

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МОДУЛЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов, к.т.н. В.В. Евсеев, А.О. Функендорф, А.А. Кушлак, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье проведен анализ структуры современных роботизированных средств. Предложено структурное разделение указанных систем на функциональные модули. Разработаны параметрическая и математическая модели, которые могут быть применены для решения задач автоматизации.

У статті проведений аналіз структури сучасних роботизованих засобів. Запропоновано структурний поділ зазначених систем на функціональні модулі. Розроблено параметричну і математичну моделі, що можуть бути застосовані для вирішення задач автоматизації.

The article analyzed the structure of modern robotic vehicles. A structural separation of these systems into functional modules. Parametric and developed a mathematical model that can be applied for solving automation.

Ключевые слова: робототехнические средства, модульная сборка, параметрическая модель, математическая модель, система автоматизированного проектирования.

Введение

На сегодняшний день в производстве робототехнических средств (РТС) существует огромная диспропорция в усовершенствовании технологических процессов (ТП) производства данных изделий. Это является результатом наименьшего замещения ручного труда в процессах сборки, которые являются наименее автоматизированными и занимают непропорционально большой удельный вес в общей структуре трудоемкости изготовления указанных изделий.

В условиях современного производства все большую актуальность, в первую очередь вследствие своих экономических показателей, приобретают технологии модульной сборки. Данные технологии позволяют реализовать процесс сборки готового изделия из отдельных модулей различного назначения, позволяющих реализовать требования к устройству в целостной системе.

Анализ существующих на данный момент САМ и САРР систем и модулей показал, что они не предоставляют всех необходимых функциональных возможностей для реализации проектирования ТП модульной сборки в условиях автоматизации, с учетом особенностей каждой сборочной единицы и их согласованности в общей системе. Вследствие этого возникает актуальная научная задача, которая требует новых подходов и методов к разработке этапов проектирования ТП модульной сборки РТС.

Анализ структуры современных РТС

Для решения поставленной задачи проведен анализ современных робототехнических средств и их структуры, с учетом особенностей реализации автоматизированного проектирования ТП модульной сборки.

В условиях представленной проблематики принято решение проводить классификацию современных РТС в соответствии с типом выполняемых работ. Исходя из этого, выделяют 8 разновидностей РТС, применяемых в современных отраслях науки, промышленности, а также нашедших применение в бытовой сфере жизнедеятельности человека:

- исследовательские;
- строительные;
- сельскохозяйственные;
- транспортные;
- бытовые;
- боевые;
- охранные;
- промышленные.

Все представленные типы роботов функционально можно разделить на определенные модули, каждый из которых имеет свое техническое решение. [1] На рисунке 1 предложена следующая структуризация РТС на модули, в соответствии с их функциональным назначением.

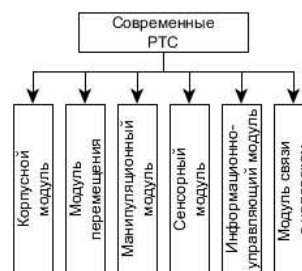


Рис. 1. Функциональные модули современных РТС

Каждый из указанных функциональных модулей имеет свою техническую реализацию в соответствии с необходимыми функциональными требованиями готового изделия. Таким образом, модуль перемещения может быть представлен средствами перемещения в произвольном направлении, средствами подъема по ступенькам лестницы, шагающей машиной, которые имеют огромное количество вариантов технического решения: гусеничные аппараты, колеса, шагающие системы передвижения гуманоидного типа, рельсовые, адсорбционные (вакуумные) аппараты; мобильные аппараты на магнитной или воздушной подушке.

Сенсорный модуль представляется средствами технического зрения (СТЗ), акустического восприятия, тактильного восприятия, обонятельного восприятия, а также средствами определения температуры и влажности, в основе которых используются датчики различного типа.

Манипуляционный модуль представляется манипуляторами и захватными устройствами.

Корпусной модуль включает в себя источники энергии различного типа, емкости для хранения объектов, накапливаемых в процессе работ, и, непосредственно, сам корпус робота.

Информационно-управляющий модуль базируется на использовании технологий, основанных на применении систем искусственного интеллекта, средствах управления и связи.

Модуль связи с человеком может быть представлен средствами индикации и оперативного отображения, включая отображение данных, получаемых сенсорным модулем, обеспечение «эффекта присутствия» человека-оператора. [2-4]

Используя предложенную классификацию современных РТС, возможность и обязательность наличия рассмотренных функциональных модулей у каждого из приведенных типов представлены ниже, что является необходимым этапом для последующей разработки параметрической модели рассматриваемых устройств. Соответственно модуль перемещения присутствует у всех мобильных роботов. В соответствие с вышеуказанной классификацией данный модуль может как присутствовать у всех разновидностей, так и отсутствовать, т.к. каждый из указанных типов может включать в себя как мобильные, так и стационарные единицы. Сенсорный модуль присущ большинству современных РТС (2 и 3 поколения). Исключением являются по сей день используемые единицы роботов 1 поколения – т.к. они функционируют в жестко ограниченных рамках заранее установленной программы и, как следствие, не нуждаются в дополнительном получении информации из вне для координации своих действий. Манипуляционный модуль так же используется в конструкции всех вышеуказанных типов РТС, за исключением некоторых видов: роботов-перевозчиков, роботов-проектировщиков, роботов поводырей и т.п. Корпусный и информационно-управляющий модули также в той или иной степени присущи всем типам, но могут иметь различное техническое исполнение (стационарные либо мобильные источники энергии, различные типы и материалы корпусов, средства управления и/или связи, обоснованные средой эксплуатации и назначением определенного РТС). Модуль связи с человеком в основной массе современных роботов напрямую зависит от наличия сенсорного модуля в устройстве, и, как следствие, может присутствовать во всех типах современных роботов, за редкими исключениями.

Как следствие, имеется возможность сделать вывод, основываясь на вышеизложенную информацию, что все предложенные типы структурных функциональных модулей применимы для каждого из указанных типов РТС, а особенности их технический

реализации позволяют также регулировать необходимые требования к среде эксплуатации, функциональным, информационным и техническим требованиям конструкции готового изделия.

Разработка параметрической модели РТС

В соответствии с вышеизложенными предложениями подхода к структуризации и классификации современных РТС возможна разработка параметрической модели рассматриваемых устройств с условием ее последующего применения для реализации автоматизированного проектирования технологических процессов сборки.

Каждый из указанных функциональных модулей может быть представлен как целостной системой, так и системой, включающей в себя несколько структурных элементов, что важно учитывать в рамках решения поставленной задачи. Также важным является понимание и возможность представления какого-либо блока как отдельным самостоятельным устройством, имеющим свой закрытый корпус и требующим лишь фиксации и подключения к общей системе, так и печатными модулями. Все сборочные узлы, представленные в структуре современных РТС функциональными модулями, обладают набором параметрических признаков. [5] Целесообразным и достаточным для решения поставленной задачи является разделение типов параметров, описывающих каждый модуль. Таким образом, можно выделить типы параметров, в той или иной степени присущие каждому модулю – общие, и специфические параметры – к примеру, число степеней свободы манипулятора (манипуляционный модуль), либо коэффициент чувствительности датчиков (сенсорный модуль). Как следствие, можно говорить о построении многоуровневой параметрической модели, для удобства построения которой предложена ее реализация с помощью иерархического типа параметризации. В этом случае сама модель представлена в виде «древа построения», отображающего не только порядок ее формирования, но и иерархию ее элементов.

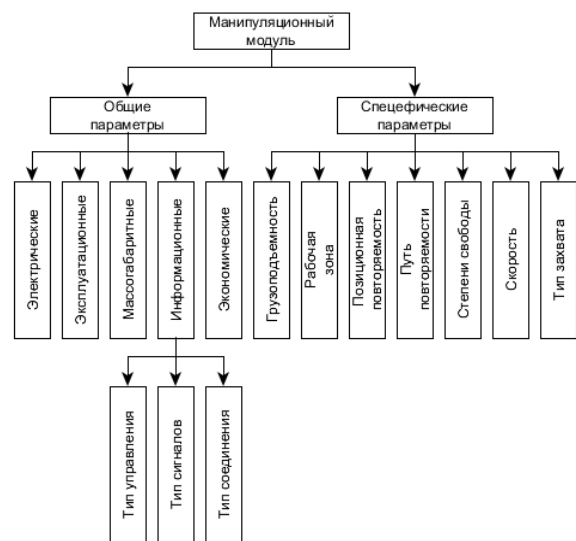


Рис. 2. Верхний уровень иерархической параметрической модели манипуляционного модуля

На рисунке 2 приведен верхний уровень разработанной иерархической параметрической модели одного из указанных модулей.

Нижние уровни параметрической модели в данном случае представляют собой непосредственные описания значений конкретных параметров: один из эксплуатационных параметров – T – наработка на отказ соответственного модуля. В случае, если отдельные параметры определенного типа не присущи описываемому модулю, принято считать их незначительными и не учитывать при последующей разработке математической модели. На рисунке 3 приведена отдельная ветвь нижнего уровня разработанной параметрической модели одного из указанных модулей, относящаяся к высшей ветви общих параметров.



Рис. 3. Нижний элемент ветви общих параметров иерархической модели манипуляционного модуля

На рисунке 4 приведена отдельная ветвь нижнего уровня разработанной параметрической модели одного из указанных модулей, относящаяся к высшей ветви специфических параметров.

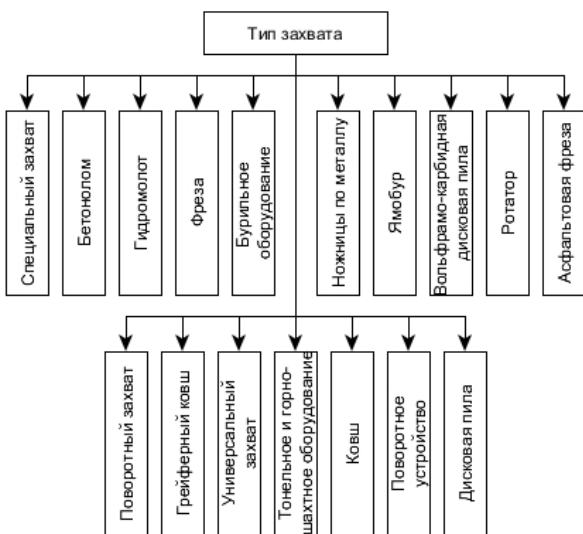


Рис. 4. Нижний элемент ветви специфических параметров иерархической модели манипуляционного модуля

Параметрическая модель проектируемого устройства, на основе которой возможна последующая разработка математической модели РТС, а также многомерного графа принятия решений, с учетом согласованности сборочных единиц в общей системе в зависимости от концептуальной модели робототехнического средства, основанного на математических решениях оптимального выбора в условиях нечеткой определенности, включает в себя параметрические модели каждого из структурных функциональных модулей, имеющих представление в виде «дерева построения».

Таким образом, обобщенная параметрическая модель современного РТС имеет вид:

$$M_{par} = \langle P, S, M, K, Iy, Sv \rangle, \quad (1)$$

где P – параметры модуля перемещения;
 S – параметры сенсорного модуля;
 M – параметры манипуляционного модуля;
 K – параметры корпусного модуля;
 Iy – параметры информационно-управляющего модуля;
 Sv – параметры модуля связи с человеком.

Разработка математической модели РТС

В ходе проведенного исследования и анализа существующих методов математического описания различных типов параметров, характеризующих указанные устройства и изложенных в разработанной параметрической модели иерархического типа, было принято решение об использовании теории нечетких множеств Л. Заде. [6] Данное решение обусловлено возможностью сохранения логических взаимосвязей параметров сложных систем (объектов), а также наиболее приемлемой формализацией нечеткой информации, для решения поставленных задач. Данный подход позволяет не только производить описание указанных параметров и их типов с помощью математических зависимостей, но и количественно определять степень принадлежности одного из множества элементов, обладающих общими свойствами в различной степени, к соответствующим множествам.

В соответствии с использованием указанных подходов и методов математическая модель устройств указанного типа позволяет разграничить зоны численных значений параметров нижнего уровня на определенные подклассы принадлежностей. На рисунке 5 представлена графическая интерпретация разграничения численных значений позиционной повторяемости $R_{pb}(x)$ в рамках теории Л. Заде с использованием лингвистических переменных на три подкласса принадлежностей:

- малая позиционная повторяемость (от 0,007 мм до 0,214 мм);
- средняя позиционная повторяемость (от 0,214 мм до 0,358 мм);

- большая позиционная повторяемость (от 0,358 мм до больших возможно-допустимых значений указанного параметра).

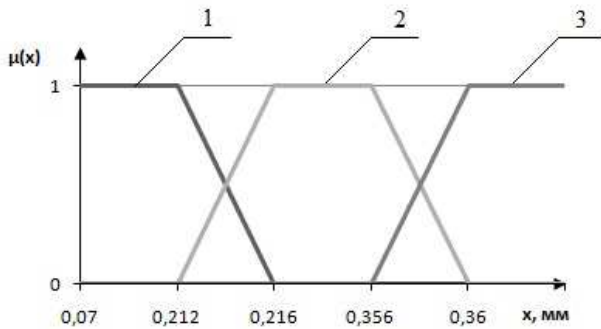


Рис. 5. Функция принадлежности параметра позиционной повторяемости: 1 – функция принадлежности к подклассу малой позиционной повторяемости; 2 – функция принадлежности к подклассу средней позиционной повторяемости; 3 – функция принадлежности к подклассу большой позиционной повторяемости

В соответствии с графической интерпретацией применимости указанного метода к заданным условиям функция принадлежности указанного параметра в рамках подкласса малой позиционной повторяемости принимает вид:

$$\mu(R_{bp}(мал)) = \begin{cases} 1, & x \leq 0,212, \\ \frac{0,216 - x}{0,004}, & 0,212 < x \leq 0,216, \\ 0, & x > 0,216; \end{cases} \quad (2)$$

Аналогичным образом для случая принадлежности к подклассу средней позиционной повторяемости функция зависимости представляется выражением:

$$\mu(R_{bp}(сред)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,212, \\ \frac{x - 0,216}{0,004}, & 0,212 < x \leq 0,216, \\ 1, & 0,216 < x \leq 0,356, \\ \frac{0,356 - x}{0,004}, & 0,356 < x \leq 0,36, \\ 0, & x > 0,36; \end{cases} \quad (3)$$

Для подкласса большой позиционной повторяемости функция принадлежности описывается следующим выражением:

$$\mu(R_{bp}(бол)) = \begin{cases} 0, & x \leq 0,356, \\ \frac{x - 0,356}{0,004}, & 0,356 < x \leq 0,36, \\ 1, & x > 0,36; \end{cases} \quad (4)$$

Указанный подход к построению математических моделей и определений степени принадлежности адаптивен для множества параметров, описывающих РТС в рамках указанных задач проектирования ТП модульной сборки.

Выводы

В ходе исследований проведен структурный анализ современных РТС. Предложено структурное разделение указанных систем на функциональные модули, а также приведены описания технической реализации для каждого из них. С учетом предложенного подхода к структурированию РТС разработана параметрическая модель иерархического типа, а также математическая модель, основанная на теории нечетких множеств Л. Заде, на базе которых планируется последующая разработка графа принятия решений, применимого для решения поставленных задач автоматизации проектирования технологических процессов модульной сборки указанных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Функендорф, А.А. Структурный анализ современных робототехнических систем [Текст] / А.А. Функендорф, А.А. Кушлак, // 19 международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в 21 веке». Сб. материалов форума. Т.1. – Харьков: ХНУРЭ. 2015. -209с.
2. Козырев, Ю.Г. Промышленная робототехника, мехатроника и проблемы автоматизации сборочных операций [Текст] / Ю.Г. Козырев // Сборка в машиностроении, приборостроении : ежемесячный научно-технический и производственный журнал. - 2006. - N2. - С. 16-24.
3. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении [Текст]: Учебник / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе – М.: Высш. шк., 2004. – 415с.
4. Лукинов, А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств [Текст]: Учебное пособие / А.П. Лукинов – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 608с.
5. Кремлев, А.С. Моделирование и программирование робототехнических комплексов [Текст]: Учебное пособие /А.С. Кремлев, К.А. Зименко, А.С. Боргуль – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 136с.
6. Власов, К.П. Методы исследования и организации экспериментов [Текст] / К.П. Власов, П.К. Власов, А.А. Киселева. – Х.: Издательство «Гуманитарный Центр», 2002. – 256с.