

РАЗДЕЛ 2. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

страницы. Ниже изображения находится гистограмма, а левее показаны такие ее характеристики, как среднее значение яркости, среднеквадратическое отклонение (СКО) и положение максимума.

При тестировании функции в соответствии с установленным порядком происходил перебор сформированных файлов изображений. Сначала анализировались изображения со средними яркостями, отличными от нормального значения. Затем считывались файлы с искаженными изображениями. На основании полученных результатов анализа формировались таблицы.

На основе составленных таблиц было установлено, что во всем диапазоне средних яркостей (от 20 до 240) распознавание показаний цифрового индикатора происходило правильно, хотя порог бинаризации *Threshold* был постоянен и равен значению по умолчанию. Влияние размытия изображения на результат распознавания оказалось сравнительно небольшим. В то же время влияние шума и сдвига оказались значительными. Например, при значении параметра $noise_var=10^{-3}$ появлялись ошибки, а при $noise_var=10^{-2}$ тестируемая функция полностью теряла работоспособность. К потере работоспособности также приводил сдвиг изображения на 10 и более пикселей.

Программа исследования функции *IMAQ Read Meter* аналогична. Она была также создана и успешно использована. Полученные сведения определили ограничения использования тестируемой функции.

Заключение

Результаты, полученные при тестировании функций считывания показаний индикаторов, были учтены при создании программного обеспечения ИИС. В этой системе сбор данных осуществляется с помощью удаленной видеокамеры, и используются сетевые технологии.

Описанная в статье методика тестирования и структура программы достаточно универсальны. Они могут быть применены для практического исследования других сложных функций обработки и анализа различного рода данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Ю.В. Обеспечение достоверности и надежности компьютерных расчетов / Ю.В. Петров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 160 с.: ил.
2. Визильтер, Ю.В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений на LabVIEW IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер и др. - М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.: ил.
3. Бессонов, А.С. Опыт разработки автоматизированных систем контроля поверхностей оптических деталей / А.С.Бессонов // Ползуновский вестник. – 2011. - №3/1. - С. 192-196.
4. Дьяконов, В.П. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В.П. Дьяконов. - СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.

К.т.н., доцент Бессонов А.С.: alexsb64@newmail.ru; тел. (495) 4349445 - Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики

УДК: 004.75

ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ ГРУППЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Л.И. Сучкова

В работе рассмотрено понятие паттерна поведения группы временных рядов, реализующего взаимосвязь между накопленными данными измерений в системе мониторинга и прогнозируемыми значениями, представляющими собой числа или лингвистические термы. Предложен алгоритм прогнозирования нештатных ситуаций, приведена методика оценки степени соответствия текущего состояния объекта контролю паттерна поведения.

Ключевые слова: нештатная ситуация, паттерн поведения, лингвистический анализ, темпоральные зависимости, поиск закономерностей, нечеткая модель.

Введение

При идентификации и прогнозировании нештатных ситуаций (НС) в системах технологического контроля необходим анализ ис-

тории наблюдений и текущего состояния объекта контроля. Классическим математическим аппаратом прогнозирования состояния объекта контроля, характеризующегося

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013

ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ
В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ ГРУППЫ ВРЕМЕННЫХ
РЯДОВ

измеряемыми на протяжении некоторого временного промежутка параметрами, являются модели временных рядов (ВР) [1,2]. Однако, на практике параметры контролируемых процессов могут задаваться экспертно, а полная предыстория всех процессов может не храниться. При использовании же для идентификации и прогнозирования НС нейросетевых моделей на прогноз существенным образом влияет архитектура сети и методика ее обучения [3]. Так как в автоматизированных системах технологического мониторинга целесообразно представлять часть информации в лингвистической форме, то требуется разработка алгоритмов идентификации и прогнозирования НС, оперирующих с группой числовых и нечисловых ВР. К таким алгоритмам относятся алгоритмы, основанные на нечеткой логике, в соответствии с которой каждому наблюдению нечеткого временного ряда (НВР) ставится в соответствие нечеткая переменная с некоторой функцией принадлежности. Модели прогнозирования НВР рассмотрены в [4] и [5], однако они применимы для прогнозирования только одного ряда и нет учета влияния на прогноз отсчетов других ВР.

Перспективным направлением для интеллектуального анализа групп ВР является гибридный подход, сочетающий представления и алгоритмы, характерные для различных представлений моделей рядов и методов их анализа, в том числе интеллектуального, включающего нейронные сети, нечеткие вычисления, генетические алгоритмы, экспертные правила, естественно-языковые средства [5,6,7]. Так, в [6] рассмотрена нечетко-темпоральная модель, устанавливающая зависимость между продолжительностями и типами тренда ряда до и после момента времени t . Достоинством предложенного гибридного алгоритма прогнозирования поведения ряда является формализация описания последовательности трендов, однако механизм обнаружения закономерностей поведения ВР для последующего формирования высказываний и правил не предусмотрен.

Постановка задачи

В настоящей работе предлагается для идентификации и прогнозирования НС в системе мониторинга использовать гибридный подход, объединяющий нечетко-темпоральный и лингвистический аспекты описания зависимостей в группе ВР.

Рассмотрим контроль значений группы параметров, и формирование, соответственно, группы временных рядов Y_i , $i=1, \dots, m$, где m – количество рядов в группе. Каждый i -тый

ряд представлен отсчетами y_{iq} , $q=0, 1, 2, \dots, t_{\text{тек}}$, где $t_{\text{тек}}$ соответствует текущему моменту времени. Для формирования и анализа лингвистических значений численных характеристик контролируемых процессов в системе мониторинга будем использовать аппарат теории нечетких множеств. В качестве основы идентификации текущего и прогнозирования будущего состояния объекта мониторинга будем использовать понятие паттерна поведения группы ВР.

Понятие паттерна поведения и его применение для прогнозирования НС

Введем понятие прогнозирующего паттерна Pat поведения группы из m временных рядов Y_i ($i=1, \dots, m$), представляющего собой пятерку вида

$$Pat = \langle TP, Num, LP, RP, MP \rangle,$$

где TP – временной дискрет измерений для паттерна; **Num** – вектор-столбец размерности s , хранящий номера рядов в паттерне, **LP** и **RP** являются матрицами, описывающими поведение группы рядов соответственно до и после текущего момента времени:

$$LP = \begin{pmatrix} x_{j_1 l_1} & \dots & x_{j_1 l_n} \\ \vdots & x_{j_r l_h} & \vdots \\ x_{j_s l_1} & \dots & x_{j_s l_n} \end{pmatrix},$$

$$RP = \begin{pmatrix} z_{j_1 l_{n+1}} & \dots & z_{j_1 l_{n+k}} \\ \vdots & z_{j_r l_{h+g}} & \vdots \\ z_{j_s l_{n+1}} & \dots & z_{j_s l_{n+k}} \end{pmatrix}.$$

Величина s может принимать значения от 1 до 2^*m , причем num_1, \dots, num_m соответствуют временным рядам Y_i , $num_{m+1}, \dots, num_{2^*m}$ соответствуют рядам Y_i' , содержащим разности соседних значений рядов Y_i . Каждая строка j_d ($d=1, \dots, s$) матриц **LP** и **RP** соответствует ВР с номером num_d вектора **Num**, столбцы l_1, \dots, l_n соответствуют n временным отсчетам, предшествующим текущему времени $t_{\text{тек}}=t_n$, столбцы l_{n+1}, \dots, l_{n+k} соответствуют прогнозу на k отсчетов вперед. Значения $x_{j_r l_h}$ и $z_{j_r l_{h+g}}$ в матрицах **LP** и **RP** могут представлять собой:

- термы для лингвистических переменных (ЛП), соответствующих ряду num_d , в том числе термы для обозначения НС на объекте контроля;
- четкие значения переменных, вычисляемых по отсчетам ряда Y_{num_d} в момент времени l_n , в простейшем случае значения самих отсчетов ряда;

РАЗДЕЛ 2. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

- неопределенные значения (по-значения). Для **LP** они соответствуют либо незначимому для анализа, либо отсутствующему в ряде. При отсутствии значения в ряде учитывается периодичность анализа отсчетов сигналов, которая может либо отличаться от временного дискрета измерений паттерна, либо быть равной этому дискрету. Для **RP** по-значения соответствуют неопределенному значению прогноза.

Назовем матрицы **LP** и **RP** соответственно левой и правой частью паттерна.

Каждый прогнозирующий паттерн характеризуется маркером **MP**, обозначающим принадлежность прогнозируемых значений областям штатных, критических и нештатных значений (*S*-, *K*- и *NS*-маркеры).

Рассмотрим укрупненный алгоритм идентификации и прогнозирования **НС** на базе паттернов поведения группы **ВР**. Он включает в себя следующие этапы:

1. Получение информационных сигналов с первичных измерительных преобразователей.

2. Формирование ЛП и базы данных.

3. Сравнение текущего состояния контролируемых сигналов и их истории с нечеткими паттернами из базы паттернов;

4. Если обнаружен паттерн с *S*-маркером, то перейти к п.1, иначе к п.5.

5. Если обнаружен паттерн с *K*-маркером, то уточнить прогноз **НС** путем дефаззификации пограничных термов для сигналов, где спрогнозированы эти термы и последующего сравнения экстраполированного четкого значения сигнала с прогнозируемым значением граничной функции для четких значений.

6. Если в результате уточненного прогноза нештатная ситуация для паттерна с *K*-маркером не идентифицируется, то перейти к п.1, иначе сообщить оператору о прогнозируемой **НС**.

Для прогнозирования **НС** разработана автоматизированная система контроля, архитектура которой показана на рисунке 1.

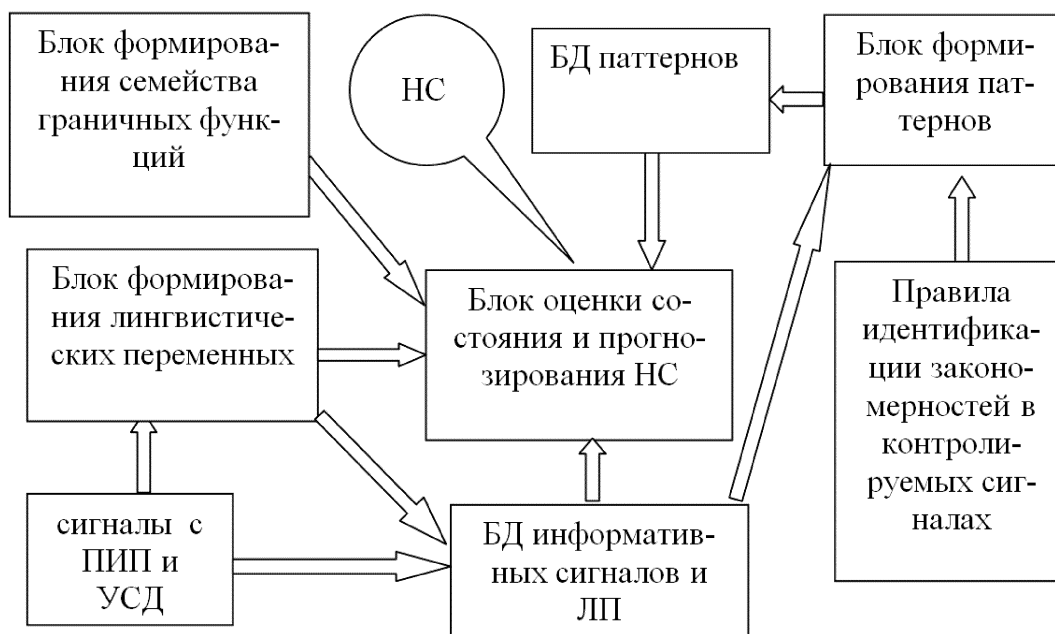


Рисунок 1 - Архитектура автоматизированной системы идентификации **НС** на базе паттернов поведения **ВР**

Блок формирования ЛП сопоставляет каждому из рядов Y_i и Y_i' свою лингвистическую переменную α_i (или α_i'), имеющую имя, соответствующее понятию естественного языка, и набор из kt_{α_i} термов-значений, каждому из которых соответствует своя функция принадлежности *LR*-типа $f_{\alpha_i c}(u)$,

$c = 1, \dots, kt_{\alpha_i}$, аргументами которой являются четкие значения отсчетов рядов Y_i или Y_i' . В каждый момент времени для четких значений группы рядов осуществляется фаззификация. Будем считать, что для четкого значения u результатом функции фаззификации $Fuz(u)$ является кортеж $\langle \chi, \nu \rangle$, в котором:

ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ
В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАТТЕРНОВ ПОВЕДЕНИЯ ГРУППЫ ВРЕМЕННЫХ
РЯДОВ

$$\chi = \max_l f_{\alpha_d l}(u), l = 1, \dots, kt_{\alpha_d}, v = f_{\alpha_d} \chi(u),$$

α_d - ЛП для d -того ряда, χ - номер терма, v - максимальное значение степени принадлежности для функций принадлежности ЛП α_d .

Значения термов и четкие значения сигналов в системе технологического контроля хранятся в базе данных. Выходными данными блока формирования ЛП являются нечеткие ВР, состоящие из термов.

Блок оценки состояния объекта и прогнозирования НС осуществляет оценку степени соответствия паттернам базы текущего состояния объектов контроля по следующему алгоритму:

1. Пока не проанализированы все паттерны базы, выбор из БД паттернов текущего паттерна $PatB$ с минимальным временным дискретом $TP=\tau$.

2. Формирование по БД сигналов и ЛП матрицы \mathbf{O} , содержащей термы и четкие значения, выбранные с дискретом τ . Строки матрицы \mathbf{O} соответствуют рядам с номерами из вектора-столбца \mathbf{Num} паттерна $PatB$, соседние столбцы соответствуют отсчетам рядов в моменты времени, отличающиеся на τ .

3. Пока не проанализированы все ряды паттерна, для каждого ряда, термы и четкие значения которого присутствуют в паттерне $PatB$, по формуле (1) вычисляется абсолютная погрешность $ErrR_d$ соответствия данных ряда его поведению в d -той строке левой части \mathbf{LP} паттерна $PatB$:

$$ErrR_d = \frac{1}{n^*} \sum_{j=1}^n Err_{dj}, \quad (1)$$

где n^* - количество значений, отличных от no -значений, в d -той строке паттерна;

Err_{dj} - абсолютная погрешность соответствия измеренного значения величине x_{dj} левой части \mathbf{LP} паттерна $PatB$.

Err_{dj} вычисляется в зависимости от типа значения в паттерне. Если x_{dj} представляет собой терм лингвистической переменной, то погрешность одного измерения вычисляется по формуле (2):

$$Err_{dj} = \frac{|NomT(x_{dj}) - NomT(o_{dj})|}{kt_d}, \quad (2)$$

где функция $NomT(ter)$ вычисляет номер терма ter в диапазоне от 1 до kt_d для ЛП α_d , соответствующей ряду с номером d , либо, если требуется учет степени принадлежности, по значениям функции принадлежности

терма, соответствующего данным измерений в матрице \mathbf{O} и степени принадлежности дефазифицированного терма из паттерна, полученного с применением функции дефазификации.

Если x_{dj} представляет собой четкое значение, то погрешность одного измерения вычисляется по формуле (3) как разность по модулю между четкими значениями:

$$Err_j = |y_{dj} - o_{dj}| \quad (3)$$

Если $ErrR_d$ для любого ряда паттерна превышает заданную погрешность $ErrZ$ соответствия текущей ситуации на объекте контроля паттерну поведения, то остальные ряды паттерна не анализируются, и осуществляется переход к п.1.

Вычисление абсолютной погрешности $ErrG$ соответствия данных измерений для группы ВР левой части паттерна осуществляется по формуле (4):

$$ErrG = \max_d \{ErrR_d\}, d = 1, \dots, s, \quad (4)$$

где d - номер ряда в векторе \mathbf{Num} паттерна $PatB$.

Для каждого паттерна осуществляется сравнение $ErrG$ с заданной погрешностью соответствия $ErrZ$. Если $ErrG < ErrZ$, то считается, что ситуация на объекте контроля соответствует левой части паттерна, и анализируется маркер паттерна MP , в зависимости от типа которого прогнозируется НС с ее возможным уточнением для К-паттерна.

Таким образом, можно считать паттерн поведения группы ВР моделью прогнозирования для состояния объекта контроля, адекватность которой оценивается путем сравнения прогнозируемых и фактических термов и четких значений для рядов, входящих в паттерн.

Поиск паттернов поведения путем лингвистического анализа

Для идентификации НС особую важность имеют методы поиска новых паттернов. Перспективным направлением ускорения обнаружения закономерностей в группах ВР является их описание на некотором формальном языке и последующая проверка соответствия закономерностей реальным данным измерений. В работе [8] рассмотрена грамматика UTG , оперирующая с иерархическими уровнями представления данных во временных рядах. Однако наличие уровней приводит к необходимости семантического контроля идентификаторов уровней, что существенно

РАЗДЕЛ 2. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ И ДАННЫХ

усложняет интерпретацию конструкций, описывающих закономерности в группе ВР.

Для выявления прогнозирующих паттернов поведения группы ВР предлагается описывать условия возникновения НС на формальном языке, позволяющем оперировать с четкими значениями и лингвистическими терминами с учетом продолжительности их наблюдения при отказе от иерархичности и фиксации следования за счет структуры самого паттерна. Разработана формальная контекстно-свободная грамматика, позволяющая строить языковые конструкции, которые работают с паттернами поведения системы и учитывают временные концепты, включающие понятия длительности событий и порядка следования. Предложен ряд функций, анализирующих историю рядов, оперирующих с временными характеристиками значений нечетких рядов. Допустимы циклические и условные операторы. Описание закономерностей изменения четких и нечетких значений временных рядов может быть интерпретировано на данных отдельной выборки фазсифицированных значений множества рядов циклически по всем моментам времени, при этом вычисляется степень соответствия прогноза реальным данным. В процессе интерпретации возможна как проверка на существующий паттерн, так и сравнение прогнозных значений ряда, вычисленных в соответствии заданными исследователем правилами, с реальным значением, взятого из данных измерений.

Для проверки правильности описания закономерностей в группе ВР на языке, порождаемом предложенной грамматикой, используется блок формирования паттернов, включающий интерпретатор, работающий по принципу рекурсивного спуска. В результате интерпретации описания закономерностей по реальным данным измерений вычисляется степень соответствия между прогнозируемыми значениями в описании и фактическими значениями, по которой можно оценить правильность паттерна поведения группы ВР.

Заключение

Гибридный подход к идентификации и описанию нештатных ситуаций, реализованный на основе паттерна поведения группы ВР, позволяет заменить сложную физико-математическую модель реальных наблюда-

емых процессов на логико-лингвистическую модель, позволяющую оперировать качественными понятиями – терминами лингвистических переменных. Этот подход может быть использован не только для описания взаимодействия контролируемых параметров и последующей проверки паттерна на реальных данных, но и для представления результатов мониторинга. Использование паттернов поведения группы ВР в системе контроля позволяет отказаться от постоянной корректировки ее алгоритмов и программного обеспечения в связи с появлением новых паттернов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
2. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
3. Anthony N. Michel, Derong Liu. Qualitative analysis and synthesis of recurrent neural networks. // Marcel Dekker Inc., New York Basel, 2002, -pp.504.
4. Демидова Л.А. Разработка однофакторных нечетких моделей для анализа тенденций временных рядов с использованием генетического алгоритма // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. –СПб., 2007. – № 4. – С. 156-164.
5. Ярушкина Н.Г. Афанасьева Т. В., Перфильева И. Г. Интеллектуальный анализ временных рядов : учебное пособие – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 320 с.
6. Ковалев С.М. Гибридные нечетко-темпоральные модели временных рядов в задачах анализа и идентификации слабо формализованных процессов. // Сб. тр. IV Междунар. науч.-практич. конф. Т. 1 – М.: Физматлит, 2007. – 354 с.
7. Batoryshin I., Kacprzyk J., Sheremetov L., Zadeh L. Perception-based Data Mining and Decision Making in Economics and Finance. - Springer, 2007. – 367 p.
8. Ulth A. Unification Based Temporal Grammar. In: Technical Report No. 37, Philipps-University Marburg, Germany, 2004. Визильтер, Ю.В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений на LabVIEW IMAQ Vision / Ю.В. Визильтер и др. - М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.: ил.

К.т.н., профессор Сучкова Л.И.: lis@agtu.secna.ru; тел. (3852) 290786 - Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова