

Измерения координат, описывающих положение объекта (x_1 и x_3), являются обязательными для выполнения критерия полной наблюдаемости, в то время как измерение координат скоростей (x_2 и x_4) избыточны, и не несут дополнительной информации.

Полученные результаты будут использованы для решения задачи параметрической идентификации параметров движения объекта по сложной траектории.

Благородности

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 18-37-00220).

Список использованных источников

1. Семушин, И. В. Ориентированная на фильтрацию Калмана математическая модель установившейся циркуляции для анализа траектории / И. В. Семушин, Ю. М. Кроливецкая, Е. С. Петрова // Автоматизация процессов управления. – 2013. – №. 4 (34). – С. 14-20.
2. Семушин, И. В. Моделирование и оценивание траектории движущегося объекта / И. В. Семушин, А. В. Цыганов, Ю. В. Цыганова, А. В. Голубков, С. Д. Винокуров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2017. – Т. 10. – № 3. – С. 108-119.
3. Семушин И. В., Цыганова Ю. В. Детерминистские модели динамических систем. Методическое пособие / И. В. Семушин, Ю. В. Цыганова. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 75 с.

УДК 519.95

Ш.С. Гусейнзаде

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭВОЛЮЦИОННОГО НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Сумгаитский государственный университет
(Азербайджан, Сумгаит, shahla.huseynzade@gmail.com)

Аннотация. В статье, рассмотрена задача определения свойства устойчивости для системы автоматического управления на этапе проектирования эволюционных нечетких регуляторов (ЭНР). Определено место поставленной задачи в современной теории разработки и исследования новых способов проектирования ЭНР при автоматическом управлении. Так как универсальных методов

проверки устойчивости на сегодняшний день не существует, анализированы подходы с использованием аналитических, эмпирических и экспериментальных методов, выявлены недостатки применения этих подходов. Обосновано, что сеть Петри (СП) является удобным математическим аппаратом имитационного моделирования ЭНР по следующим причинам: функционирование ЭНР является локально параллельным процессом, где сопрягаются нечеткое регулирование и эволюционная процедура; при моделировании параллельных процессов, удобным и многообещающим инструментом исследования является СП; свойства СП дают возможность получать информацию о будущем поведении систем управления на начальных этапах проектирования. Разработана отмоделированная структура эволюционного нечеткого регулятора с применением СП на основе алгоритмической реализации сопряжения для случая изменения параметров. Формированы структурные элементы СП: блоки ЭНР в роли состояний среды описаны позициями, события между состояниями обозначены переходами. Модель в виде графа реализована в системе CPN Tools. В результате проведения симуляции графа-модели на CPN Tools получено дерево достижимых маркировок, на основе которого произведен анализ системы. Выявлены недостатки, тупиковые состояния и внесены корректировки. Это позволяет без лишних затрат настроить систему на оптимальный режим работы и определить свойство устойчивости для системы автоматического управления на этапе проектирования ЭНР при автоматическом управлении.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, эволюционные алгоритмы, сеть Петри, устойчивость системы, матрица инцидентности, начальная маркировка, моделирование параллельных процессов, кортеж переходов.

Sh.S. Huseynzade

APPROACH TO THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF STABILITY OF THE EVOLUTIONARY FUZZY REGULATOR WITH THE APPLICATION OF PETRI NETS

Sumgait State University

(Azerbaijan, Sumgait, shahla.huseynzade@gmail.com)

Abstract. In the article, the task of determining the property of stability for the automatic control system at the design stage of evolutionary fuzzy regulators (EFR) is considered. The place is determined for the task in modern theory of development and research of new ways of designing EFR with automatic control. Since there are currently no universal methods for testing sustainability, the approaches are analyzed using analytical, empirical and experimental methods and the drawbacks of using these approaches are revealed. The functioning of the EFR is a locally parallel process where fuzzy regulation and evolutionary procedure are mated. When modeling parallel processes, a convenient and promising research tool is the Petri net (PN). The properties of the Petri net provide an opportunity to receive information about the future behavior of control systems in the initial stages of design. A simulated structure of an evolutionary fuzzy regulator has been developed using the Petri net based on an algorithmic implementation of conjugation for the case of changing parameters. Structural elements of the Petri net are formed: EFR blocks in the role of environment states are described by positions, events between states are indicated by transitions. The model in the form of a graph is implemented in the CPN Tools system. As a result of the simulation of the graph-model on CPN Tools, a tree of attainable markings was obtained, on the basis of which the system was analyzed. Revealed deficiencies, deadlock conditions and made

adjustments. This allows to easily adjust the system to the optimal mode of operation and to determine the stability property for the automatic control system at the design stage of the EFR with automatic control.

Keywords: fuzzy regulator, evolutionary algorithms, Petri net, system stability, incidence matrix, initial labeling, modeling of parallel processes, transition tuple.

При проектировании нечетких регуляторов существует сложность адаптации параметров к изменяющимся условиям окружающей среды. Применение генетических алгоритмов с параллельно функционирующим нечетким регулятором позволяет в значительной степени решить эту проблему. Ключевым моментом при реализации функционирования эволюционного нечеткого регулятора (НР) является сопряжение локально параллельного алгоритма нечеткого регулирования с эволюционной процедурой [1].

Одно из основных требований к регуляторам при автоматическом управлении является обеспечение устойчивости. Эти требования наиболее жесткие к системам управления, связанным с безопасностью. Требование устойчивости в автоматических системах должно выполняться независимо от типа применяемого регулятора. Система устойчива "в целом" если она возвращается в исходное состояние при любых начальных отклонениях [2].

В настоящее время разработаны и используются различные аналитические методы исследования устойчивости. Они позволяют получать информацию о будущем поведении систем управления на начальных этапах проектирования. Для нечетких регуляторов общепринятых, универсальных методов проверки устойчивости на сегодняшний день не существует [3]. Имеются подходы к адаптации классических аналитических методов исследования устойчивости для нечетких систем управления. Задачи исследования устойчивости НР являются нелинейными, и возможности линеаризации сильно ограничены, из-за чего появляются случаи неприменимости аналитических методик.

При таких случаях возможно использование эмпирических и экспериментальных методов. Недостатком эмпирических методов является существенная сложность или невозможность обобщения получаемых на их основе результатов. Они просто подтверждают устойчивость системы применительно к конкретным условиям, рассматриваемым в ходе моделирования. Сложности, возникающие при подтверждении устойчивости нечетких систем управления, сужают область практического применения эмпирических и экспериментальных методов [4]. Сложившаяся ситуация

обуславливает исследование и разработку подходов и методов для решения задачи устойчивости НР.

Принятые заведомо неверные решения могут проявиться в момент испытания работоспособности регулятора, и приводит к устранению недостатков с необходимостью изменения параметров, структуры регулятора, и повторным экспериментам. Такой подход требует больших затрат времени и сил проектировщика. Необходимы способы исследования устойчивости НР на начальных этапах проектирования.

В случае неприменимости аналитических методик, эмпирических, экспериментальных подходов возможным решением может послужить использование имитационных методов. Их основная идея заключается в необходимости синтеза и последующего компьютерного анализа нечетких моделей объекта управления и регулятора. Применение современной компьютерной технологии, программных пакетов моделирования, таких как CPNTools на основе СП, позволяет провести всесторонний анализ сложных систем, независимо от числа воздействующих на них сигналов. Устранение недостатков, проявившихся в момент испытания работоспособности регулятора, будет сопряжено необходимостью изменения параметров, структуры регулятора, проведения повторных экспериментов.

Для построения моделей систем в виде СП, моделируемые явления, совершающиеся в системе, описываются множеством событий и условий, а также причинно-следственными отношениями, устанавливаемыми на множестве “события-условия” [5]. Особенную роль СП играют при моделировании параллельных процессов, здесь это едва ли не самый удобный и многообещающий инструмент исследований. На основе вышеуказанных свойств можно утверждать, что применительно к ЭНР СП является удобным аппаратом моделирования, и система со структурой ЭНР может быть реализована на СП.

Локально-параллельный эволюционный нечеткий регулятор. Эволюционный нечеткий регулятор состоит из следующих блоков [6]: управляющее устройство (УУ), объект управления (ОУ), датчик регистрации (ДР), преобразователь входного сигнала из четкой формы в нечеткую (ЧН) (fuzzifier), блок нечеткой обработки (НО) (fuzzy inference engine), преобразователь выходного сигнала из нечеткой формы в четкую (НЧ) (defuzzifier), блок оценки качества (ОК), регистрация результатов (РР), блок методов изменения параметров (ИП), блок лучших вариантов (ЛВ).

Блоки эволюционного нечеткого регулятора в роли состояний среды описаны позициями p_1, p_2, \dots, p_{10} СП. События между состояниями обозначены переходами t_1, t_2, \dots, t_{14} . Пред и пост состояния событий описываются соответственно матрицами входных и выходных инцидентов переходов: $F(n \times m)$, $H(n \times m)$, $n=10, m=14$. Матрица инцидентов сети $D(10 \times 14)$ определяется как $D=F-H^T$. Дуги описывают поток обрабатываемой информации между позициями и переходами.

Значение элемента матрицы входных инцидентов f_{ij} равно числу дуг от i -ой позиции к j -му переходу $\#(p_i, I(t_j))$; значение элемента матрицы выходных инцидентов h_{ij} равно числу дуг от j -го перехода к i -ой позиции $\#(p_i, O(t_j))$; значение элемента матрицы инцидентов $d_{ij} = h_{ij} - f_{ij}$, где $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$. $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Начальное состояние среды описывается начальной маркировкой $\mu^0 = (\mu_1^0, \mu_2^0, \dots, \mu_n^0)$. Искомое состояние среды будет определяться маркировкой $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$.

Позиции СП: p_1 – блок УУ, p_2 – блок ОУ, p_3 –блок ДР, p_4 –блок ЧН, p_5 – блок НО, p_6 – блок НЧ, p_7 –блок ОК, p_8 – блок РР, p_9 –блок ИП, p_{10} – блок ЛВ.

Переходы СП: t_1 – регулирование входных параметров, t_2 – регистрация выходных параметров, t_3 –преобразование входного сигнала из четкой формы в нечеткую, t_4 – нечеткая обработка, t_5 – преобразование выходного сигнала из нечеткой формы в четкую, t_6 – формирование соответствующего управляющего воздействия для входного параметра, t_7 – изменение профиля ФП входных термов ЛгП, t_8 – изменение профиля ФП выходных термов ЛгП, t_9 – изменение решающих правил, t_{10} – независимое наблюдение за работой системы, t_{11} – определение целевых характеристик функционирования системы, t_{12} – накопление опыта для каждого варианта ИП, t_{13} – отбор лучших вариантов изменений параметров, t_{14} –установка наилучших изменений параметров.

При позициях $P=\{p_1, p_2, \dots, p_{10}\}$ и переходах $T=\{t_1, t_2, \dots, t_{14}\}$ функции входной и выходной инцидентности представляются соответственно матрицами $F(10,13)$ и $H(13,10)$:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Начальная маркировка μ_0 представляется вектором:

$$\mu_0 = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0).$$

На основе выше указанных матриц инцидентий разработана модель эволюционного нечеткого регулятора в системе CPN Tools (см. рис. 1).

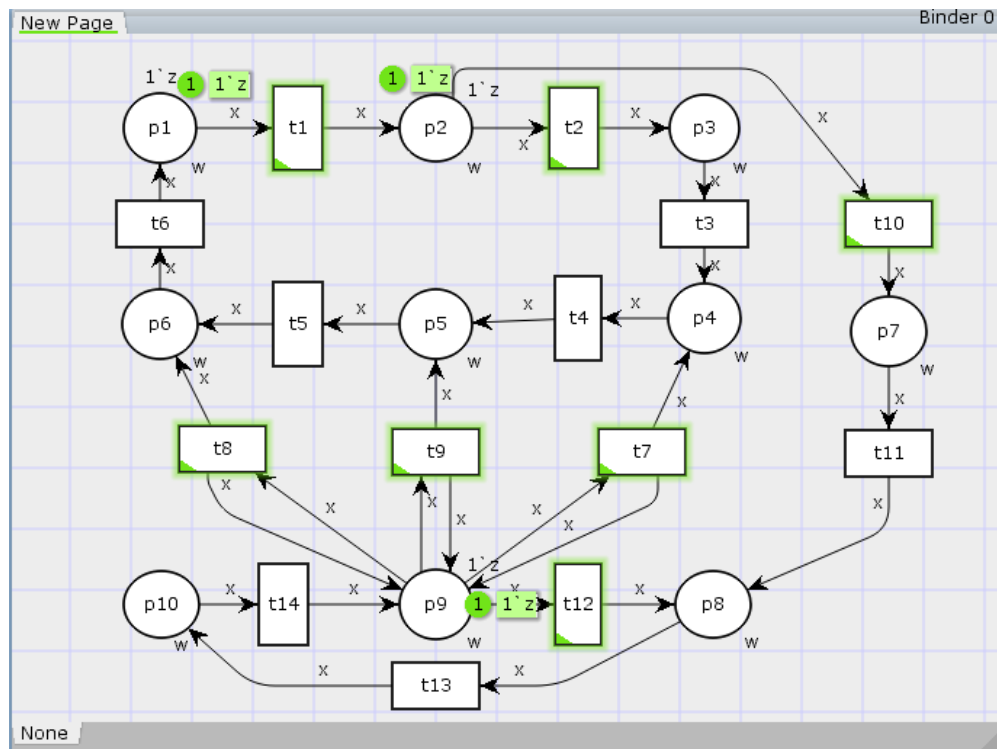


Рис.1. Модель эволюционного нечеткого регулятора в системе CPN Tools.

Во время симуляции графа при каждом срабатывании переходов происходят изменения маркировки графа. Маркировка определяет общее состояние системы. Дерево достижимых маркировок дает возможность анализа системы [7].

В результате симуляции получено дерево достижимости в виде последовательности векторов маркировок.

Разработанная модель на СП обеспечивает наглядность, концептуальную прозрачность и удобство отладки, что первостепенно важно при проведении исследований применительно к эволюционному нечеткому регулятору.

В результате симуляции последовательность запусков срабатываемых переходов имеет вид: $t_1, t_2, t_3, t_{10}, t_{11}, t_{13}, t_{12}, t_{14}, t_4, t_5, t_6, t_7, t_4, t_5, t_6, t_1, t_1, t_2, t_3, t_{10}, t_{11}, t_{13}, t_{12}, t_{14}, t_4, t_5, t_6, t_9, t_5, t_6, t_6, t_1, t_2, t_3, t_{10}, t_{11}, t_{13}, t_{12}, t_{14}, t_4, t_5, t_6, t_8, t_6, t_1$. По картежу выполняемых переходов видно, что данная СП не имеет тупиков, так как все переходы были запущены. Сеть периодична и все маркировки достижимы. За 45 шагов все переходы выполняются, и СП приводится в начальное состояние, что показывает устойчивость системы "в целом".

На модели можно выявлять недостатки, тупиковые состояния и вносить корректировки. Это позволит без лишних затрат настроить систему на оптимальный режим работы и определить свойство устойчивости ЭНР на этапе проектирования при автоматическом управлении.

Список использованных источников

1. Бураков М.Б. Эволюционный синтез нечетких регуляторов / М.Б. Бураков, А. С. Коновалов, О. Б. Яковец // Информационно управляющие системы, №6, 2015, с.28-33.
2. Соловьев В.В. Устойчивость систем с адаптивными нечеткими регуляторами / В.В. Соловьев, А.Я. Номерчук, М.Е. Денисенко // Известия ЮФУ, Технические науки, 2014, 5(154), с.29-36.
3. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход) / А.Р. Гайдук М: Физматлит, 2011, 307 с.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление /пер. с польского, М: Бином, Лаборатория знаний, 2011, 798 с.
5. Котов В.Е. Сети Петри. М., Наука. 1984 – 160 с.
6. Михаль О.Ф. Принципы организации систем нечеткого регулирования на однородных локально-параллельных алгоритмах / О.Ф.Михаль, О.Г.Руденко. // “Управляющие системы и машины”, 2001, № 3, с. 3 – 10.
7. Jensen K. Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, L. M. Kristensen // 1st Springer Publishing Company, Incorporated ©2009, p.384.