Матричный алгоритм определения кратчайших расстояний на орграфе [2] работает и в этом случае.

Возможна также модификация алгоритма [1] для решения задачи кластеризации множества рёбер неориентированного графа (дуг орграфа), вершины которого взвешены числовой характеристикой того или иного признака.

Литература

1. Kotenko A., Bukarenko M. Labeled graphs' vertices and edges sets clustering / Groups and Graphs, Algorithms and Automata, 2015: Abstracts of the International Conference and PhD Summer School. – Yekaterinburg: UrFU Publishing house, 2015. – P. 41.

2. Котенко А.П. Матричный алгоритм Беллмана–Мура // Управление организационно-экономическими системами. Вып. 10. – Самара: Изд-во СГАУ, 2013. – С. 33-37.

Э.В. Куратник, Д.В. Иванов

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ARX СИСТЕМ КЛАССА ВИНЕРА ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХИ ВО ВХОДНОМ СИГНАЛЕ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

При идентификации динамических систем наибольшее распространение получили линейные модели динамических. Линейные модели просты в описании и часто обеспечивают адекватную точность представления динамической системы. Однако существует огромное число систем, описываемых нелинейными уравнениями. В общем случае задача идентификации динамических систем не имеет решения и возможно говорить лишь об идентификации некоторых классов нелинейных систем таких как системы класса Гаммерштейна, Винера, Вольтерра, билинейные системы и т.д.

Идентификация даже отдельных классов нелинейных систем при наличии помех, по сравнению с линейными системами, является более сложной задачей.

Идентификации динамических систем класса Гаммерштейна посвящено большое количество статей, в том числе при наличии помех наблюдений в выходном сигнале [1,2], в [3] приведено обобщение на случай системы класса Гаммерштейна, описываемой уравнениями с разностями дробного порядка.

Идентификации билинейных динамических систем при наличии помех наблюдения посвящены работы [4-6]. В данной статье предложен критерий, позволяющий получать сильно состоятельные оценки параметров систем класса Винера при наличии помехи во входном сигнале.

Динамическая система описывается дискретными стохастическими уравнениями:

$$z_i = \sum_{m=1}^{r} b_0^{(m)} z_{i-m} + \sum_{m=0}^{r_1} a_0^{(m)} x_{i-m} + \zeta_i,\ y_i = f(z_i), \quad w_i = x_i + \xi_i, \qquad (1)$$

где $f(\bullet)$ - нелинейная обратимая беровская функция.

Пусть выполнены условия:

1. Динамическая система устойчивая. Истинные параметры системы принадлежат компактному множеству $\tilde{\mathrm{B}}$.

2. Случайные процессы $\{\xi_i\},\{\zeta_i\}$ удовлетворяют следующим условиям:

$$E\left(\xi_i / F_i^{(\xi)}\right) = 0, \quad E\left(\zeta_i / F_i^{(\zeta)}\right) = 0 \text{ п.н.};$$

$$E(\xi_i^2 / F_i^{(\xi)}) < \infty,\ E(\zeta_i^2 / F_i^{(\zeta)}) < \infty \quad \text{п.н.};$$

$$E(\xi_i^2) < \infty,\ E(\zeta_i^2) < \infty,\ E(\xi_i^4) < \infty,\ E(\zeta_i^4) < \infty \text{ п.н.};$$

где $F_i^{(\xi)}, F_i^{(\zeta)}$ – σ-алгебры, индуцированные семействами случайных величин $\{\xi_t, \zeta_t, t \in T_i\}, T_i = \{t; t \le i, t \in \mathrm{Z}_c$ - множество целых чисел$\}$, E - оператор математического ожидания.

3. $\{\xi_i\}$ статистически не зависит от $\{\zeta_i\}$.

4. $\{x_i\}$ статистически не зависит от $\{\xi_i\},\{\zeta_i\}$.

5. Априорно известно соотношение $\gamma = \sigma_\zeta^2 / \sigma_\xi^2$.

6. Входной сигнал $\{x_i\}$ является случайным и удовлетворяет условию

$$\lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \varphi_x^{(i)} \left(\varphi_x^{(i)}\right)^T = H_{xx} \text{ п.н.},$$

где $\varphi_x^{(i)} = \left(x_i, \ldots, x_{i-r_1}\right)^T$, причем H_{xx} существует, ограничена и положительно определена.

Необходимо оценить неизвестные коэффициенты динамической системы, описываемой уравнением (1) по наблюдениям y_i, w_i при известных порядках r, r_1.

Представим уравнение (1) в виде линейной регрессии

$$f^{-1}(y_i) = \varphi_i^T \theta_0 + \varepsilon_i, \qquad (2)$$

где $\varepsilon_i = \xi_i - a_0^T \varphi_\xi^{(i)}$, $\quad \varphi_i = \left(f^{-1}(y_{i-1}) \ \ldots \ f^{-1}(y_{i-r}) \mid w_i \ \ldots \ w_{i-r_1}\right)^T$,

$\theta_0 = \left(b_0^{(1)} \ \ldots \ b_0^{(r)} \mid a_0^{(1)} \ \ldots \ a_0^{(r_1)}\right)^T$, $\varphi_\xi^{(i)} = \left(\xi_i, \ldots, \xi_{i-r_1}\right)^T$.

Из предположения 2 следует, что обобщенная ошибка $\varepsilon(b_0, i)$ имеет нулевое среднее значение, а из предположения 3 и леммы 1.1 [7] что её локальная дисперсия с вероятностью 1 будет равна:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \varepsilon^2(b_0, i) = \sigma_\zeta^2 + \sigma_\xi^2 a_0^T a = \sigma_\xi^2\left(\gamma + a_0^T a\right) = \sigma_\xi^2 \omega(b_0).$$

Определим оценку $\hat{\theta}$ неизвестных значений параметров θ_0 из условия минимума суммы взвешенных квадратных отклонений $\varepsilon(a,i)$ с весом $\omega(a)$, т.е. из:

$$\min_{b\in \tilde{B}} \sum_{i=1}^{N} \frac{\left(f^{-1}(y_i) - \varphi_i^T b\right)^2}{\gamma + a^T a}. \tag{3}$$

Теорема*. Пусть некоторый случайный процесс* $\{y_i, i = \ldots -1,0,1,\ldots\}$ *описывается уравнением (1) с начальными нулевыми условиями и выполняются предположения 1-6. Тогда оценка* $\hat{b}(N)$*, определяемая выражением (3) с вероятностью 1 при* $N \to \infty$*, существует, единственная и является сильно состоятельной оценкой, т.е.*

$$\hat{\theta}(N) \xrightarrow[N\to\infty]{П.Н.} \theta_0.$$

Литература

1. Авсиевич А.В., Иванов Д.В. Рекуррентное оценивание параметров нелинейных динамических объектов класса Гаммерштейна с помехой на выходе// Информационные системы и технологии. 2010. № 5 (60). С. 43-50.

2. Иванов Д.В., Усков О.В. Рекуррентное оценивание параметров динамических систем класса Гаммерштейна с локально автокорреливанной помехой в выходном сигнале//Вестник транспорта Поволжья. 2011. № 6. С. 53-59.

3. Ivanov D.V. Identification discrete fractional order Hammerstein systems // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 - Proceedings 2015.(**DOI:** 10.1109/SIBCON.2015.7147074).

4. Иванов Д.В., Усков О.В. Рекуррентное оценивание билинейных динамических систем с помехами наблюдения во входном и выходном сигналах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 6 (131). С. 187-192.

5. Иванов Д.В., Усков О.В. Рекуррентная идентификация билинейных arx-систем с помехой наблюдения в выходном сигнале // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 2. С. 96-105.

6. Иванов Д.В., Кацюба О.А., Усков О.В. Идентификация билинейных динамических систем с помехой в выходном сигнале //Информационные технологии и вычислительные системы. 2015. № 3. С. 81-91.

7. Кацюба О.А. Теория идентификации стохастических динамических систем в условиях неопределенности: монография. – Самара: СамГУПС, 2008.

Кульга К. С., Половинкин А. В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Актуальность проблемы. Детали и сборочные единицы (ДСЕ) авиационных двигателей характеризуются сложностью и разнообразием конструкций, что приводит к необходимости разработки значительного количества станочных приспособлений (СП). К конструкции СП предъявляются высокие требования по точности изготовления и качеству базовых поверхностей.

Системный анализ существующих бизнес-процессов (БП) проектирования СП, основанных на применении стандартной функциональности программного обеспечения (ПО) CAD (*Computer Aided Design*)-систем, выявил следующие недостатки:

– создание нового СП основано на экспертных оценках конструкции, включает значительные затраты времени на изучение проектной и справочной информации, а также на проектирование СП;

– учитываются только общие вопросы базирования заготовок с профильными посадочными поверхностями;

– не учитываются особенности проектирования и технологичности базовых деталей СП, что приводит к снижению качественного уровня конструкции СП;

– проектирование СП выполняется без применения методов автоматического формирования параметрических трёхмерных геометрических моделей СП и формирования комплекта конструкторской документации СП (чертежи, спецификации и т.п.). Во всех изученных методологиях преобладают рутинные функции для проектирования и оформления комплекта конструкторской документации СП, осуществляемые с помощью CAD (*Computer Aided Designer*)-систем и баз данных типовых конструктивных элементов.

Таким образом, создание и экспериментальная апробация системы автоматизированного проектирования (САПР), предназначенной для повышения эффективности проектирования СП, применяемых для изготовления деталей авиационных двигателей расчётов, является актуальной научной задачей.

Теоретическая часть. Разработка ПО САПР для проектирования СП осуществлялась на основе методологии, подробно описанной в монографии [1].

Функциональная модель (ФМ) САПР. Объектно-ориентированная функциональная модель САПР разработана с применением методологии *Rational Unified Process* (*RUP*) и платформенно-независимого объектно-ориентированного языка *UML (Unified Modeling Language)* [2].