

## ОБЗОР ВОЗМОЖНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРКИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ СБОРКИ 3D КОНСТРУКЦИЙ

<sup>1</sup>Россия, г. Пенза, Пензенский государственный университет

<sup>2</sup>Россия, г. Пенза, ООО НТП Криптософт

*The article provides an overview of possible solutions for selection of workpieces in the assembly system of 3D structures. The following state transition models are described: finite automata, pushdown automata, Petri nets, and A-nets. Their advantages and disadvantages are given. In the course of the analysis, A-net model was chosen, since it is the most powerful and visual for describing the sampling process. An example of the implementation of a selection of workpieces for 3D structures based on an A-net is given.*

### Введение

В современном мире в рамках четвертой промышленной революции повсеместно внедряются киберфизические системы (КФС) [1]. КФС – это результат взаимодействия двух составляющих: физической (оборудования и систем коммуникаций) и кибернетической (программной оболочки). Частным случаем КФС является система автоматической сборки 3D-конструкций с использованием робота сборщика. Управление роботом-сборщиком может быть реализовано на функциональных блоках (ФБ) стандарта МЭК 61499 [2].

Для автоматизированной сборки изделия была разработана методология, основные этапы которой представлены ниже:

- 1) Создание проектировщиком технологической карты сборки изделия.
- 2) Преобразование технологической карты в схему соединений на языке Пролог [3] можно осуществить с помощью транслятора или вручную. Схема соединений позволяет представить сборку в виде ориентированного онтографа.
- 3) Модернизация и оптимизация схемы соединений, а также преобразование в Пролог-представление созданного набора команд для робота.
- 4) Преобразование команд для робота в машинные инструкции.

Для этого создается ФБ, который на вход получает набор инструкций, а на выходе генерирует управляющий машинный код для данного типа робота. Полученный ФБ встраивается в систему управления.

Для выполнения процесса сборки роботу-сборщику необходимо подавать детали. Детали могут быть:

- В случайном порядке

В этом случае необходимо производить фильтрацию и отбор нужных деталей во время процесса сборки. Недостаток данного метода в том, что отфильтрованные детали необходимо роботу-сборщику переместить на другой участок. Этот процесс значительно снизит производительность робота и усложнит эту конструкцию.

- Предварительно отсортированные

В данном случае детали по конвейеру двигаются в том порядке, которые позволят однозначно произвести процесс сборки готового изделия. Для этого необходимо создание системы выборки, которая из исходного набора элементов будет выбирать элемент, который можно присоединить в данный момент времени и отправлять его роботу-сборщику.

Второй подход позволит значительно упростить конструкцию робота-сборщика и позволит избежать возможных ошибок.

Исходя из выше сказанного, систему сборки лучше всего разбить на два этапа: сначала упорядочить детали, а затем приходящие в определенном порядке детали легко может устанавливать робот-сборщик.

### **Обзор возможных решений**

Для задачи выборки деталей можно использовать модели переходов состояний [4], такие как:

- 1) Конечные автоматы [5],
- 2) Магазинные автоматы [5],
- 3) Сети Петри [6],
- 4) А-Сети [7].

Конечные автоматы могут использоваться как распознаватели входных цепочек регулярных грамматик. Подход к двухфазной реализации недетерминированных конечных автоматов на основе ФБ стандарта IEC 61499, когда в виде блоков представляются состояния автомата, предложен в работе [8].

Конечные автоматы являются достаточно простыми моделями и не могут описать сложные процессы, например, представляемые контекстно-свободными (КС) языками. Для распознавания КС-языков используются магазинные автоматы (МА). В отличие от конечных автоматов, в МА используется магазинная память (стек, магазин). ФБ-реализация магазинных автоматов предложена в работе [9].

Главным недостатком использования МА является сложность их проектирования. Из-за этого появляется желание использовать более наглядную, но не менее мощную модель – сети Петри (СП). ФБ-реализация СП подразумевает два основных типа ФБ: ФБ-позиция и ФБ-переход и предложена в работе [10].

Расширением СП являются А-сети, повышение моделирующих возможностей которых происходит за счет нагрузки дуг и усложнения правил разрешенности и срабатывания переходов. ФБ-реализация А-сетей предложена в работе [11]. Для задачи выборки деталей выбрана именно эта модель, так как она является довольно мощным и наглядным инструментом проектирования.

ФБ-реализация А-сетей подразумевает два основных типа ФБ: ФБ-позиция и ФБ-переход. Система является реактивной и обрабатывает события прихода очередной детали. При этом цепочка событий будет следующей. При приходе новой детали заново вычисляются сторожевые условия в ФБ-переходах и статус перехода в целом, а также посылается сигнал на планирование запуска нового перехода. Для упрощения реализации предполагаем, что интервалы времени между поступлениями внешних сигналов о приходе новой детали значительно больше, чем время выполнения ФБ. Следует заметить, что срабатывание какого-либо перехода может вызвать срабатывание цепочки других переходов, возможно не нагруженных сторожевыми условиями. Срабатывание перехода, как правило, приводит к изменению маркировки соседних с ним позиций, что, в свою очередь, может повлиять на статус (разрешен/не разрешен) соседних с ними переходов.

### **Пример реализации выборки деталей**

Ярким примером сборной 3D-конструкции является LEGO. Изначально проектирование осуществляется с использованием специального редактора на компьютере – LEGO Designer [12].

В качестве демонстрации работоспособности был выбран LEGO-проект, представленный на рисунке 1а.

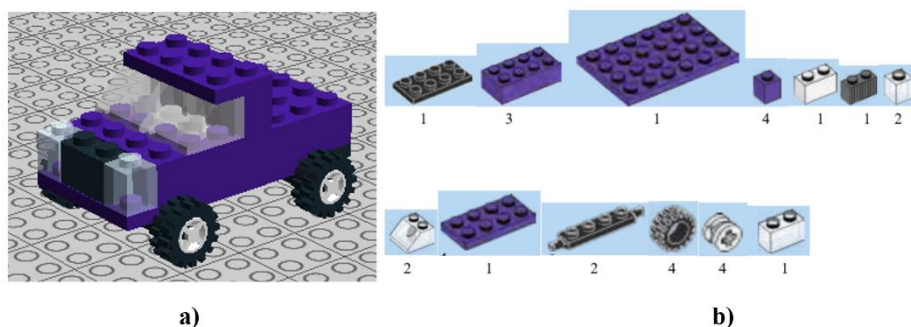


Рисунок 2 – Модель, разработанная проектировщиком(а) и детали, используемые в модели(б)

Количество экземпляров детали подписаны под изображением детали на рисунке 1б. Данная модель состоит из 27 деталей (13 типов деталей). Стандартные размеры LEGO-деталей можно увидеть в [13].

Для удобства дальнейшей обработки присвоим каждой отдельной детали уникальный идентификатор. Кодировка деталей с рисунка 1б показана в таблице 1. Для простоты А-сеть представлена для выборки деталей без колес.

Таблица 1 – Кодировка LEGO деталей

id	Материал	Размер	Цвет	Номер в рамках сборки	Толщина	Фигура
101	Пластик	6x4	Фиолетовый	1	3,2 мм	Прямоугольник
102	Пластик	4x2	Фиолетовый	1	9,6 мм	Прямоугольник
103	Пластик	4x2	Фиолетовый	2	9,6 мм	Прямоугольник
104	Пластик	4x2	Фиолетовый	3	9,6 мм	Прямоугольник
105	Стекло	1x1	Прозрачный	1	9,6 мм	Квадрат
106	Пластик	2x1	Черный	1	9,6 мм	Прямоугольник
107	Пластик	2x1	Белый	1	9,6 мм	Прямоугольник
108	Пластик	1x1	Фиолетовый	1	9,6 мм	Квадрат
109	Пластик	1x1	Фиолетовый	2	9,6 мм	Квадрат
110	Стекло	1x1	Прозрачный	2	9,6 мм	Квадрат
111	Пластик	1x1	Фиолетовый	3	9,6 мм	Квадрат
112	Стекло	1x2	Прозрачный	1	9,6 мм	Прямоугольник
113	Пластик	4x2	Черный	1	3,2 мм	Прямоугольник
114	Стекло	2x2	Прозрачный	1	9,6 мм	Квадрат
115	Стекло	2x2	Прозрачный	2	9,6 мм	Квадрат
116	Пластик	1x1	Фиолетовый	4	9,6 мм	Квадрат
117	Пластик	4x2	Фиолетовый	1	3,2 мм	Прямоугольник

А-сеть для выборки деталей, используемых в модели на рисунке 1а, показана на рисунке 2.

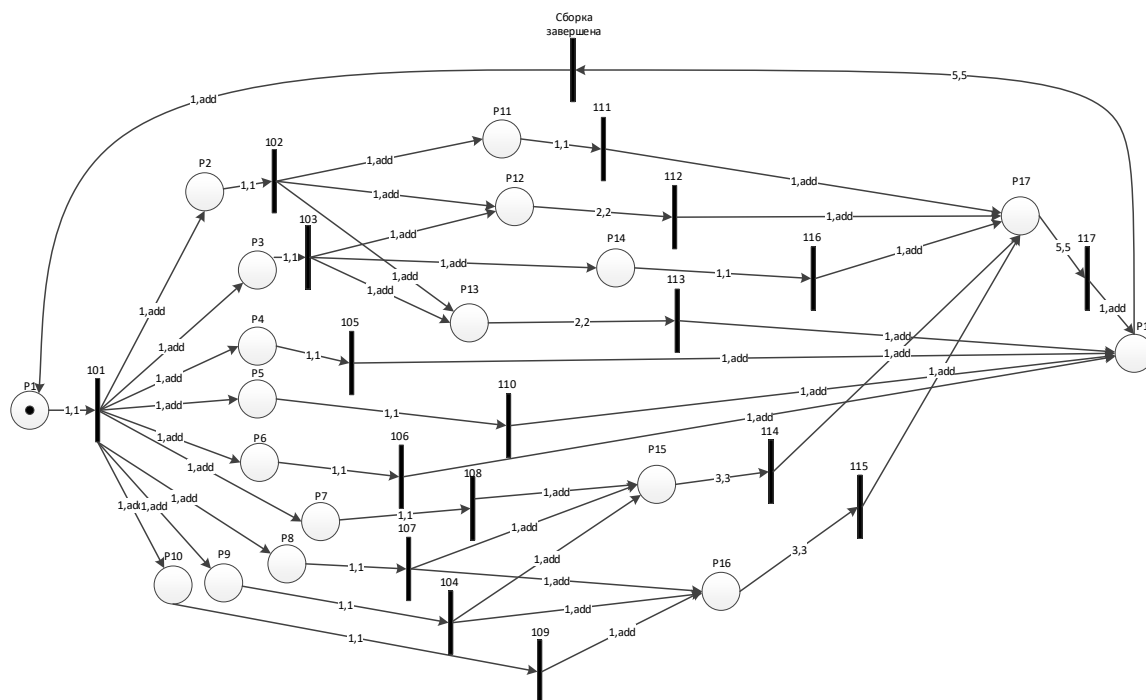


Рисунок 2 – А-сеть для выборки деталей

Реализация А-сети на ФБ для выборки последовательности деталей в системе nxtStudio [14] представлена на рисунке 3.

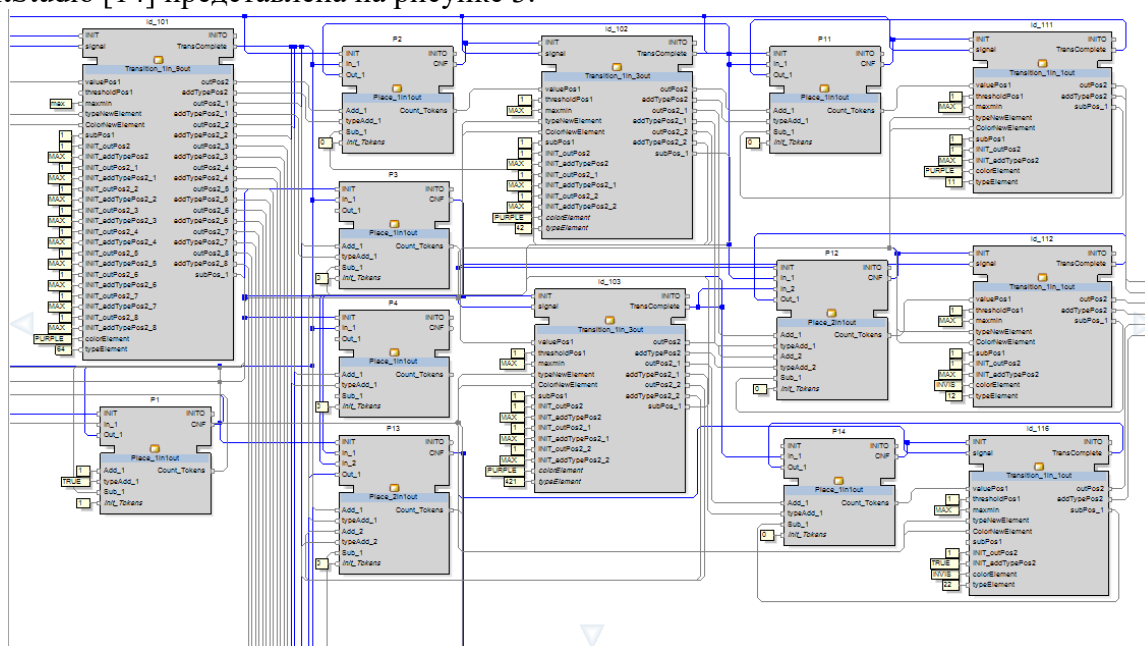


Рисунок 3 – Реализация А-сети на ФБ для выборки последовательности деталей в системе nxtStudio

На рисунке показаны позиции P2-P5, P11-P13 и переходы id\_101, id\_102, id\_103, id\_111, id\_112, id\_116. Полная реализация в статье не представлена из-за объема.

В результате ФБ-реализация загружается в контроллер, который осуществляет процесс выборки для описанной модели.

### Заключение

В предложенной работе выбрана наиболее подходящая модель (А-сети) для реализации выборки деталей для сборки 3D конструкций, так как она является мощным и наглядным средством проектирования. Приведен пример реализации А-сети на ФБ для сборки LEGO-изделия. В дальнейшем планируется создание рабочей модели

функционально-блочных систем управления сборкой LEGO-конструкций с графическим интерфейсом.

Авторы благодарят Совет по грантам Президента РФ за финансовую поддержку проекта «Модели, методы и средства автоматизированного проектирования и синтеза распределенных систем управления на основе функциональных блоков ИЕС 61499 для промышленных киберфизических систем» (Стипендия Президента РФ в 2021-2023 гг. для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, № СП-2511.2021.5).

1. Iarovyi S. et al. Cyber-physical systems for open-knowledge-driven manufacturing execution systems //Proceedings of the IEEE. – 2016. – Т. 104. – №. 5. – С. 1142-1154.
2. Iec I. E. C. 61499-1, function blocks-part 1: Architecture //International Standard, First Edition, International Electrotechnical Commission, Geneva. – 2005. – Т. 1. – С. 2005.
3. Clocksin W. F., Mellish C. S. Programming in Prolog: Using the ISO standard. – Springer Science & Business Media, 2012.
4. Dubinin V. et al. Implementation of state transition models in IEC 61499 and its use for recognition and selection of sequences of events and objects //2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN). – IEEE, 2019. – Т. 1. – С. 466-469.
5. Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. — М.: Вильямс, 2002. — 528 с.
6. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
7. Дубинин В.Н. Асинхронное моделирование NCES-сетей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2. - С. 3-14.
8. Дубинин В.Н., Сенокосов И.В., Войнов А.С., Дроздов Д.Н., Вяткин В.В. Функционально-блочная реализация недетерминированных конечных автоматов // Труды Международной научно-технической конференции "Современные информационные технологии", Пенза, 2017, вып. 25. – С. 5-18.
9. Сенокосов И. В. Функционально-блочная реализация магазинных автоматов // Новые информационные техно-логии и системы (НИТиС 2017) : тр. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2017. – С. 45-49.
10. Сенокосов И. В., Войнов А. С. Реализация сетей Петри на функциональных блоках стандарта МЭК 61499 в системе nxtStudio //Новые информационные технологии и системы. – 2019. – С. 95-98.
11. Дубинин В. Н., Сенокосов И. В., Войнов А. С., Вяткин В. В. Функционально-блочная реализация селектирующих сетей Петри //Современные технологии в науке и образовании-СТНО-2018. – 2018. – С. 124-129.
12. LEGO Designer [Электронный ресурс]. – <https://www.lego.com/en-us/ldd/>
13. LEGO - 01 Basic Dimensions & Bricks Explained [Электронный ресурс]. – <https://grabcad.com/tutorials/lego-01-basic-dimensions-bricks-explained/>
14. Сайт nxtStudio (nxtControl) [Электронный ресурс]. – <http://www.nxtcontrol.com>.