

## МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ В СИСТЕМЕ МЕХАНООБРАБОТКИ

Г.Н. Атаев\*, И.С. Зейналабдиева\*\*

\*Сумгаитский государственный университет,  
Азербайджанская Республика, Сумгаит, [gafar\\_atayev@mail.ru](mailto:gafar_atayev@mail.ru)

\*\*Сумгаитский государственный университет,  
Азербайджанская Республика, Сумгаит, [irada0907@mail.ru](mailto:irada0907@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматривается нечеткая модель управления параллельно функционирующих гибких производственных модулей в системе механообработки. Модель управления параллельно функционирующих ГПМ в системе механообработки представляется в виде нечетких сетей Петри (СП). Выбрана оптимальная траектория, игнорирующая случайные задержки при симуляции модели. Показано, что принятые правила срабатывания переходов полностью описывают процесс функционирования нечетких СП.

*Ключевые слова:* модель управления, нечеткие сети Петри, гибкие производственные модули (ГПМ), параллельно функционирующие ГПМ.

## MANAGEMENT MODEL OF PARALLEL FUNCTIONING PRODUCTION MODULES IN MECHANICAL PROCESSING SYSTEM

G. N. Atayev\*, I. S. Zeynalabdiyeva\*\*

\*Sumgait State University, Republic of Azerbaijan, Sumgait, [gafar\\_atayev@mail.ru](mailto:gafar_atayev@mail.ru)

\*\*Sumgait State University, Republic of Azerbaijan, Sumgait, [irada0907@mail.ru](mailto:irada0907@mail.ru)

*Abstract.* The article examines a fuzzy control model of concurrently functioning flexible production modules (FPM) in the machine processing system. The control model of parallel-functioning FPMs in the machine processing system is represented in the form of fuzzy Petri nets (PN). An optimal path was chosen that ignored random delays when simulating a model. It is shown that the adopted rules for triggering transitions fully describe the process of the functioning of fuzzy PNs.

*Key words:* control model, fuzzy Petri nets, flexible production modules (FPM), parallel-functioning FPM.

**Введение.** При моделировании и управлении сложных систем различных предметных областей, требуется оперативный учет множества часто противоречивых факторов. К ним, в первую очередь, следует отнести [1, 2]: сложные параллельно-последовательное взаимодействие элементов объекта; нечеткий характер взаимодействующих динамических процессов и пространства их состояний; значительная сложность реализуемых задач; значительный удельный вес человеческого фактора, который во многом определяет качество и уровень современных решений.

Учитывая системные требования единства методологических подходов, на всех этапах жизненного цикла изделий необходимым условием должно быть комплексное исследование существенно нечетких процессов для обеспечения цели создания систем конкуренции изделий в условиях рынка. Исследование и моделирование процессов предметной области обычно связывают со следующими действиями [5]: описание элементов системы, ее структуры, основных подсистем, функций, материальных и информационных потоков; построение пространства состояний и возможных переходов состояний; составление схем функциональных взаимодействий; анализ причинно-следственных связей, динамики и механизмов взаимодействия; алгоритмизация принятия решений; формализация и моделирование данных и знаний на основе специальных формализованных объектов предметной области, полученных на предварительных этапах проектирования. Свойства существенной нечеткости в

значительной степени характерны для всех этапов жизненного цикла изделий, технологий, производств. Реализация работ указанных этапов осуществляется в условиях нечеткости, неопределенности, ограничений на ресурсы, включая временные. Это, в свою очередь, приводит к нечеткости представления процессов, которую необходимо учитывать в практических реализациях.

Классические подходы к построению систем принятия решений в значительной степени были ориентированы на детерминированные или стохастические процессы, что принципиально не решает вопросы их использования в условиях существенно нечеткости пространства состояний [3]. Математические модели, основанные на аппарате нечетких множеств, не позволяют в явном виде учитывать параллелизм и динамику в их взаимодействии, а также множество параметров и особенностей предметной области. Эффективное решение перечисленных задач требует необходимости комплексного системного подхода на основе разработки моделей, методов и алгоритмов с применением современных математических методов, аппаратов моделирования и технологий вычислительного интеллекта [6]. Перспективным направлением в данном случае является применение математического аппарата теории сетей Петри (СП) и их различное расширение. В связи с этим, в представленной работе разработана нечеткая модель управления параллельно функционирующих производственных модулей в системе механообработки.

**Нечеткая модель параллельно функционирующих производственных модулей в системе механообработки.** Рассмотрим модель параллельно функционирующих гибких производственных модулей (ГПМ). В гибкой производственной системе механообработки каждый ГПМ состоит из одного промышленного робота, одного персонального входного накопителя, однотипного обрабатывающего устройства для выполнения одинаковых операций над разными однотипными заготовками и из одного персонального выходного накопителя. На каждом модуле обрабатываются детали одного типа. Заготовки поступают на персональный входной накопитель и ожидают обработку. Свободное устройство захватывает заготовку из входного накопителя. После выполнения операции обработанная деталь поступает на выходной персональный накопитель.

Структура параллельно функционирующих обрабатывающих устройств показано на рис 1.

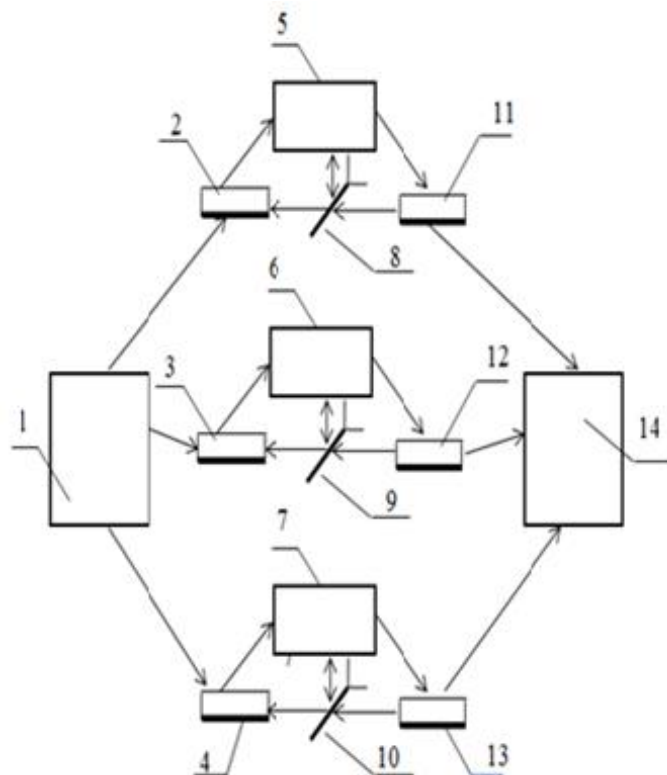
Модель управления параллельно функционирующих ГПМ в системе механообработки представляется в виде нечетких сетей Петри (СП).

Нечеткой СП называется пятерка [4]  $N = (P, T, I, O, \mu)$ , где  $P$  и  $T$  - нечеткие множества позиций и переходов;  $I: P \times T \rightarrow (0,1, \dots)$  и  $O: T \times P \rightarrow (0,1, \dots)$  - функции соответственно входных и выходных инцидентов. Отображение  $\mu: P \rightarrow [0,1]$  присваивает каждой позиции  $p_i$  вектор распределения степеней принадлежности фишек к позиции  $\mu(p_i)$ .

Если вектор распределения степеней принадлежности каждой входной позиции  $p_i \in P$  имеет компоненту не равную нулю, с номером, равным или большим числа дуг, соединяющих данную позицию с переходом  $t_j \in T$ , то срабатывает переход  $t_j$ ; после срабатывания перехода происходит процесс перераспределения фишек в позициях. Число фишек в позициях определяет состояние сети.

В граф- модели параллельно функционирующих ГПМ в гибкой производственной системе механообработки (рис.2), их состояния описываются следующими позициями:

P1- склад заготовки; P2 , P3 , P4 – соответственно входные накопители устройства 1, устройства 2, устройства 3; P5 , P6 , P7 – соответственно метки исключющие загрузки неразгруженных устройства 1, устройства 2, устройства 3; P8 , P9 , P10 – соответственно промышленный робот (ПР)1, ПР2, ПР3 выполняющий загрузки-разгрузки устройства 1, устройства 2, устройства 3; P11 , P12 , P13 – соответственно устройства 1, устройства 2, устройства 3 выполняющий операции над заготовки; P14 , P15 , P16 – соответственно выходные накопители устройства 1, устройства 2, устройства 3; P17 - склад изделий.



1- склад заготовки, 2,3,4- соответственно входные накопители устройства 1, устройства 2, устройства 3; 5,6,7- соответственно устройства 1, устройства 2, устройства 3; 8,9,10- соответственно ПР1,ПР2,ПР3; 11,12,13- соответственно выходные накопители устройства 1, устройства 2, устройства 3; 14- склад изделий.

Рис 1. Структура параллельно функционирующих обрабатывающих устройств

Возможные события в параллельно функционирующих ГПМ описываются следующими переходами:

$t_1$ – соответственно доставки заготовки из склада к позиции устройства 1, устройства 2, устройства 3;  $t_2, t_3, t_4$ – соответственно выполнение загрузки устройств 1, устройства 2, устройства 3;  $t_5, t_6, t_7$ – соответственно выполнение разгрузки устройства 1, устройства 2, устройства 3;  $t_8, t_9, t_{10}$ – соответственно транспортировки обработанных деталей из выхода устройства 1, устройства 2 и устройства 3 к склад изделий.

Функции инцидентности множеств позиции и переходов представляются матрицами:

$$F(10,17)=$$

$$H(17,10)=$$

Матрица инцидентности имеет вид:

$$D(10,17)=$$

Начальная маркировка сети представляется матрицей  $\mu_0(4,17)$ :

$$\mu_{0(4,17)} =$$

В результате компьютерного эксперимента получена последовательность срабатывания переходов  $\delta = (t_1, t_1, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10})$  из начальной маркировки  $\mu_0$ .

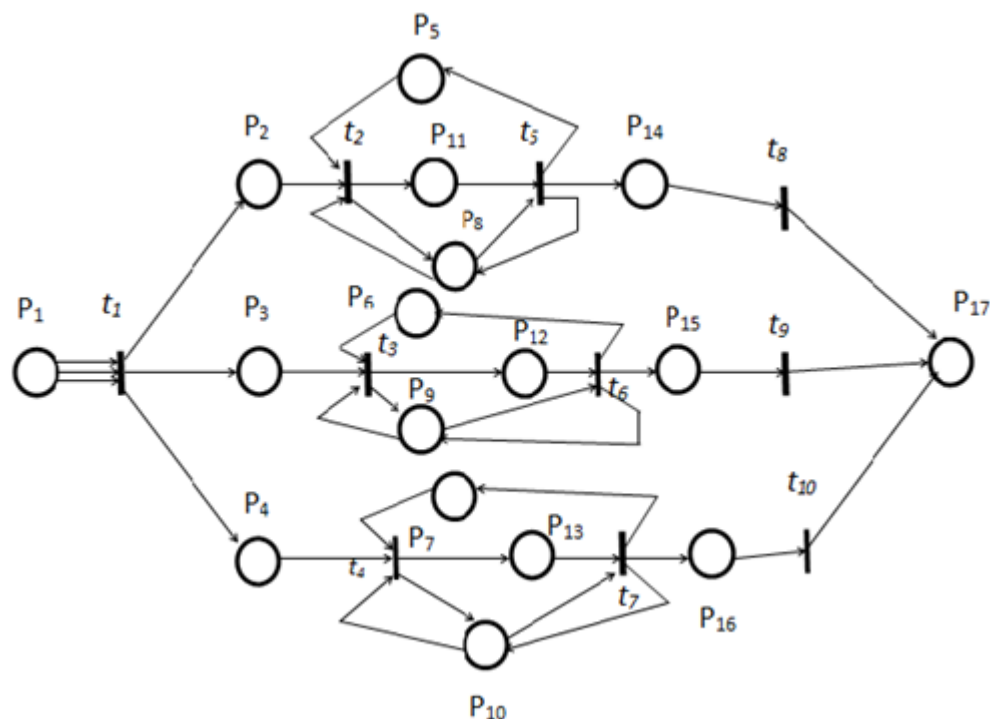


Рис 2. Граф-модель параллельно функционирующих гибких производственных модулей

В результате симуляции получено дерево достижимости в виде последовательности матриц маркировок. Отраженные в матрицах изменения маркировки приведены в таблице (табл. 1):

Таблица 1. Изменения маркировки в матрицах

Срабатываемый переход	Маркировка
$t_1$	$\mu(1,1) = 0.75$ ; $\mu(2,1) = 0.10$ ; $\mu(2,2) = 0.20$ ; $\mu(2,3) = 0.30$ ; $\mu(2,4) = 0.60$
$t_1$	$\mu(1,1) = 0.55$ ; $\mu(3,1) = 0.10$ ; $\mu(3,2) = 0.15$ ; $\mu(3,3) = 0.25$ ; $\mu(3,4) = 0.50$
$t_1$	$\mu(4,1) = 0.20$ ; $\mu(4,2) = 0.25$ ; $\mu(4,3) = 0.40$ ; $\mu(4,4) = 0.50$
$t_2$	$\mu(2,1) = 0.60$ ; $\mu(3,1) = 0.40$ ; $\mu(3,2) = 0.75$
$t_3$	$\mu(3,1) = 0.40$ ; $\mu(3,2) = 0.60$ ; $\mu(4,1) = 0.70$
$t_4$	$\mu(4,2) = 0.60$ ; $\mu(5,1) = 0.90$
$t_5$	$\mu(5,1) = 0.80$ ; $\mu(6,1) = 0.25$ ; $\mu(6,2) = 0.70$
$t_6$	$\mu(6,1) = 0.20$ ; $\mu(7,1) = 0.30$ ; $\mu(7,2) = 0.85$
$t_7$	$\mu(7,1) = 0.30$ ; $\mu(8,1) = 0.20$ ; $\mu(8,2) = 0.75$
$t_8$	$\mu(8,1) = 0.10$ ; $\mu(8,2) = 0.20$ ; $\mu(8,3) = 0.30$ ; $\mu(8,4) = 0.50$
$t_9$	$\mu(9,1) = 0.20$ ; $\mu(9,2) = 0.30$ ; $\mu(9,3) = 0.40$ ; $\mu(9,4) = 0.60$
$t_{10}$	$\mu(10,1) = 0.30$ ; $\mu(10,2) = 0.40$ ; $\mu(10,3) = 0.50$ ; $\mu(10,4) = 0.60$

**Выводы.** По выше указанным начальным данным проведены эксперименты симуляции сети и получены результаты в виде пространства состояний. Определены

возможные траектории обслуживания параллельно функционирующих ГПМ в гибкой производственной системе механообработки. Выбрана оптимальная траектория, игнорирующая случайные задержки при симуляции модели. Показано, что принятые правила срабатывания переходов полностью описывают процесс функционирования нечетких СП.

### Библиографический список

1. Ахмедов М.А., Мустафаев В.А. Моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением стохастических и нечетких сетей Петри. // Электронное моделирование. 2013. Т. 35. №4. с.109-121.
2. Бодянский Е.Б., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. Нейро- фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем. Монография. Днепропетровск: Системное технология. 2005. 311 с.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М. Мир. 1984. 264 с.
4. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении - Л.: Наука. 1989. 133 с.
5. Ding Z., Zhou Y., Zhou M. "A Polynomial Algorithm to Performance Analysis of Concurrent Systems via Petri Nets and Ordinary Differential Equations", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2015. vol. 12. no. 1. pp. 295-308.
6. Lopez- Mellado E. "Analysis of discrete event systems by simulation of timed Petri net models". Mathematics and Computers in Simulation. 2002. vol. 61. no. 1. pp. 53-59.