге получают:

$$p_n^1 = \frac{1}{N} \forall n = \overline{1, N}$$

Далее изменение значений  $p_n^k$  при условии  $\sum_{n=1}^M p_n^{v_k} = 1$  осуществляют следующим образом. Определяют значение случайной величины  $\tilde{n}$ . Пусть  $\tilde{n} = v$ . Тогда скорости изменения координат на  $(k+1)$ -м шаге вычисляются:

$$v_{mn}^{r+1} = \begin{cases} v_{mn}^r, \forall n = \overline{1, N}, n \neq v, \\ p_{B_{mn}}^{r+1} [q_{zmn}^r \text{æ}(\nabla_{1m} F) - p_{zmn}^r \text{æ}(-\Delta_{1mn} F)], \\ n = v \end{cases}$$

а значение вероятностей  $p_n$ :

$$p_n^{k+1} = \begin{cases} \frac{p_n^k}{1 + \varepsilon^{k+1}} \forall n = \overline{1, N}, n \neq v, \\ \frac{p_n^k + \varepsilon^{k+1}}{1 + \varepsilon^{k+1}}, n = v. \end{cases}$$

При этом величина  $\varepsilon > 0$  определяет степень рекордности движения  $v$ -й частицы в направлении к экстремуму оптимизируемой функции.

Предложенный мехатронно-модульный робот функционирует следующим образом.

Выбирается первичный управляющий модуль 4 со свободной интерфейсной площадкой 7 и стыкуется с любым произвольно выбранным модулем 5 с аналогичной свободной интерфейсной площадкой 7. При стыковке между собой двух свободных интерфейсных площадок 7 образуется несвободная интерфейсная площадка 8. Дальнейшее присоединение свободных модулей 6 к образованному модулю, состоящему из двух соединенных между собой модулей 4 и 5, происходит вдоль выбранного направления с образованием требуемой конечной структуры мехатронно-модульного робота.

Совокупность 2 или 3 образована модулями 4, 5 и 6, состыкованными в заданном порядке между собой.

Использование предложенного технического решения позволит проводить синтез структуры многоинвариантной модели мехатронно-модульных роботов с последующим фиксированием полученных оптимальных решений с последующем повышением количества возможных итераций мехатронно-модульного робота при значительном сокращении времени синтеза.