

ГЕНЕРАЦИЯ СЕТИ ПЕТРИ НА БАЗЕ СРЕДСТВ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ КООРДИНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А. А. Гурский, А. Е. Гончаренко, А. В. Денисенко

Одесская национальная академия пищевых технологий

Аннотация. В работе рассматривается система координирующего управления с алгоритмом параметрической настройки регуляторов, модель которой реализована средствами дискретно-непрерывных сетей. Представляется система, в которой алгоритм автоматической настройки координирующего уровня управления отражается сетью Петри. Формирование или поиск наилучшего алгоритма синтеза координирующей системы реализуется на основе автоматического формирования сети Петри. При этом сеть Петри формируется при функционировании многослойной нейронной сети, которая определяет интеллектуальную технологию, как в самонастройке координирующей системы управления, так и в анализе композиции сети Петри.

Ключевые слова: координирующее управление, логико-динамическая система, дискретно-непрерывная сеть, робот, алгоритм синтеза, сети Петри, генерация сетей Петри, нейронные сети.

Введение

Процедура синтеза координирующих систем автоматического управления может иметь поэтапный характер. Это первоначальный параметрический синтез отдельных уровней системы или отдельных регуляторов, на первом этапе, а затем, на следующем этапе, параметрический синтез всей системы в целом с учетом реализации временной соподчиненности процессов регулирования.

Синтезу координирующих систем управления посвящено достаточное количество работ [1 – 3]. На основе данных работ можно сделать вывод, что многоуровневый характер построения систем координирующего управления вынуждает, для получения желаемых результатов синтеза, координирующую систему первоначально рассматривать как одноуровневую [2]. При этом из многоуровневой системы можно получить различные варианты одноуровневых систем, которые могут рассматриваться при различных алгоритмах синтеза. Но следует также учесть, что различные варианты алгоритмов настройки координирующей системы управления не всегда могут привести к одним и тем же желаемым результатам. Например, можно получить при синтезе, экстремальные значения показателей качества функционирования отдельных одноуровневых систем, но в конечном итоге синтезированная многоуровневая система будет функционировать несоответственно компромиссным требо-

ваниям, которые определяют временную соподчиненность процессов регулирования [2].

Таким образом, при синтезе координирующей системы автоматического управления (КСАУ) выявляется необходимость определения алгоритма упорядочивания действий при настройке системы, который позволит исключить неудовлетворительный результат синтеза системы при некомпромиссных критериях качества функционирования отдельных уровней КСАУ. В данном случае целесообразно построение моделей, реализующих определение алгоритмов синтеза на основе современных интеллектуальных технологий позволяющих интегрировать экспертные данные, в частном случае, в систему автоматической настройки (САН).

Алгоритм настройки КСАУ можно представить сетью Петри [4], а соответствующую модель системы управления с алгоритмом автоматической настройки можно реализовать средствами дискретно-непрерывных сетей (ДН-сетей), так как данная модель имеет логико-динамический характер функционирования [5]. Первая попытка разработки такой системы была предложена в работе [6], в которой сетью Петри представлялся алгоритм самонастройки определенных параметров нейро-нечеткой системы управления. Однако, в настоящем случае, сеть Петри, представляющая алгоритм настройки, может быть неизвестна или может отражать неадекватный алгоритм настройки системы. Таким образом, актуальна разработка системы с интеграцией интеллектуальной технологии, например, на базе искусственной нейронной сети, поз-

воляющей формировать алгоритмы автоматической настройки системы в результате анализа сформированных сетей Петри и в результате анализа изменения значений показателей качества работы синтезируемой системы.

В настоящей работе рассматривается система, построенная на базе искусственной нейронной сети, которая в процессе функционирования осуществляет параметрический синтез КСАУ на основе анализа изменения значений показателей качества работы системы и на основе анализа формируемой сети Петри, представляющей алгоритм настройки системы. Формирование сети Петри представляется как композиция отдельных подсетей ДН-сети с целью генерации автомата [7, 8], который осуществляет управление процессом синтеза системы. Данный подход в автоматическом синтезе сети Петри определен в процессе анализа аналогичных работ [9 – 11], однако имеет отличительную особенность, связанную с применением дискретно-непрерывных и нейронных сетей.

1. Цель и задача работы

Целью работы является разработка и исследование алгоритмов синтеза координирующих систем управления.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать систему формирующую алгоритмы настройки координирующих систем управления (КСУ) на базе интеллектуальных технологий, использующих экспертные знания.

2. Особенности разработанной системы с учетом актуальности применения средств ДН-сети

В работе рассматривается разработанная модель координирующей системы с алгоритмом параметрической настройки регуляторов, упрощенная структурная схема которой представлена на рисунке 1 [4]. Как видно из рисунка, система состоит из двух частей – непрерывно-событийной части (НСЧ) и дискретно-событийной части (ДСЧ).

НСЧ представляет координирующую систему управления приводами робота, а ДСЧ представляет алгоритм упорядочивания действий при синтезе КСУ и, в том числе, систему автоматической настройки.

КСУ является двухуровневой. Регуляторы верхнего уровня обрабатывают сигналы рассогласования $e_1(t) = X_{1z}(t) - X_1(t)$ и $e_2(t) = X_{2z}(t) - X_2(t)$, где $X_{1z}(t)$, $X_{2z}(t)$, $X_1(t)$, $X_2(t)$ – заданные и фактические значения регулируемых переменных. Регуляторы нижнего уровня обрабатывают отклонение от соотношений переменных

$\psi = f(X_1) \cdot X_1 + k \cdot X_2 - b$, где X_1 , X_2 – регулируемые переменные; $f(X_1)$ – нелинейная зависимость, отраженная в системе в виде нелинейного звена, описывающая траекторию движения робота как управляемого объекта в координатах $X_1 - X_2$; k , b – коэффициент и свободный член.

Закон управления можно представить следующим образом:

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} k_2 \cdot (1 + k_{21} \cdot p) \cdot \psi(p) + k_1 \cdot (1 + k_{11} \cdot p) \cdot e_1(p) \\ k_4 \cdot (1 + k_{41} \cdot p) \cdot \psi(p) + k_3 \cdot (1 + k_{31} \cdot p) \cdot e_2(p) \end{bmatrix} = \bar{u}_q + \bar{u}_p = \begin{bmatrix} u_1 & u_2 \end{bmatrix}^T$$

где: k_2, k_{21}, k_4, k_{41} – параметры настройки нижнего уровня КСУ; k_1, k_{11}, k_3, k_{31} – параметры настройки верхнего уровня КСУ; $p = d/dt$ – оператор дифференцирования; \bar{u}_q, \bar{u}_p – вектора управления нижнего и верхнего уровней; u_1 и u_2 – управляющие воздействия.

Параметры настройки k_1, k_2, k_3, k_4 КСУ должны быть определены САН с учетом временной соподчиненности процессов регулирования.

В данной работе объекты управления координирующей системы описываются следующими передаточными функциями:

$$W_1(p) = \frac{X_1(p)}{u_1(p)} = \frac{k_L}{p \cdot Q_L(p)},$$

$$W_2(p) = \frac{X_2(p)}{u_2(p)} = \frac{k_\alpha}{p \cdot Q_\alpha(p)},$$

в которых k_L, k_α – коэффициенты передачи, $Q_L(p), Q_\alpha(p)$ – некоторые полиномы, такие, что $Q_L(0) = 1, Q_\alpha(0) = 1$.

В рассматриваемой системе управления, за счет координирующего уровня, была реализована динамическая связность контуров регулирования для более качественной отработки заданной траектории движения робота в пространстве.

ДСЧ, представляющая САН имеет модуль формирования алгоритма, который формирует матрицу инцидентности $|W|$ сети Петри, которая в свою очередь представляет алгоритм поэтапной параметрической настройки КСУ. В данном случае работу ДСЧ можно описать следующим уравнением:

$$X_L^d(t_k) = X_L^d(t_{k-1}) + |W| \cdot v_L^d(t_k) + u_L^d(t_k),$$

где $v_L^d(t_k)$ – управляющий вектор, который формируется в зависимости от условий срабатывания переходов сети Петри, представляющей ДСЧ, и, соответственно, в зависимости от значений показателей качества работы системы J_{01}, J_{02}, J_{03} ; $u_L^d(t_k)$ – входное воздействие; $|W|$ – мат-

рица инцидентности сети Петри, которая формируется в зависимости от непрерывных сигналов V_s , определяющих алгоритм; $X_L^d(t_k), X_L^d(t_{k-1})$ – дискретные состояния ДСЧ в моменты времени t_k, t_{k-1} , $X_L^d(t_k) = [\mu(p_1), \mu(p_2), \dots, \mu(p_n)]^T$ при этом маркировка $\mu(p_i)$ позиций сгенерированной сети Петри определяет процедуру параметрического синтеза КСАУ.

Например наличие маркера в позиции p_i определяет процесс увеличения значения параметра настройки k_i до экстремального значения показателя J качества работы КСУ, то есть $\mu(p_1) = 1 \Rightarrow \uparrow k_1$, таким образом $\mu(p_2) = 1 \Rightarrow \downarrow k_1$, $\mu(p_3) = 1 \Rightarrow \uparrow k_2$, $\mu(p_4) = 1 \Rightarrow \downarrow k_2$, $\mu(p_5) = 1 \Rightarrow \uparrow k_3$, $\mu(p_6) = 1 \Rightarrow \downarrow k_3$, $\mu(p_7) = 1 \Rightarrow \uparrow k_4$, $\mu(p_8) = 1 \Rightarrow \downarrow k_4$.

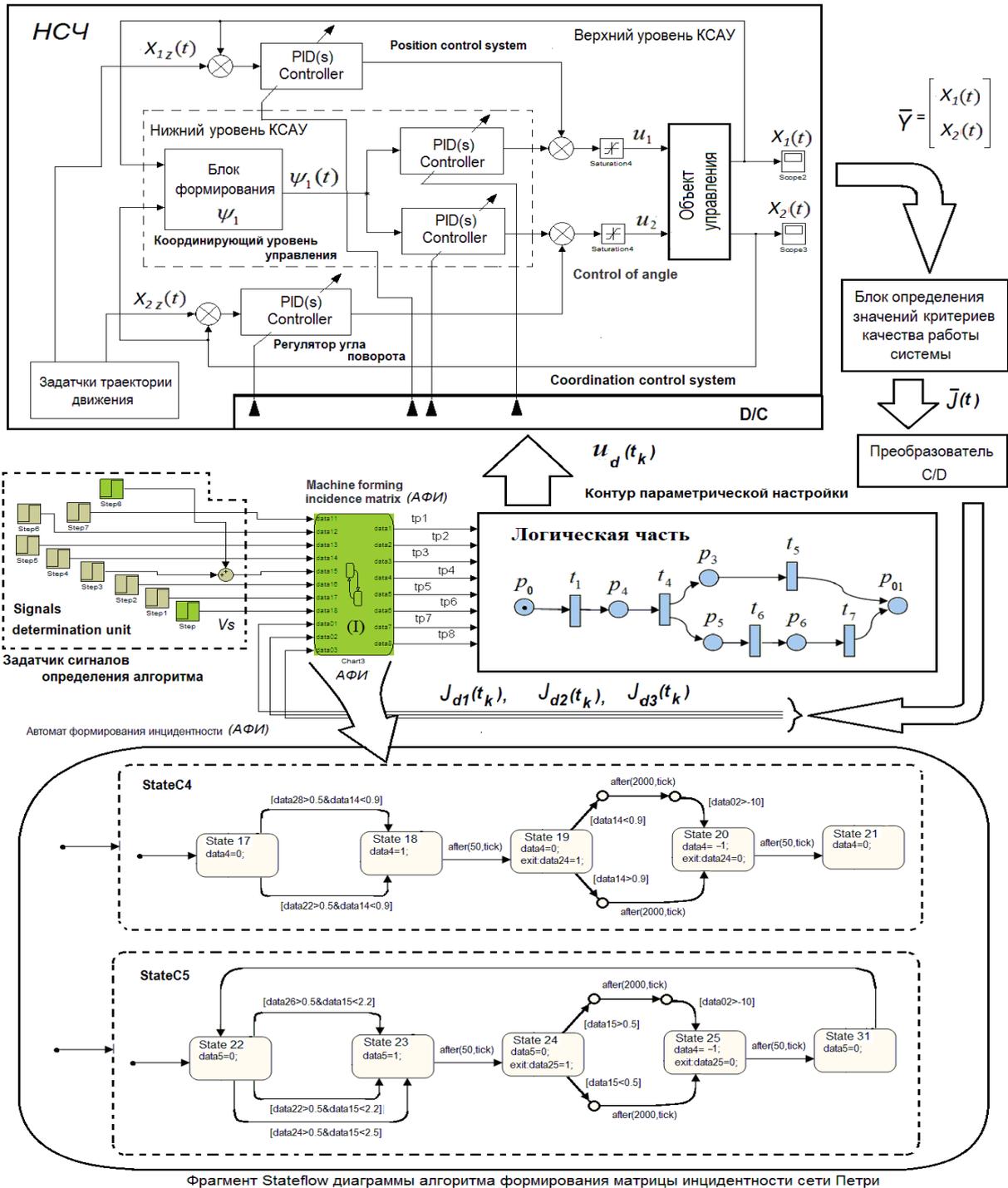


Рис. 1. Упрощенная структурная схема координирующей системы управления приводами робота с системой автоматической настройки

Как видно из рисунка 1, процесс формирования элементов матрицы инцидентности сети Петри на базе сигналов определения алгоритма V_s , описывается с помощью Stateflow-диаграммы среды MATLAB\Simulink [10]. Однако с учетом анализа описания процесса формирования матрицы инцидентности, Stateflow-диаграммы в дальнейшем были заменены на дискретно-непрерывные сети среды DC-Net.

Следует отметить, что Stateflow-диаграмма менее информативна для разработки логических модулей, например, отсутствует визуализация связей между параллельными состояниями State C1 – State C5, что вызывает затруднения в разработке определенных алгоритмов. ДН-сеть в данном случае имеет некоторые преимущества в визуализации алгоритма и процесса функционирования логического модуля (I), формирующего элементы матрицы инцидентности, и также ДН-сеть имеет преимущества в анализе алгоритма с помощью методов анализа сетей Петри.

Следовательно, целесообразно для моделирования рассматриваемой системы управления и синтеза использовать программную среду DC-Net, которая располагает средствами ДН-сетей.

Программная среда DC-Net специализирована в направлении анализа и синтеза сложных технологических систем с логико-динамическим характером функционирования. В нашем случае рассматриваемая система управления и синтеза, упрощенная структурная схема которой представлена на рисунке 1, по принципу функционирования аналогична логико-динамической. В данной системе присутствуют как дискретные $J_d(t_k)$, $u_d(t_k)$, так и непрерывные сигналы $X_1(t)$, $X_2(t)$, наблюдается многорежимный характер

функционирования (режим настройки нижнего уровня КСУ, режим настройки верхнего уровня при настроенном нижнем уровне, и тд). Таким образом, в дальнейшем, необходимо определить принципы формирования алгоритмов на базе средств DC-Net.

3. Принцип формирования алгоритма, посредством генерации сети Петри, на базе средств ДН-сетей

Согласно рисунку 1, последовательность операций в системе при параметрической синтезе зависит от сигналов V_s задания алгоритма. Эти сигналы V_s могут быть определены (выработаны) нейронной сетью, адаптируемой для выполнения автоматической настройки определенной системы, в частном случае – системы координирующего управления.

В конечном итоге, упрощенная структурная схема такой системы, построенной на базе нейронной сети, с принципом самонастройки, будет иметь вид, представленный на рисунке 2. В данной системе алгоритм параметрической настройки уровней управления определяется нейронной сетью, в которой коэффициенты межнейронных соединений изменяются в процессе функционирования блоком автонастройки.

Блок автонастройки выборочно изменяет коэффициенты межнейронных соединений случайным образом. При этом выбор коэффициентов межнейронных соединений для изменения осуществляется на базе значений критериев качества работы системы, а также на базе анализа генерируемой сети Петри, представляющей алгоритм параметрической настройки системы.

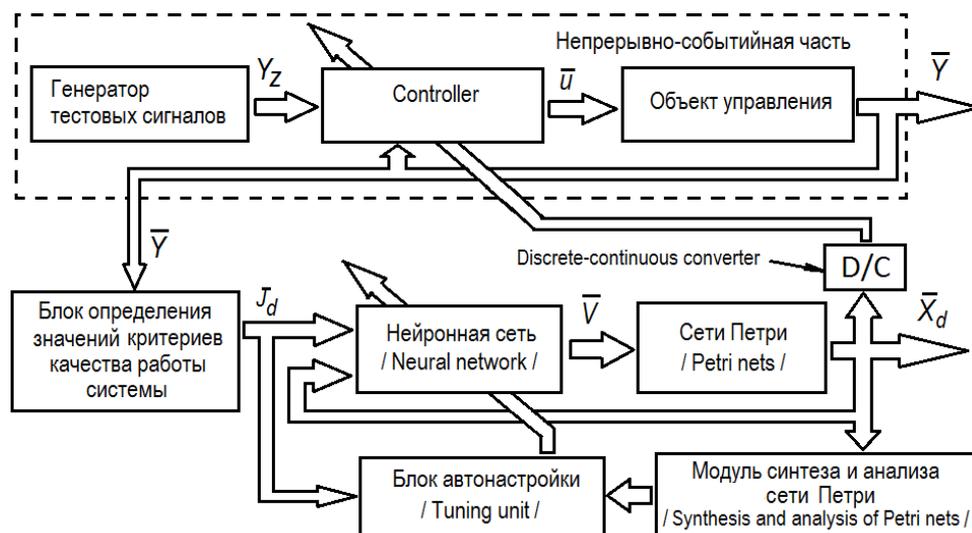


Рис. 2. Упрощенная структурная схема системы, в которой осуществляется параметрическая настройка регуляторов координирующего уровня управления

В предыдущей системе, упрощённая структурная схема которой представлена на рисунке 1, матрица инцидентности сети Петри формируется с помощью модуля, функционирование которого было представлено Stateflow – диаграммой. В рассматриваемой системе, реализованной на базе нейронной сети, вместо Stateflow – диаграмм используются сети Петри.

Нейронная сеть реализует процесс композиции сетей Петри (рисунок 3). В результате данного процесса представляется матрица инцидентности сети Петри, которая отражает алгоритм упорядочивания действий при параметрической настройке координирующей системы.

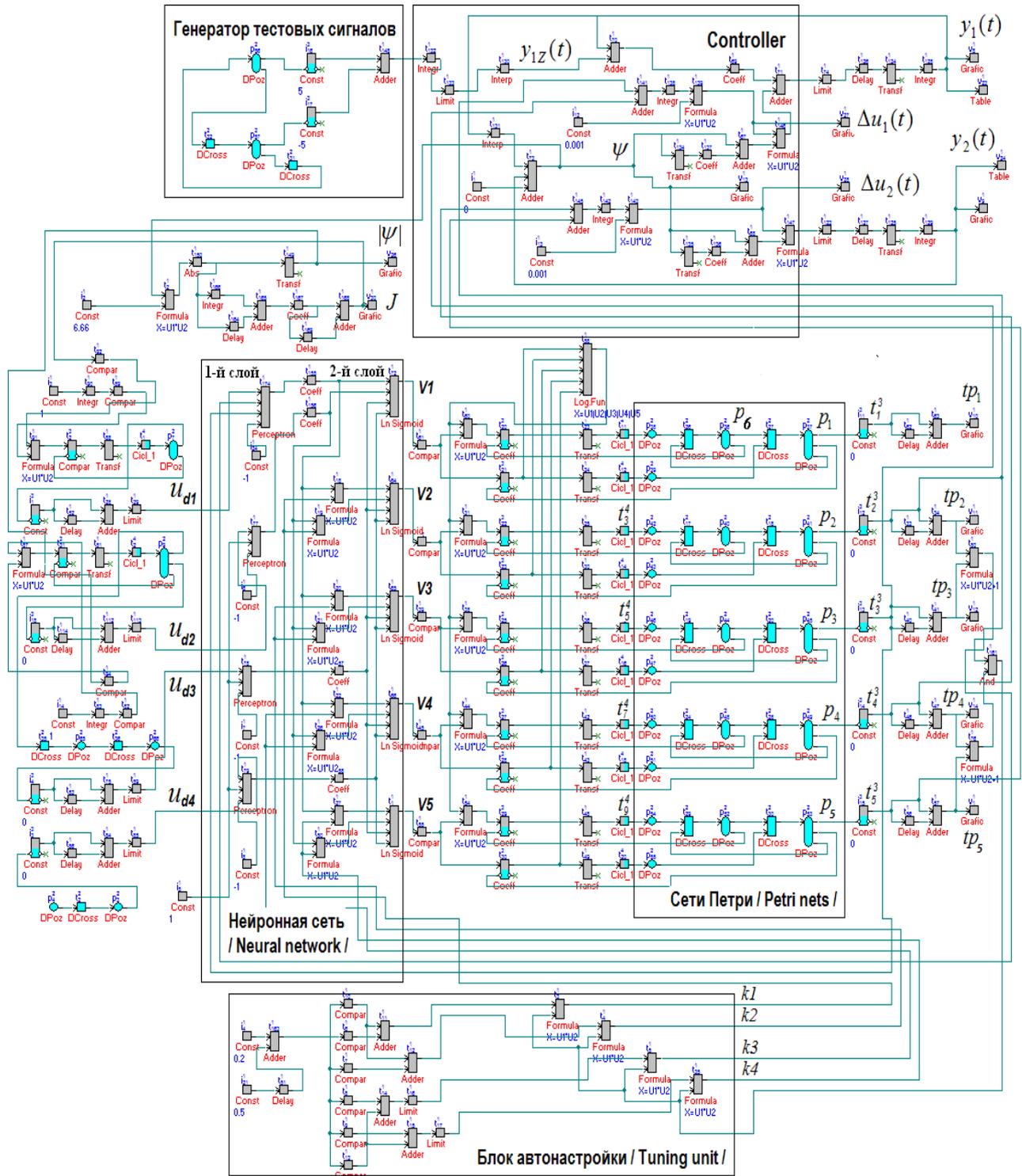


Рис. 3. Дискретно-непрерывная сеть, представляющая систему управления и настройки на базе нейронной сети и формируемой сети Петри

В программной среде DC-Net была реализована такая система, в которой координирующий уровень управления синтезируется на базе функционирования сетей Петри и нейронной сети. На рисунке 3 средствами среды DC-Net представлена схема данной системы.

Как видно из рисунка 3, нейронная сеть двухслойная. Коэффициенты межнейронных соединений 2-го слоя непосредственно определяют инцидентную матрицу генерируемой сети Петри. А весовые коэффициенты 1-го слоя определяют последовательность необходимых дополнительных условий срабатывания определенных переходов сети Петри, связанных с показателями качества функционирования системы $|\psi|$, J , где

$$J = \int_{t_0}^{t_1} |\psi(t)| dt - \int_{t_2}^{t_3} |\psi(t)| dt, (t_1 - t_0) = (t_3 - t_2), t_0 < t_2 < t_1 < t_3.$$

Отметим отличительные особенности данной системы, в частном случае по формированию инцидентной матрицы сети Петри, представляющей алгоритм настройки системы. Если в предыдущем случае каждая строчка матрицы инцидентности формируется в процессе активизации различных состояний Stateflow диаграммы, например, поэтапная активизация состояний State 17 – State 21 (рисунок 1), то в рассматриваемой системе аналогичным образом формируется строка матрицы инцидентности в процессе движения маркера по дискретным позициям, например, по позициям P_1, P_6 (рисунок 3).

В зависимости от сигналов задания алгоритма $V1...V5$, которые вырабатывает нейронная сеть, ДСЧ, реализованная на базе средств ДН-сетей, генерирует последовательность значений, из которых формируется матрица инцидентности сети Петри. Данная последовательность значений, как результат функционирования ДН-сети, представлена на рисунке 4.

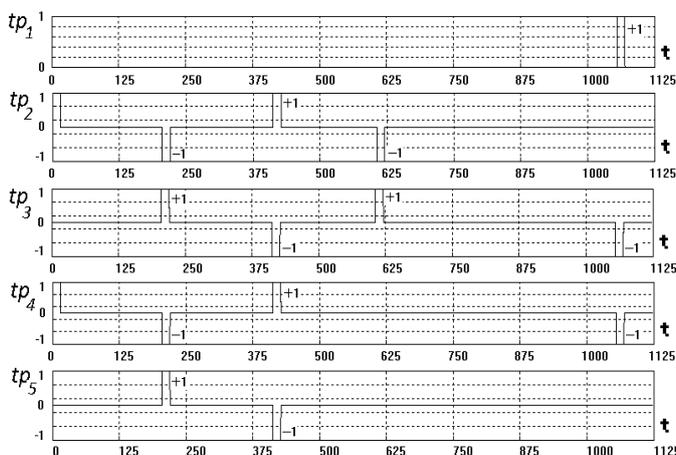


Рис. 4. Процесс формирования матрицы инцидентности сети Петри

На основе процессов, представленных на рисунке 4, можно составить матрицу инцидентности и согласно ей сформировать сеть Петри. Сгенерированная матрица инцидентности сети Петри имеет 5 строк согласно количеству выходов $X1...X5$ модуля и 4 столбца согласно количеству шагов формирования сети Петри. В настоящем случае матрица инцидентности имеет следующий вид:

$$|A_L| = \begin{matrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ tp_1 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ tp_2 & -1 & +1 & -1 & 0 \\ tp_3 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ tp_4 & -1 & +1 & 0 & -1 \\ tp_5 & +1 & -1 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (1)$$

Процесс синтеза системы при данном эксперименте будет осуществляться поэтапно. На рисунке 5 представлен процесс изменения маркировки синтезируемой сети Петри, матрица инцидентности которой имеет вид (1). Согласно начальной маркировке увеличиваются параметры настройки k_2, k_3 , координирующего уровня до значения $|\psi| = 500$, после чего, в момент времени t_1 , меняется маркировка для возвращения системы в исходное состояние (рисунок 6). В момент времени t_2 , при достижении значения критерия $J=14$, маркировка также меняется, и соответственно ей начинают изменяться параметры настройки системы. При этом в момент времени t_2 блок автонастройки изменяет коэффициенты межнейронных соединений 2-го слоя в рамках поиска верных шагов при синтезе системы. Начиная с момента времени t_3 значения критериев качества работы системы уменьшаются, что свидетельствует о верном процессе настройки системы.

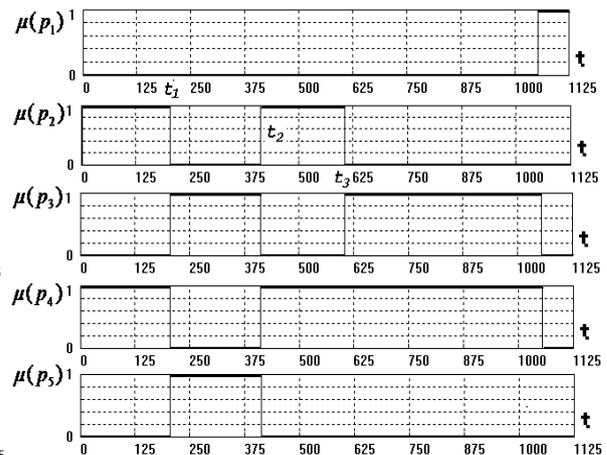


Рис. 5. Процесс изменения маркировки синтезируемой сети Петри

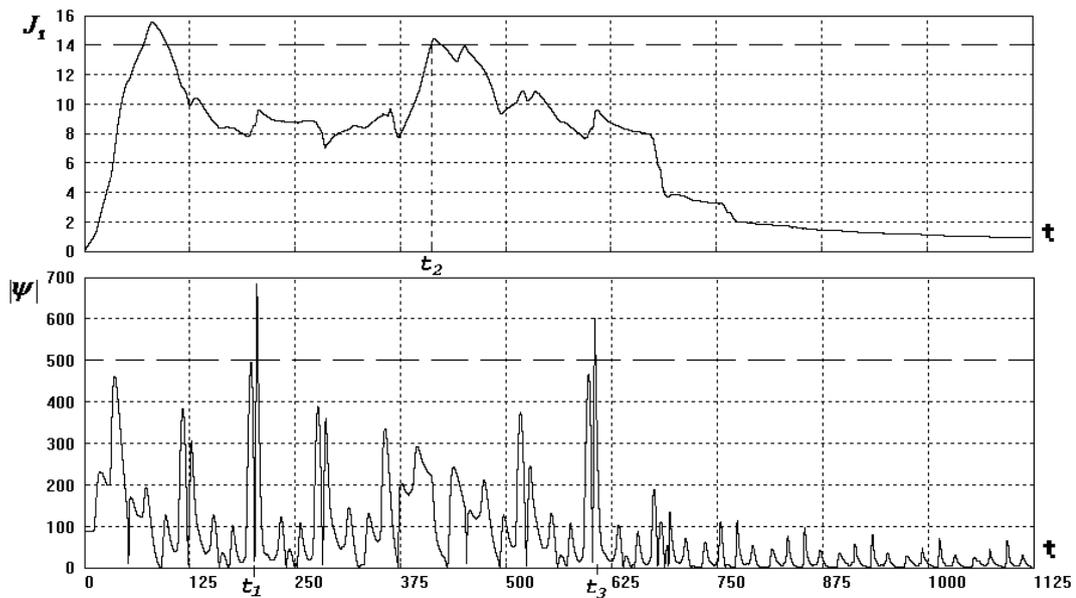


Рис. 6. Графики изменения значений показателей качества работы системы во времени

Процесс формирования алгоритма настройки уровней КСАУ путем определения матрицы инцидентности заключается в особенности функционирования реализованной ДН-сети.

Согласно схеме, представленной на рисунке 3, ДН-сеть содержит дискретные подсети, связанные дискретно-непрерывными переходами t_i^3, t_i^4 , где $i=1...N$. Каждая такая подсеть есть сеть Петри, которую можно рассматривать независимо от всей ДН-сети.

Нейронная сеть формирует сигналы $V_S=|V_1 \dots V_5|^T$, согласно которым осуществляется движение маркеров в сетях Петри. При этом движение маркеров носит согласованный характер. Например, уход маркера с позиции P_2 сопровождается появлением маркера в позиции P_3 .

Согласованный характер изменения маркировки в сетях Петри дает возможность выполнить композицию этих сетей в одну общую сеть Петри. Как показано на рисунке 7а, для композиции сети Петри необходимо объединить переходы, которые одновременно срабатывают в конкретный момент времени. На рисунке 7а данные переходы t_1, t_3, t_7, t_8, t_9 объединяются пунктирными кривыми. Например, переходы t_3, t_7 объединяются в один переход $t_{3,7}$, который срабатывает в частном случае в момент времени t_2 . С помощью такого объединения можно преобразовать сети Петри в одну общую сеть Петри, которая будет представлять алгоритм настройки системы.

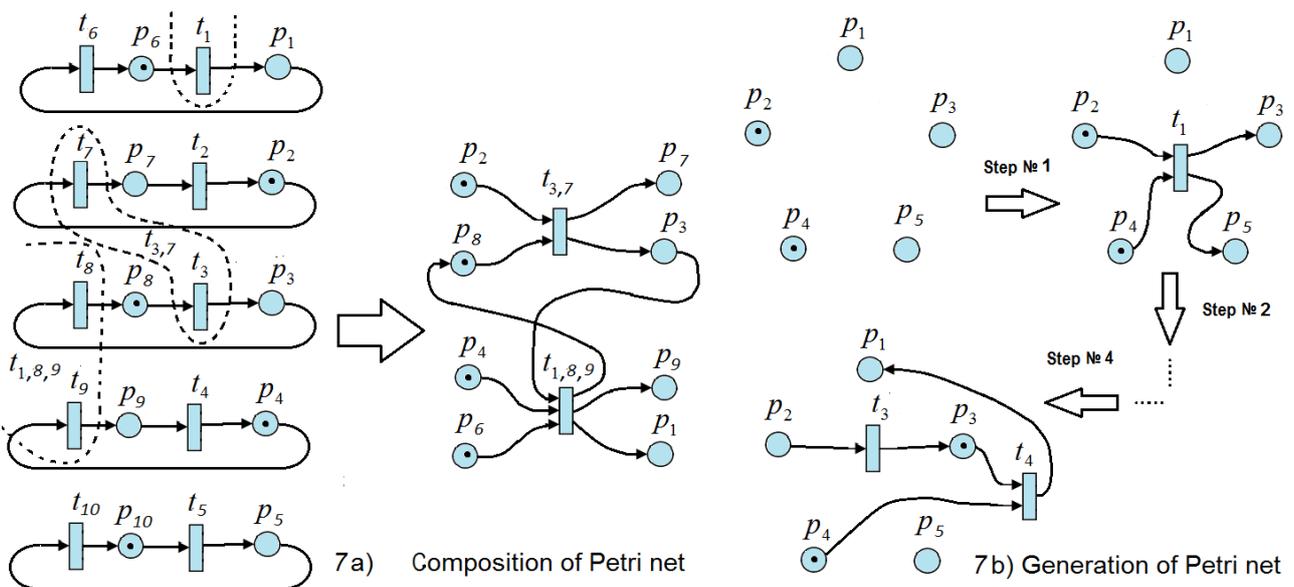


Рис. 7. Визуализация автоматического формирования сети Петри

Согласно движению маркеров в сетях Петри обеспечивается формирование значений матрицы инцидентности сети Петри, представляющей алгоритм настройки системы, таким же самым образом, как последовательная активизация подсистемной Stateflow-диаграммы, фрагмент которой представлен на рисунке 1. Как показано на рисунке 7б, с каждым шагом формируется сеть Петри согласно процессу формирования матрицы инцидентности. Следует отметить, что в частном случае появление перехода t_1 было ошибочным, так как изменение маркировки повлекло нежелательное изменение критерия качества работы системы. В данном случае блок автонастройки случайным образом изменил соответствующие коэффициенты межнейронных соединений, изменение которых в дальнейшем позволило сформировать необходимую динамику маркировки, соответствующую сети Петри, организованной на 4-м шаге.

4. Выводы

В результате проведенных исследований установлена принципиальная пригодность разработанной системы, формирующей композицию сети Петри на базе функционирования искусственной нейронной сети. Определена схема перенастройки отдельных блоков нейронной сети в процессе функционирования самонастраиваемой системы. Однако следует отметить, что данную систему необходимо рассматривать как приближение к некоторому оптимальному варианту, в котором должен присутствовать алгоритм настройки нейронной сети связанный с задачей синтеза системы управления.

Рассматриваемая система, в настоящей работе, отражает основные особенности формируемой интеллектуальной технологии, направленной заменить эксперта при синтезе особого класса систем управления. Данная замена позволяет значительно сократить время на разработку системы управления, а также формируемая технология даст возможность синтезировать эффективные алгоритмы самонастройки координирующих систем управления.

Список использованной литературы

1. Филимонов, А. Б. О проблематике синтеза координирующих систем автоматического управления [Текст] / А. Б. Филимонов, Н. Б. Филимонов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 128. – №. 3. – С. 172–180.
2. Бойчук, Л. М. Синтез координирующих систем автоматического управления [Текст]

/ Л. М. Бойчук. // – М.: «Энергоатомиздат», 1991. – 160 с.

3. Бойчук, Л. М. Синтез нелинейных двухуровневых систем координирующего управления [Текст] / Л. М. Бойчук // Автоматика. – 1982. – № 5. – С. 86–89.

4. Gurskiy, A. A. Formation of the synthesis algorithms of the coordinating control systems by means of the automatic generation of Petri nets [Text] / A. A. Gurskiy, A. E. Goncharenko, S. M. Dubna // Automation of technological and business processes. – Volume 8, Issue 3/2016 – P. 13-23.

5. Згуровский, М. З. Дискретно непрерывные системы с управляемой структурой. [Текст] / М. З. Згуровский, В. А. Денисенко. – К.: Наукова думка, 1998. – 350 с.

6. Гурский, А. А. Контур самонастройки нейро-нечеткой системы управления холодильной установкой с центробежным компрессором [Текст] / А. А. Гурский, В. А. Денисенко, А. Е. Гончаренко // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. – 2014. – №. 6, № 4. – С. 92-101.

7. Царев, Ф. Н. Применение генетического программирования для генерации автомата в задаче об «Умном муравье» [Текст] / Ф. Н. Царев, А. А. Шалыто // М.: Физматлит. – 2007. – Т. 2. – С. 590-597.

8. Александров, А. В. Генерация конечных автоматов для управления моделью беспилотного самолета [Текст] / А. В. Александров, и др. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – №. 2 (72). – С. 3-8.

9. Зайцев, Д. А. Декомпозиция сетей Петри [Текст] / Д. А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ – 2004. - № 5. – С. 131-140.

10. Зайцев, Д. А. Композиционный анализ сетей Петри [Текст] / Д. А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ – 2006. - № 1. – С. 143-154.

11. He, D. W. Decomposition in automatic generation of Petri nets for manufacturing system control and scheduling [Text] / D. W. He, B. Strege, H. Tolle, A. Kusiak DOI: 10.1080/002075400188942 // International Journal of Production Research – 2000 – Volume 38, Issue 6, – pages 1437-1457.

References

1. Filimonov, A. B., Filimonov N. B. (2012). Concerning the problems of synthesis of coordinated systems of automatic control [O problematike sinteza koordindiruyuschih sistem avtomaticheskogo upravleniya] *Izvestiya SfedU, Engineering sciences*, vol. 3, pp. 172–180.

2. Boychuk, L. M. (1991) Synthesis of coordinated systems of automatic control [Sintez koordinirujushhijh sistem avtomaticheskogo upravlenija] Moscow, Energoatomizdat, 160 p.
3. Boychuk, L. M. (1982) Synthesis of non-linear two-level systems of coordinating control [Sintez nelinejnyh dvuhurovnevnyh sistem koordinirujushhego upravlenija] *Avtomatika*, vol. 5, pp. 86–89.
4. Gurskiy, A. A., Goncharenko A. E., Dubna S. M. (2016) Formation of the synthesis algorithms of the coordinating control systems by means of the automatic generation of Petri nets. *Automation of technological and business processes*, Volume 8, Issue 3, pp. 13–23.
5. Zgorovky, M. Z. Denisenko, V. A. (1998) Discrete-continuous system with controlled structure [Diskretno neprerivnie sistemi s upravlyaemoi strukturi] Kiev, Naukova dumka, 350 p.
6. Gurskiy, A. A., Denisenko, V. A. Goncharenko, A. E. (2014) Contour of self-adjustment of a neuro and indistinet control system of the refrigeration unit with the centrifugal compressor [Kontur samonastrojki nejro-nechetkoj sistemy upravlenija holodil'noj ustanovkoj s centrebezhnym kompressorom] *Automation of technological and business processes*, vol. 4, pp. 92–101.
7. Tsarev, F. N. Shalito, A. A. (2007) Application of genetic programming for automatic construction of an automaton in the problem of "intelligent ants" [Primenenie geneticheskogo programmirovaniya dlya generacii avtomata v zadache ob «Umnom murave»] Moscow, *Fizmatlit*, T. 2, pp. 590–597.
8. Aleksandrov, A. V. (2011) Generation of state machine creation for unmanned airplane controlling [Generacija konechnykh avtomatov dlja upravlenija model'ju bespilotnogo samoleta] *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 2(72), pp. 3–8.
9. Zaitsev, D. A. (2004) Decomposition of Petri nets [Dekompozicija setej Petri] *Kibernetika I sistemnyi analiz*, vol. 5, pp. 131–140.
10. Zaitsev, D. A. (2006) Compositional analysis of Petri nets [Kompozicionnyj analiz setej Petri] *Kibernetika I sistemnyi analiz*, vol. 1, pp. 143–154.
11. He, D. W., Strege, B., Tolle, H., Kusiak, A., (2000) Decomposition in automatic generation of Petri nets for manufacturing system control and scheduling. *International Journal of Production Research*, Volume 38, Issue 6, – pages 1437-1457.

GENERATION OF THE PETRI NET BY MEANS OF THE RESOURCES OF THE DISCRETE-CONTINUOUS NETS IN THE ALGORITHM FORMATION FOR THE SELF-TUNING OF THE COORDINATING CONTROL SYSTEM

A. A. Gurskiy, A. E. Goncharenko, A. V. Denisenko

Odessa National Academy of Food Technologies

Abstract. *The system of coordinating control with the algorithm of the parametric synthesis is considered in this paper. In this system the algorithm for the self-tuning of the coordinating control level is determined by the Petri net. The formation of the best and necessary algorithm for the synthesis of the coordinating system is realized when the Petri net is formed automatically. At the same time the Petri net is formed on the basis of the functioning of multilayer neural network determining the intellectual technology in the self-tuning of coordinating control system. It is determined the scheme that represents the correction of synaptic weights of the neural network. This correction is realized with considering the change of the functioning indicators of the coordinating control system. And this correction is also realized with considering the analysis of the formed Petri net.*

The purpose of the scientific work is the development and research of the algorithms for synthesis of the coordinating control systems. To achieve this aim it is necessary to develop the system generating the required synthesis algorithms based on the intelligent technologies using the expert data.

Keywords: *Incidence matrix, Petri net, discrete-continuous net, neural network, automatic generation of Petri nets, formation or searching an algorithm, parametric synthesis, coordinating control system, robot.*

**ГЕНЕРАЦІЯ МЕРЕЖІ ПЕТРІ НА БАЗІ ЗАСОБІВ ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНИХ МЕРЕЖ
ПРИ ФОРМУВАННІ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО НАСТРОЮВАННЯ
КООРДИНУЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

О. О. Гурський, О. Є. Гончаренко, А. В. Денисенко

Одеська національна академія харчових технологій

Анотація. У роботі розглядається система координуючого управління з алгоритмом параметричного настроювання регуляторів, модель якої реалізована засобами дискретно-безперервних мереж. Представляється система, у якій алгоритм автоматичного настроювання координуючого рівня управління відображається мережею Петрі. Формування або пошук найкращого алгоритму синтезу координуючої системи реалізується на основі автоматичного формуванні мережі Петрі. При цьому мережа Петі формується при функціонуванні багатощарової нейронної мережі, яка визначає інтелектуальну технологію, як у самонастроюванні координуючої системи управління, так і в аналізі композиції мережі Петрі.

Ключові слова: координуюче управління, логіко-динамічна система, дискретно-безперервна мережа, робот, алгоритм синтезу, мережі Петрі, генерація мереж Петрі, нейронна мережа.

Получено 3.06.2017



Гурський Александр Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автоматизации технологических процессов и робототехнических систем Одесской национальной академии пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, Украина, E-mail: gurskiya2017@gmail.com, тел. +38-048-720-91-27

Alexander Gurskiy, candidate of technical science, lecturer of the department of automation of technological processes and robot-technical systems, Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatna Street, Odessa, Ukraine.

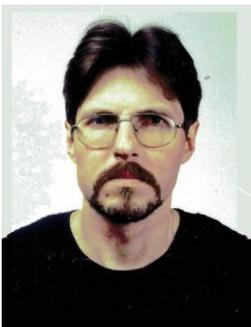
ORCID ID: 0000-0001-5158-2125



Гончаренко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и робототехнических систем Одесской национальной академии пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, Украина, E-mail: holod.automatic@gmail.com, тел. +38-048-720-91-27

Alexander Goncharenko, candidate of technical science, docent of the department of automation of technological processes and robot-technical systems, Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatna Street, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0003-4959-6469



Денисенко Андрей Владимирович, ассистент кафедры компьютерных систем и управления бизнес-процессами Одесской национальной академии пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, Украина, E-mail: denisenko_1965@gmail.com, тел. +38-048-712-40-34

Denisenko Andrei Vladimirovich, assistant in the department of computer systems and business process management, Odessa National Academy of Food Technologies, 112, Kanatna Street, Odessa, Ukraine.

ORCID ID: 0000-0002-8610-0082