

3. Галченкова В.Ю. Анализ конструктивно-технических систем автомобиля по улучшению экологических характеристик/Галченкова В.Ю., Боглай М.Е., Рябыкин А.А., Мамичев А.О/Инновационное развитие и потенциал современной науки/Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. под общей редакцией А.И. Вострецова. 2018. С. 59-64.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ НА БАЗЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ¹

**Суконщиков Алексей Александрович, к.т.н., доцент, заведующий кафедры
Вологодский государственный университет**

Рассматривается математическое представление нечетких продукционных правил в системах автоматизации нечеткими сетями Петри.

Ключевые слова: нечеткие продукционные правила, нечеткие сети Петри.

Для управления различными технологическими процессами в настоящее время используются многоагентные интеллектуальные системы, которые состоят из агентов оценивания ситуации, прогнозирования и выработки управляющих действий [1].

Модуль агента выработки управляющих действий обрабатывает выходные сигналы от агентов оценивания ситуаций и прогнозирования, а также команды от ЛПР. На основе комбинации этих сигналов и их значений из базы знаний нечетких продукционных правил (НПП) выбирается соответствующее правило.

Соответственно каждое НПП можно описать нечеткой сетью Петри [2].

Простое НПП состоит из одного антецедента (условия) и одного консеквента (заключения). Это правило вида «ПРАВИЛО №: Если А, то С» формулируется как переход $t_i \in T$, при этом антецеденту соответствует маркировка входной позиции p_i , а заключению маркировка выходной позиции $p_i \in P$ (рис. 1.а).

Фокусирующее НПП состоит из подусловий, соединенных операцией нечеткой конъюнкции: $A = A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_l$, то подусловия формулируются как маркировка входных позиции (p_1, p_2, p_3) перехода t_1 (рис. 4.1, б для случая $l=3$) и одного консеквента.

Разветвляющее НПП состоит из антецедента в виде маркировки входной позиции p_1 и консеквентов, соединенных операцией нечеткой конъюнкции: $C = C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_l$, или $C = C_1 \& C_2 \& \dots \& C_l$, консеквенты формируются как маркировка выходных позиции (рис. 1, в для случая $l=3$).

Составное НПП состоит из дизъюнкции антецедентов и дизъюнкции консеквентов. Так, если антецедент НПП состоит из нескольких подусловий, соединенных операцией нечеткой дизъюнкции:

¹ * Работа выполнена при поддержке РФФИ – гранты №18-47-350001 p_a, №19-01-00103 А

$A = A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_l$, то все эти подусловия представляются как входные позиции p_i отдельных переходов t_i для $i \in \{1, 2, \dots, l\}$ (рис. 1, а для случая $l=3$).

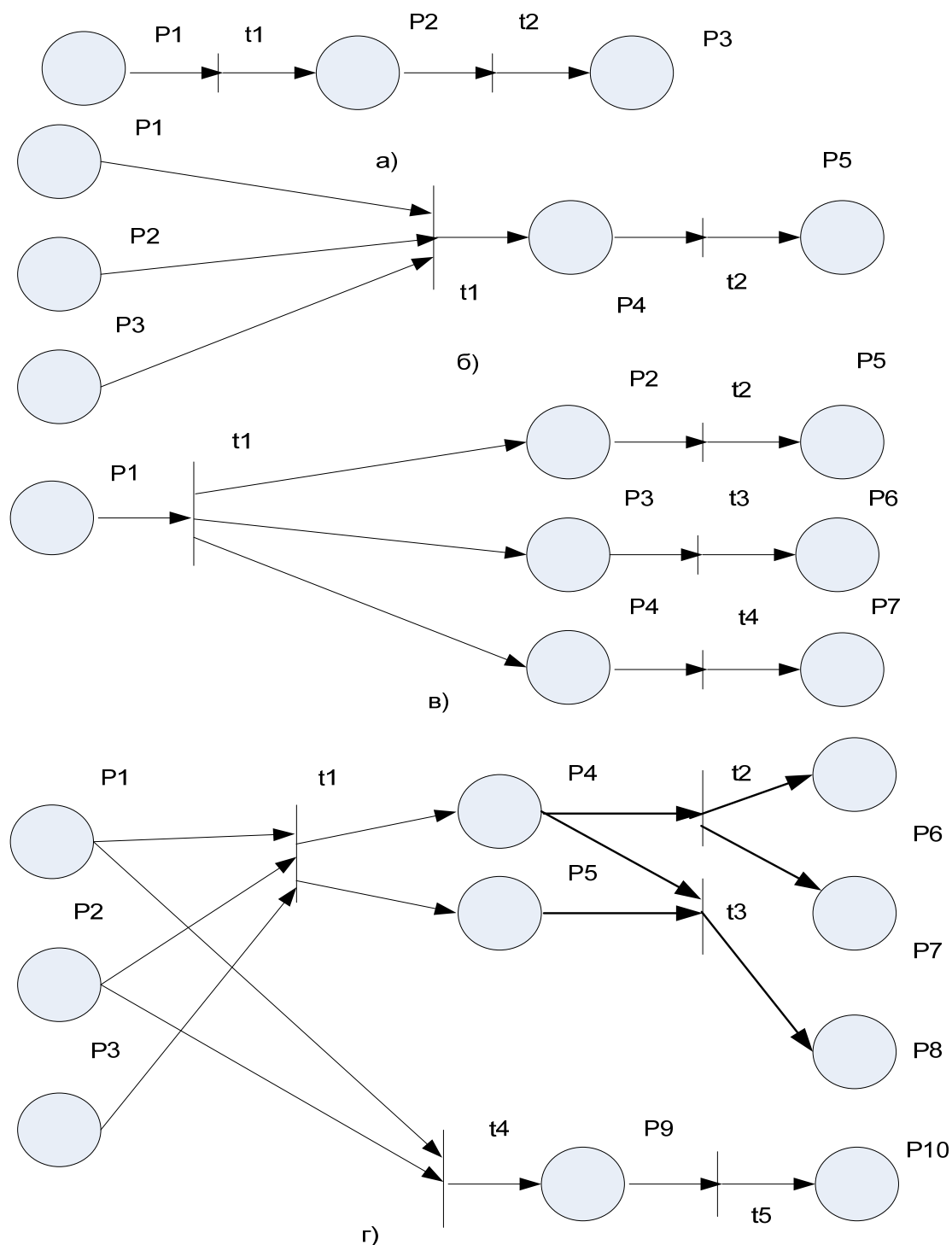


Рис.1. Представление нечетких продукционных правил в виде фрагментов на базе нечеткой сети Петри; а) простое НПП; б) фокусирующее НПП; в) разветвляющее НПП; г) составное НПП.

Если же заключение правила нечеткой продукции состоит из нескольких подзаключений, соединенных операцией нечеткой дизъюнкции: $C = C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_l$, то все эти подзаключения представляются как выходные позиции отдельных переходов t_i для $i \in \{1, 2, \dots, l\}$.

Исходя из этого, любое правило нечеткой продукции может быть представлено в графа на базе нечетких сетей Петри. При этом веса или коэффициенты определенности F_i правил нечетких продукций преобразуются в вектор $f = (f_1, f_2, \dots, f_u)$ значений функции принадлежности нечеткого срабатывания переходов, а степеням истинности подусловий правил соответствуют значения компонентов начальной маркировки $m_0 = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$, которая в этом случае описывает текущую ситуацию моделируемой проблемной области.

Простое НПП соответствует случаю когда есть только одна команда или от ЛПР ($Pl(\mu 1)$) или от агента ситуационного анализа ($Pl(\mu 2)$) или от агента прогнозирования ($Pl(\mu 3)$):

$$(Pl(\mu 1)) \& (Pl(\mu 2)) \& (Pl(\mu 3)).$$

Условие активности, срабатывания и определения новых маркировок для данного правила аналогичны изложенным.

Фокусирующее НПП имеют три входных позиции, которые соответствуют: p1- команда от ЛПР данного уровня, p2 – команда от агента ситуационного анализа, p3 – команда от агента прогнозирования.

Для фокусирующего НПП условие активности перехода при использовании логической операции « \vee »:

$$t1 : (\exists \mu i (p1) \geq \lambda t1 i) \vee (\exists \mu j (p2) \geq \lambda t1 j) \vee (\exists \mu l (p3) \geq \lambda t1 l);$$

при использовании логической операции « $\&$ »:

$$t1 : (\exists \mu i (p1) \geq \lambda t1 i) \& (\exists \mu j (p2) \geq \lambda t1 j) \& (\exists \mu l (p3) \geq \lambda t1 l);$$

условие срабатывания перехода:

$$t1 : \max((\exists \mu 4 i = \max(\mu 4 i - 1, \min(\mu l i, ft1 i)), (\exists \mu 4 j = \max(\mu 4 j - 1, \min(\mu 2 j, ft1 j)), (\exists \mu 4 l = \max(\mu 4 l - 1, \min(\mu 3 l, ft1 l))), (\mu i(p1) = 0), (\mu j(p2) = 0), (\mu l(p3) = 0)).$$

Значение маркировки в позиции (предикате) p4 соответствует выбору управляющего действия из базы управляющих действий для данной секции НПП (секция НПП соответствует страте управления СИАМ). Для того, чтобы учесть приоритет команды от ЛПР или какого-либо агента необходимо определить предыдущее значение в позиции p4 (допустим команда от ЛПР имеет наивысший приоритет $Pr(ЛПР) > Pr(As(O)), Pr(As(O)) > Pr(As(P))$, тогда $(\mu 4 i - 1) = 1$, а $(\mu 4 j - 1) = 0.5$ и $(\mu 4 l - 1) = 0$. Для переходов t2 простого и фокусирующего НПП условия активности и срабатывания определяются на основе стратегии управления в данной сети.

Для разветвляющего НПП условие активности перехода:

$$t1 : (\exists \mu i (p1) \geq \lambda t1 i),$$

условие срабатывания перехода при использовании логической операции « \vee »:

$$t1 : \max((\exists \mu 4i = \max(\mu 4i - 1, \min(\mu li, ftli))) \vee (\exists \mu 4j = \max(\mu 4j - 1, \min(\exists \mu 2j, ftlj))), \vee (\exists \mu 4l = \max(\mu 4l - 1, \min(\mu 3l, ftll))), (\mu i(p1) = 0))$$

условие срабатывания перехода при использовании логической операции « $\&$ »:

$$t1 : \max((\exists \mu 4i = \max(\mu 4i - 1, \min(\mu li, ftli))) \& (\exists \mu 4j = \max(\mu 4j - 1, \min(\exists \mu 2j, ftlj))) \& (\exists \mu 4l = \max(\mu 4l - 1, \min(\mu 3l, ftll))), (\mu i(p1) = 0))$$

Составное НПП будет представлять комбинацию из фокусирующего и разветвляющего НПП. Для уменьшения сложности восприятия составное НПП может быть разложено на фокусирующее и разветвляющее НПП. Данное описание НПП соответствует секции событийной страты корпоративной сети.

Для секции событийной страты подсети будет все аналогично, кроме одного: входных позиций для НПП будет четыре (четвертая соответствует управляющей команде от верхнего уровня).

Для секции событийной страты объекта будет все аналогично как для секции событийной страты подсети, кроме одного: входных позиций для НПП будет пять (пятая соответствует значению свободного ресурса объекта в данный момент времени).

Для фокусирующего НПП условие активности перехода при использовании в основном логической операции « \vee »:

$$t1 : ((\exists \mu i(p1) \geq \lambda tli) \vee (\exists \mu j(p2) \geq \lambda t1j) \vee (\exists \mu l(p3) \geq \lambda tll) \vee (\exists \mu g(p4) \geq \lambda tlg) \vee (\exists \mu v(p5) \geq \lambda tlv));$$

при использовании логической операции « $\&$ » и для выполнения действия не требуются ресурсы объекта:

$$t1 : ((\exists \mu i(p1) \geq \lambda tli) \& (\exists \mu j(p2) \geq \lambda t1j) \& (\exists \mu l(p3) \geq \lambda tll) \& (\exists \mu g(p4) \geq \lambda tlg) \& (\exists \mu v(p5) \geq \lambda tlv));$$

при использовании логической операции « $\&$ » и для выполнения действия необходимы свободные ресурсы объекта:

$$t1 : ((\exists \mu i(p1) \geq \lambda tli) \& (\exists \mu j(p2) \geq \lambda t1j) \& (\exists \mu l(p3) \geq \lambda tll) \& (\exists \mu v(p5) \geq \lambda tlv)) \vee (\exists \mu g(p4) \geq \lambda tlg);$$

Для разветвляющего НПП условия строятся аналогично. Возможны построения различных вариантов сложных составных НПП.

Вариант 1. Управляющие действия выполняются не одновременно, а сначала одно или несколько действий, а затем следующие действия (например, удалить предыдущее предельное значение характеристики и установить новое значение), тогда условие срабатывания перехода на примере фокусирующего НПП:

$$\begin{aligned}
t1 : & (max(((\exists \mu 4i = max(\mu 4i - 1, min(\mu li, ft li)), (\exists \mu 4j = max(\mu 4j - 1, min(\mu 2j, ft 1j))), \\
& (\exists \mu 4l = max(\mu 4l - 1, min(\mu 3l, ft 1l)))))) \vee (max(((\exists \mu 5i = max(\mu 5i - 1, min(\mu 4i, ft li)), \\
& (\exists \mu 5j = max(\mu 5j - 1, min(\mu 4j, ft 1j))), (\exists \mu 5l = max(\mu 5l - 1, min(\mu 4l, ft 1l))))); \\
& (\mu i(p1) = 0), (\mu j(p2) = 0), (\mu l(p3) = 0).
\end{aligned}$$

Вариант 2. Управляющие действия выполняются по следующей схеме: сначала одно или несколько действий, а затем следующие действия по выбору (например, удалить предыдущее предельное значение характеристики или установить новое значение или удалить данную характеристику из списка контролируемых), тогда условие срабатывания перехода на примере фокусирующего НПП:

$$\begin{aligned}
t1 : & (max(((\exists \mu 4i = max(\mu 4i - 1, min(\mu li, ft li)), (\exists \mu 4j = max(\mu 4j - 1, min(\mu 2j, ft 1j))), \\
& (\exists \mu 4l = max(\mu 4l - 1, min(\mu 3l, ft 1l)))))) \vee (((max(((\exists \mu 5i = max(\mu 5i - 1, min(\mu 4i, ft li)) \& \\
& (\exists \mu 5j = max(\mu 5j - 1, min(\mu 4j, ft 1j))) \& (\exists \mu 5l = max(\mu 5l - 1, min(\mu 4l, ft 1l))))); \\
& (\mu i(p1) = 0), (\mu j(p2) = 0), (\mu l(p3) = 0).
\end{aligned}$$

Полученные результаты позволяют формализовать на базе нечетких сетей Петри модель агента выработки управляющих действий, что позволит получить при моделировании оптимальные параметры функционирования данного агента.

Список литературы

1. Швецов А.Н., Суконщиков А.А., Кочкин Д.В., Андрианов И.А. Ситуационные интеллектуальные системы поддержки принятия решений: монография / Под ред. А.А. Суконщикова и А.Н. Швецова.- Курск: Изд-во «Университетская книга», 2018.- 251с.
2. Суконщиков А.А., Кочкин Д.В., Швецов А.Н. Нечеткие и нейронные сети Петри: монография / Под ред. А.А. Суконщикова и А.Н. Швецова.- Курск: Изд-во «Университетская книга», 2019.- 209с.