РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИНТЕРВАЛЬНО-ЗАДАННОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ИММУННОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Г.А. Самигулина

Институт проблем информатики и управления, Алматы, Казахстан

e-mail: `galinasamigulina@mail.ru`

Аннотация

Разработана интеллектуальная технология прогнозирования асимптотической устойчивости интервально - заданного объекта управления на основе метода квазирасщепления и биологического подхода ИИС с целью прогнозирования поведения сложной системы и оперативного управления текущей ситуацией в реальном масштабе времени.

Введение. Основные направления современного мирового научного прогресса и их актуальность определяются исследованиями и разработками в области Искусственного интеллекта, Интеллектуальных систем и компьютерных технологий. В настоящее время особый интерес в мире представляют Искусственные Иммунные Системы (ИИС) [1], основанные на принципах обработки информации молекулами белков.

Рост сложных нелинейных динамических систем управления высокой размерности, когда объекты управления функционируют в условиях неполноты информации и переменные, характеризующие систему, задаются лишь приближенно в рамках некоторого интервала, приводит к необходимости разработки новых нетрадиционных подходов и информационных технологий для создания высокоэффективных и качественных систем автоматического управления данными объектами.

Используемый в докладе подход квазирасщепления на основе алгебраических проекторов [2] является одним из методов декомпозиции, который позволяет заметно упростить структуру и облегчить исследование сложных систем управления.

Пусть математическая модель интервально - заданного объекта управления представлена в пространстве состояний стационарной системой интервальных дифференциальных уравнений следующим образом:

$$\dot{X}(t) = [A]X(t) + [B]U(t), t \in [t_0, \infty), \tag{1}$$

где множество $I(t_0) \subset [0, \infty)$, t - текущее время, t_0- начальное время. $X(t) \in R^n$ - вектор состояний данной системы. $[A] = \{[a_{ij}], ij = \overline{1,n}\}$- интервальная матрица объекта управления размерности (nxn) с элементами $[a_{ij}] = [\underline{a_{ij}}, \overline{a_{ij}}], i, j = \overline{1,n}$. $[A] \in M_{n,n}(I(R))$,где $M_{n,n}(I(R))$- множество матриц, элементами которых являются интервалы: $[\underline{a}, \overline{a}] = \{a \in R \wedge \underline{a} \leq a \leq \overline{a}\}$, $\underline{a}, \overline{a}-$нижние и верхние границы значений элементов матрицы [A]. $I(R)-$множество всех интервалов. $[B] = \{[b_j], j = \overline{1,n}\}$- интервальный вектор объекта управления размерности (nx1). $b_j = [\underline{b_j}, \overline{b_j}]$, $j = \overline{1,n}$. $[B] \in M_{n,1}I(R))$, где $M_{n,1}(I(R))-$ множества векторов, элементами которых являются интервалы: $[\underline{b}, \overline{b}] = \{b \in R \wedge \underline{b} \leq b \leq \overline{b}\}$, $\underline{b}, \overline{b}$- нижние и верхние границы значений элементов вектора [B].

Управление $U(t)$ выбирается такое, чтобы обеспечить желаемую динамику в замкнутой системе:

$$U(t) = U(X(t), t), \tag{2}$$

где $U(t) \in R^1$- скалярное управление.

Желаемая динамика замкнутой системы управления задается в виде:

$$\sigma(t) = [C^T]X, \tag{3}$$

где $[C] \in R^n - Const$, $[C^T] = [c_1, c_2, ..., c_{n-1}, 1]$=$(c', 1)$, $c' \in R^{1x(n-1)}$.

Соотношения (1), (2), (3) определяют математическую модель, далее называемую IS – системой.

Постановка задачи. Задача исследования формулируется следующим образом: разработать интеллектуальную технологию прогнозирования асимптотической устойчивости интервально - заданного объекта управления на основе метода квазирасщепления и биологического подхода ИИС с целью прогнозирования поведения сложной системы и оперативного управления текущей ситуацией в реальном масштабе времени.

После стандартного погружения интервального пространства в евклидово и нахождения операторов проектирования IP_1 и IP_2 [3] для интервально-заданной системы управления, квазирасщепленная IS - система может быть представлена в виде подсистем IS_1 и IS_2 следующим образом:

$$IS_1 : \dot{x}'(t) = A_x x(t) + h_x \sigma(t), \tag{4}$$

$$IS_2 : \dot{\sigma}(t) = a_\sigma \sigma(t) + h_\sigma x'(t) + b_\sigma u(t), t \in [t_0, \infty), \tag{5}$$

где $A_x \in R^{(2n-2)\times(2n-2)}$, $h_x, h_\sigma \in R^{2n-2}, a_\sigma, b_\sigma \in R^2$.

Если обозначим $(.)^{'}$ сокращение (.) на последний элемент, если это вектор и на последнюю строку и последний столбец если это матрица, то имеем:

$$A_x = (P_1 A)^{'} - a_{2n}^{'} c^{T'}, h_x = \left(\frac{P_1 A b}{c^T b} \right)^{'}, \tag{6}$$

$$a_\sigma = \frac{c^T A b}{c^T b}, h_\sigma = (c^T A)^{'} - c^T a^{2n} c^{T'}, b_\sigma = c^T b. \tag{7}$$

Матрица определяет связь между решением $X(t)$и решениями $x^{'}(t), \sigma(t)$:

$$M = \begin{bmatrix} E_{2n-2} & \frac{b^{'}}{c^T b} \\ -c^{T'} & \frac{b_{2n}}{c^T b} \end{bmatrix}. \tag{8}$$

Таким образом, метод квазирасщепления позволяет перейти от исходного интервального уравнения (1) к совокупности уравнений (4), (5), записанных относительно функций $x'(t)$ и $\sigma(t)$ при этом сохранив кинематическое подобие.

Пусть управление $U(t)$ будет таким [2], что для момента времени $t_1 \geq t_0$ для подсистем IS_1 и IS_2 решения $x'(t)$, $\sigma(t)$ удовлетворяют следующему неравенству:

$$\|\sigma(t)\| \leq \delta \|x'(t)\| + \eta, \tag{9}$$

где δ, η - Const., $\delta \geq 0$, $\eta \geq 0$.

В данном случае асимптотика решений IS - системы (1) определяется асимптотикой решений IS_1 - подсистемы.

В случае, когда выполняется обратное неравенство, то есть:

$$\|\sigma(t)\| > \delta \|x'(t)\| + \eta, \tag{10}$$

где $t \in I(t_1)$, то асимптотика решений определяется подсистемой IS_2.

В пространстве состояний выделим множества конусного типа следующего вида:

$$G_{\delta,\eta} = \{x \in R^{2n} : \|\sigma(x)\| \leq \delta \|x'(x)\| + \eta\}, \tag{11}$$

пусть $\eta = 0$.

$$\overline{G_{\delta,\eta}} = \{x \in R^{2n} : \|\sigma(x)\| > \delta \|x'(x)\| + \eta\}, \tag{12}$$

пусть $\eta = 0$.

Таким образом, заданные множества порождают в пространстве R^{2n} два класса решений: $\{x(t)\}_1$, $\{x(t)\}_2$ для $t \in I(t_0)$. Первый класс решений относится к области $G_{\delta,\eta}$ (подсистема IS_1). Второй класс решений относится к области $\overline{G_{\delta,\eta}}$ (подсистема IS_2). Исследование динамических свойств исходной IS-системы сводится к исследованию либо подсистемы IS_1, либо подсистемы IS_2. Так как при квазирасщеплении [2] считается, что пространство R^{2n} представляется прямой суммой подпространств L_1и L_2: $L_1 \subseteq R^{2n}$, $L_2 \subseteq R^{2n}$, то область $G^1_{\delta,\eta}$ будет дополнением множества $G_{\delta,\eta}$ до подпространства L_1, а область $\overline{G^2_{\delta,\eta}}$ будет дополнением множества $\overline{G_{\delta,\eta}}$ до подпространства L_2.

Данная классификация решений необходима для исследования динамических свойств квазирасщепленных подсистем на основе подхода ИИС.

Экспертами формируются эталонные матрицы управления $U_1, U_2, \overline{U_1}, \overline{U_2}$ для каждого из 4 классов, которые выбираются в зависимости от областей функционирования и определяются особенностями процессов, параметрами квазирасщепленных подсистем и различных факторов, влияющих на систему. После их сингулярного разложения получаем правые и левые сингулярные вектора $\{x_1, y_1\}$, $\{x_2, y_2\}$ и т.д. эталонных матриц. Формируются также матрицы управления, рассматриваемые как образы: $u_1, ...u_n$. Согласно подходу ИИС энергия связи между формальными пептидами может быть представлена в виде:

$$W_1 = -x_1^T u y_1, W_2 = -x_2^T u y_2, W_3 = -x_3^T u y_3, W_4 = -x_4^T u y_4, \qquad (13)$$

где T – символ транспонирования, u- рассматриваемый образ.

Известно, что нативная (функциональная) укладка белковой цепи соответствует минимуму энергии связи, поэтому минимальное значение энергии связи определяет класс k, к которому принадлежит данный образ:

$$k : W_k = \min\{W_1, W_2, W_3, W_4\}. \qquad (14)$$

На рис. 1 представлена структурная схема разработанной интеллектуальной экспертной интервально-заданной системы управления.

Ниже приведен обобщенный алгоритм, который состоит из 15 шагов.

Алгоритм:

Шаг 1. Разработка алгебраических операторов проектирования I_1 и I_2 для интервально - заданной системы управления (IS-системы).

Шаг 2. Процедура погружения интервального пространства в евклидово пространство, при котором сохраняются алгебраические и топологические структуры интервального пространства.

Шаг 3.Получение математической модели нелинейной интервально - заданной системы управления в виде квазирасщепленных подсистем IS_1 и IS_2 на основе полученных операторов проектирования I_1 и I_2 [3].

Шаг 4.Классификация областей решений квазирасщепленных подсистем IS_1 и IS_2.

Шаг 5. Нормировка входных признаков: преобразование элементов каждого вектора таким образом, чтобы математическое ожидание было равно нулю, а дисперсия единице. Выделение информативных признаков на основе методов факторного анализа и снижение размерности анализируемого пространства признаков [4].

Шаг 6. Создание оптимальной структуры иммунной сети по весовым коэффициентам информативных признаков.

Шаг 7.Создание с помощью экспертов временных рядов, состоящих из информативных признаков, характеризующих каждый класс, которые рассматриваются как антигены. Для улучшения специфичности узнавания сворачивание временных рядов в матрицы управления являющиеся эталонами для каждого класса. Сингулярное разложение данных эталонных матриц управления и определение правых и левых сингулярных векторов.

Шаг 8. Процедуры обучения ИИС с учителем.

Шаг 9. Оценка погрешности обучения.

Шаг 10.Создание матриц управления – образов по временным рядам информативных признаков. Матрицы образов рассматриваются как антитела.

Шаг 11. Определение минимальной энергии связи между формальными пептидами (антителами и антигенами) и решение задачи распознавания образов. Минимальное значение энергии связи указывает на класс, к которому принадлежит данный образ.

Шаг 12. Оценка энергетических ошибок ИИС на основе свойств гомологичных белков [5].

Шаг 13. Процедура расчета коэффициентов риска прогнозирования ИИС на основе значений Z – факторов.

Шаг 14.Определение асимптотической устойчивости интервальной системы управления (IS-системы) по квазирасщепленным подсистемам IS_1 или IS_2.

Шаг 15.Комплексное прогнозирование поведения сложных интервальных систем управления, корректировка и оперативное управления в реальном масштабе времени.

Использование биологического подхода ИИС для исследования асимптотической устойчивости интервальных квазирасщепленных систем управления позволяет оперативно оценить достоверность прогноза на основе гомологичных белков. Нативная структура белковой цепи является для каждого класса определенной и позволяет определить принадлежность гомологов к какому-либо классу решений. Особенно

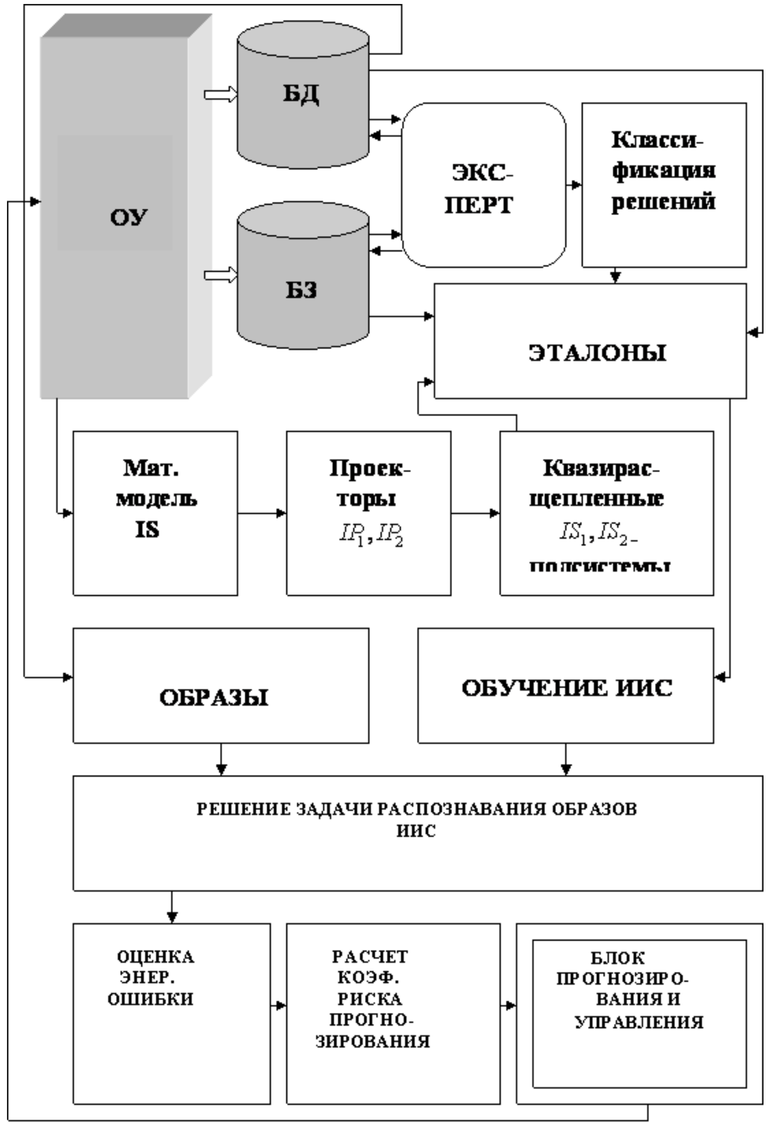

Рис. 1: Структурная схема интеллектуальной экспертной интервально-заданной системы управления

это свойство ценно для образов, которые находятся на границах классов. Данная способность ИИС существенно уменьшает погрешности энергетических оценок, повышает достоверность прогноза поведения интеллектуальных систем.

Разработан пакет прикладных программ, который используется в предложенной интеллектуальной экспертной системе и предназначен для обработки, анализа, прогноза многомерных данных искусственными иммунными системами в реальном масштабе времени. Данный пакет программ реализован на языке программирования DELPHI 7.0. На разработанное программное обеспечение получены два авторских свидетельства о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности, зарегистрированные в Комитете по правам интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Казахстан.

Заключение. Особенностями предложенной интеллектуальной технологии на основе иммунносетевого моделирования [5] являются:

- способность системы глубоко анализировать скрытые (латентные) взаимодействия между признаками и основополагающие факторы, влияющие на них;
- сокращение времени на обучение иммунной сети за счет построения оптимальной структуры и редукции малоинформативных признаков, несущих существенные погрешности;
- повышение достоверности прогноза в условиях неопределенности параметров рассматриваемых сложных интервально - заданных систем путем уменьшения погрешностей обобщения ИИС на основе свойств гомологичных белков и оперативное управление в реальном масштабе времени.

Список литературы

[1] Тараканов А.О. Математические модели биомолекулярной обработки информации: формальный пептид вместо формального нейрона // Проблемы информатизации. 1998. Вып. 1. С. 46–51.

[2] Емельянов С.В., Коровин С.К. Дискретные бинарные системы автоматического управления // Итоги науки и техники. Техн. Кибернетика. М.: ВИНИТИ, 1984. Вып. 17. С. 70–160.

[3] Самигулина Г.А. Разработка интеллектуальных экспертных систем управления на основе искусственных иммунных систем. Алматы: ИПИУ МОН РК, 2010. 252 с.

[4] Иберла. К. Факторный анализ / К. Иберла. М.: Статистика, 1980. 398 с.

[5] Самигулина Г.А. Разработка интеллектуальных экспертных систем прогнозирования и управления на основе искусственных иммунных систем // Проблемы информатики. Новосибирск, 2010. Вып. 1. С. 15-22.