

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 519.6

Братченко Наталья Юрьевна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМ

В статье представлен разработанный методологический фундамент математического описания поведения системы с целью ее краткосрочного прогнозирования и оценки ее нестационарности.

Ключевые слова: математическая модель, нестационарная система, динамическая система, нейросетевой анализ, теория динамических систем, теория хаоса, нейронных сетей, многофакторный анализ.

Bratchenko Natalia Yurievna

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY ANALYSIS DYNAMIC BEHAVIOR OF THE SYSTEMS

Methodological basic foundation of mathematical model formulation which reflects the system behavior dynamics with the purpose of its short-term forecasting and evaluation of its nonstationarity has been worked out.

Key words: mathematical model, nonstationarity system, dynamic system, neuronet analysis, dynamic systems theory, chaos theory, neuron nets, multiple factor analysis.

Методология анализа динамики поведения сложной системы, используемая на этапе планирования и принятия решений на основе прогнозирования, имеет существенные недостатки, связанные с отсутствием строгой формализации соответствующих процедур, эффективных способов организации и проведения вычислений. Численные методы линейной и нелинейной динамики, реализованные средствами программных пакетов Statistica, Statgraphics, MathCad, нейросетевые технологии, реализованные программными средствами BrainMaker Professional, Braincel, Statistica Neural Network, позволяют решать статистические и математические задачи определения и восстановления моделей, отражающих динамику поведения изучаемой системы, реализуют основные функции математического моделирования, однако не приспособлены для реализации методов научного управления, основанных на теории динамических систем, теории хаоса, нейронных сетях.

В области исследования экспериментальных данных и разработки методики исследования и управления состоянием системы средствами автоматизации также имеются существенные недостатки, связанные с выявлением структуры взаимосвязей параметров, от которых зависит состояние системы, отсутствием комплексного подхода к извлечению динамики из ряда наблюдений, требованиями к точности предсказания состояния системы. Разнообразие и сложность исследования нестационарных систем, в которых процессы разворачиваются во времени и пространстве, ставят новые проблемы перед математическим моделированием. Традиционный путь их решения связан с выбором одного или системы стандартных уравнений исследования, со сложной техникой анализа и многочисленными компьютерными расчетами. Поэтому естественно возникает необходимость выбора радикального, альтернативного пути решения – описывать различные нестационарные системы совокупностью как статистических, так и динамических эволюционных операторов, на дискретном языке, считая, что само состояние системы может принимать конечный набор значений.

Таким образом, учитывая, что в рамках традиционных подходов не удастся получить существенного улучшения качества анализа поведения сложных нелинейных систем, актуальным является разработка и применение методологии на основе новых подходов.

Целью такой методологии является повышение эффективности методов статистического, нелинейного и нейросетевого анализа в экспериментальном исследовании динамики поведения нестационарной системы и их программной реализации.

Для решения поставленной задачи проведена ее декомпозиция на ряд следующих частных задач:

- 1) разработка алгоритма анализа системы экспериментальных данных с применением методов математической статистики средствами программных математических пакетов;
- 2) разработка алгоритма многофакторного анализа состояния системы и интервальной оценки результата экстраполяции;
- 3) разработка алгоритма нелинейно-нейросетевого анализа системы для получения информации о динамике ее поведения при различных траекториях развития исследуемой системы;
- 4) разработка метода оценки построенной нейронной сети на основе результатов эксперимента;
- 5) разработка программного средства для реализации алгоритма нелинейного анализа динамики поведения состояния системы;
- 6) статистическая обработка результатов исследования.

Для решения поставленных задач используются методы статистического, нелинейного анализа, теории динамических систем, теории хаоса, нейронных сетей.

Данная методика совмещает построение статистической совокупности моделей анализа динамики поведения сложной системы на основе аддитивной модели с последующей ее оценкой, модифицированной многофакторной модели на основе неоднородности ее коэффициентов, статистического уравнения изменения экстремумов во времени при почти периодической функции времени и нелинейно-нейросетевого анализа [1].

Целесообразно считать, что исследование поведения динамической системы неэффективно без учета внешних и внутренних факторов, воздействующих на ее поведение. Принятие решения об элиминировании некоторых факторов на основе анализа значений специальных характеристик с учетом управляемости факторов на уровне системы способствует разработке многофакторной модели, построение которой в виде множественного уравнения регрессии предлагается начать с расчета скорости изменения данных на основе уравнения тенденции развития системы. После чего выявляются факторы, влияющие на поведение исследуемой системы, и анализируются их количественные значения с учетом временного интервала, в соответствии с которым группируются первоначальные исходные данные и корректируется скорость их изменения.

Таким образом, построение многофакторной модели позволяет аналитически исследовать динамику поведения изучаемой системы. Ее экстраполяция дает точечную прогностическую оценку. Однако предложенная модель не свободна от недостатков, связанных с отсутствием некоторой априорной информации, позволяющей получить интервальную оценку с тем, чтобы прогноз, охватывающий некоторый интервал значений прогнозируемой переменной, был бы более надежным. Учет данной априорной информации и расчет доверительных границ позволяет оценить результат прогнозирования поведения системы. Далее, в ходе анализа динамики поведения системы, рассматриваются различные виды тенденции, определяются начальные моменты их изменения, фиксируются восходящие траектории эволюции (через последовательно возрастающие точки спадов на небольших интервальных участках) и нисходящие (через понижающиеся пики) [1].

При всей своей интуитивной очевидности данная методика не применима в случаях обнаружения нерегулярного, хаотического поведения траекторий системы. Хаотические динамические системы, обладающие странными аттракторами, описываются дискретными отображениями, такими, например, как логистическое отображение.

Диагностика и реконструкция динамических систем по экспериментальным данным включает модели нелинейной динамики как простейшие объекты, демонстрирующие желаемое качественное поведение системы при дезадаптации ее состояния.

Таким образом, проведенные исследования [1] являются подтверждением того, что сложно организованные временные структуры возникают из хаотических состояний, в таких самоорганизующихся системах вместо устойчивости и гармонии обнаруживаются эволюционные процессы, приводящие к еще большему разнообразию и усложнению структур.

В результате предлагается схема исследования динамических систем на основе нелинейно-нейросетевого анализа (рис.).



Рис. Схема анализа и разработки совокупности нелинейных динамических моделей

Роль нейросетевого моделирования в научных исследованиях подтверждена [1] и эффективность нейросетевого подхода обоснована [1, 2]. В настоящее время очевиден научный интерес к методам нейронных сетей для решения задач прогнозирования, классификации и управления сложными системами.

В основе нелинейно-динамического подхода лежит учет внутренних особенностей системы, в отличие от статистических методов, в которых все факторы полагаются случайными или неопределенными [2].

Главная идея состоит в том, что многие сложные системы могут быть просто описаны с помощью нескольких переменных – параметров порядка. В наиболее важных областях пространства параметров, где меняется число или устойчивость решений, систему можно представить посредством одних и тех же соотношений. Это требует локального анализа поведения системы.

Таким образом, выявление наличия нестатистического аспекта в поведении системы определяет необходимость применения нелинейно-динамического подхода с целью наилучшего имитирования поведения исследуемой системы на основе гипотезы о том, что отклонения модельных значений параметров от их реально наблюдаемых случайны. Предложенная схема нелинейно-нейросетевого анализа динамики поведения исследуемой системы и ее применение является инструментом научно обоснованных предсказаний, в ее составе используется математический аппарат теории катастроф, бифуркаций и нейросетевой анализ [3].

Целесообразно считать, что алгоритм, построенный на основе статистического анализа, не позволяет достаточно адекватно описать поведение сложной нестационарной системы.

Предложенная схема исследования нелинейных систем на основе построения алгоритма нелинейно-нейросетевого анализа динамических систем позволяет исследовать поведение системы на локальную неравновесность и определить состояния дезадаптации изучаемой системы.

Так, например, системы связи на основе технологии IP представляют собой очень сложные системы благодаря использованию в них принципов динамической маршрутизации. В случае динамической маршрутизации трафика сеть в общем случае устанавливает маршрут передачи каждого пакета индивидуально. В результате возникает проблема высокой динамики изменений параметров сети. Проблемы высокой динамики сетей заключаются в прямой зависимости всех параметров работы сетей от профиля трафика в сети. Сам же профиль трафика динамически изменяется и, как следствие, меняются параметры.

Условно можно использовать следующую зависимость параметров качества сетей:

$$\overline{QoS} = f(\text{профиль нагрузки}).$$

То есть речь идет о высокодинамичной и сильно взаимно коррелированной технологии. Поэтому изменения в сетях могут носить непредсказуемый и сложно моделируемый характер.

Применение предложенной методологии позволит исследовать сети как многопараметрические неустойчивые сложные системы.

Литература

1. Братченко Н. Ю. Разработка и применение методов исследования динамики поведения нестационарных систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ставрополь, 2005. 182 с.
2. Братченко Н. Ю. Методология анализа динамики поведения сложных систем // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2009. № 2(19). С. 107–111.
3. Братченко Н. Ю. Исследование хаотического поведения динамических систем // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2012. № 1(30). С. 6–8.