

УДК 519.246.8

МЕТОД БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В.В.Губарев, Г.Л.Русин

1. Формулировка задачи. В работе рассматриваются общие принципы организации математического обеспечения задачи идентификации и прогнозирования кибернетических систем, когда их параметры и показатели допускают описание в виде одномерных и многомерных временных рядов. Прогнозирование временных рядов сводится к экстраполяции некоторой модели, рассматриваемой как описание закономерности развития показателя или параметра во времени и полученной путем апостериорной структурной и параметрической идентификации. В условиях нестационарности и необходимости применения траекторного подхода автоматизация процесса идентификации модели существенно затруднена. Особенно сложной является проблема автоматизированной спецификации – выбора одной или некоторого ограниченного множества моделей из всего их многообразия. Спецификация является первым шагом идентификации. Решение задачи спецификации определяют применяемые затем методы оценивания. Ниже рассматривается подход, позволяющий автоматизировать процесс идентификации модели; дается характеристика разрабатываемого математического обеспечения задачи идентификации и прогнозирования временных рядов.

2. Метод решения. Предлагается формализованная двухэтапная процедура идентификации временного ряда. На первом этапе производится локализация множества рассматриваемых моделей с грубой оценкой их некоторых свойств. На втором этапе осуществляются уточнение, окончательная спецификация модели и ее окончательное оценивание на основе известных методов.

Для предварительного выбора модели на первом этапе предлагается метод библиотеки моделей. Под библиотекой моделей понимается

упорядоченное множество моделей, удовлетворяющее требованиям полноты, минимальной избыточности, изученности и аттестации. Требование полноты достигается формированием такого набора моделей, который покрывает всю область значений принятого критерия упорядочения. Требование минимальной избыточности предполагает отсутствие пересечений области упорядочения отдельных моделей, образующих библиотеку. Требование изученности обеспечивается наличием аналитического описания, исследованностью свойств всех характеристик моделей, существованием известных элементарных функциональных преобразований, связывающих различные модели друг с другом. Автоматизация достигается путем: априорного упорядочения моделей внутри библиотеки с помощью некоторых идентификаторов; апостериорного оценивания значений идентификаторов; автоматического сопоставления оценок с теоретическими значениями. Попадание значения оценки в область притяжения соответствующего идентификатора приводит к автоматическому выбору модели. Это позволяет избавляться от необходимости последовательного перебора моделей, что отличает данный подход от используемых.

В качестве параметрических критериев упорядочения можно использовать предложенные и подробно разработанные для одномерных законов распределения подходы, основанные на анализе плоскостей моментов, квантилей и др. [1,2]. Принадлежность выборочных значений характеристик некоторой области таких плоскостей определяет вид закона распределения. Задание временных рядов в библиотеке осуществляется на уровне одномерных законов распределения, корреляционных функций или спектральных плотностей мощности. Причем упорядочение спектральных плотностей мощности предпочтительнее упорядочения корреляционных функций, поскольку: через спектр проще обеспечивается неотрицательная определенность аппроксимирующих корреляционных функций и их оценок; алгоритмы упорядочения спектральной плотности мощности сходны с алгоритмами упорядочения и оценивания параметров распределений.

Для нестационарных временных рядов оценивание корреляционно-спектральных характеристик существенно затруднено. В этом случае предлагается упорядочение на основе распределений Н.А.Бородачева. Так, пусть модель нестационарного на уровне среднего временного ряда имеет вид:  $X(t) = m_X(t) + \hat{X}(t)$ , где  $m_X(t)$  - математическое ожидание ряда  $X(t)$ , детерминированная функция времени;  $\hat{X}(t)$  - центрированная стационарная некоррелированная случайная компонен-

та, имеющая смысл внешней помехи. Тогда закон распределения значений  $x$  случайной величины  $X$  для всего заданного промежутка времени от  $t_0$  до  $t_k$  при нормальном распределении  $\hat{x}(t)$  определится выражением:

$$\varphi(x) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{x - \hat{x}(t)}{2\sigma} \right\}^2 dt.$$

В результате задача упорядочения нестационарных временных рядов сведена к уже описанной задаче упорядочения одномерных законов распределения.

Можно предложить еще один достаточно общий способ упорядочения практически любых нестационарных моделей. Операциями сдвига и масштабирования траектории разных моделей сводятся в одну область, так что можно считать, что траектории различных моделей эквивалентны некоторым одномерным законам распределения. Последнее в свою очередь можно упорядочивать уже описанными способами.

В качестве непараметрического критерия упорядочения предлагается использование таблицы "объект-свойство". Таблица формируется однократно из значений критериев стационарности, коррелированности, нормальности и т.п., полученных для полного множества искусственно имитируемых моделей. Известные методы обработки этих таблиц позволяют на основе расчета лишь характеристик упорядочения - "свойств" выборочных значений временных рядов, существенно ограничить класс применяемых моделей - "объектов".

3. Состав библиотеки моделей. Для стационарных временных рядов в библиотеку включены модели авторегрессии, скользящего среднего и авторегрессии-скользящего среднего, а также подбиблиотеки одномерных распределений Пирсона, Джонсона и распределения, используемых в теории надежности. Для нестационарных на уровне моментов первого и второго порядков - полиномиальные, экспоненциальные, логистические, гармонические, разностные модели, а также их комбинации. Для многомерных рядов в библиотеку включены все перечисленные одномерные модели, а также зависимости Ципфа-Парето, экспоненциальные для учета структурных и балансовых связей между элементами векторного ряда. Прорабатываются вопросы: включения в модель временного ряда различных качественных факторов; использования ортогональных полиномов, ряда Вольтерра.

Разработанные алгоритмы идентификации основаны: для одномерных законов распределения – на методах моментов и минимума хи-квадрат; для стационарных моделей – на методах Бокса-Дженкинса и наименьших квадратов (МНК); для нестационарных – на методах последовательного выделения составляющих временного ряда, МНК, специально разработанном методе одновременной идентификации. Кроме того, прорабатываются вопросы применения методов Блэкмана-Тьюки, максимальной энтропии, Прони, Кейпона, гармонического разложения Писаренко и др. Отличительной особенностью является именно построение математического обеспечения по методу библиотеки моделей, обладающей указанными выше свойствами.

4. Результаты. Предложена двухэтапная процедура идентификации моделей временных рядов. Для первоначального выбора модели предложен метод библиотеки моделей. Дано определение библиотеки моделей. Рассмотрены различные способы упорядочения моделей. Перечислены модели, входящие в библиотеку, и методы их идентификации.

#### Л и т е р а т у р а

1. ГУБАРЕВ В.В., КАЗАНСКАЯ О.В. Некоторые вопросы автоматизации выбора одномерных распределений. (Рукопись деп. в ВИНТИ от 01.10.1982 г.). Деп. № 5263-82.

2. ГУБАРЕВ В.В. Типовые характеристики случайных величин, векторов и функций. (Рукопись деп. в ВИНТИ 21.03.1983 г.). Деп. № 1355-83.

Поступила в ред.-изд.отд.  
26 апреля 1984 года