

**УДК 519.246.8(045) ВОПРОСЫ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ,  
ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ВРЕМЕННЫМИ РЯДАМИ Андреев А.В., Андреев В.И.**

*Национальный авиационный университет*

*Просп. Космонавта Комарова, 1, Киев, 03058, Украина*

*В статье рассматриваются проблемы анализа динамических объектов, представленных временными рядами, при помощи растущих пирамидальных сетей, а так же проверки степени влияния объема обучающей выборки и количества признаков наблюдаемого объекта на качество распознавания наблюдаемых объектов разных классов. Так же предлагается способ представления динамических объектов в виде растущих пирамидальных сетей, а так же решается задача распознавания объектов.*

Большое количество практических задач, возникающих в различных областях человеческой деятельности, связано с прогнозированием поведения динамических объектов в будущем, а так же анализа поведения наблюдаемого объекта, основываясь на накопленных ранее данных, полученных в результате наблюдения за объектом.

Предполагается, что возникновению события предшествует некоторое явление - определенная комбинация значений признаков, описывающих объект, в определенном временном диапазоне. Одним из методов анализа и прогнозирования

поведения наблюдаемого объекта является анализ временных рядов. Целью анализа временных рядов является обнаружение признаков, вызывающих событие, или предшествующих его возникновению.

Большой класс объектов в природе и различных областях человеческой деятельности принадлежит динамическим объектам. Динамические объекты это физические тела и системы связанных тел, явления, технические устройства и системы связанных устройств, а также технологические процессы, способные воспринимать внешние физические воздействия и откликаться на них изменением выходных физических величин, характеризующих состояние и поведение объекта. :

Временные ряды являются исходными данными для анализа и прогнозирования поведения наблюдаемого динамического объекта.

Временной ряд - это множество наблюдений, генерируемых последовательно во времени [1]. Полученные параметры наблюдаемого объекта накапливаются для последующего анализа. Анализ временных рядов использует для прогнозирования значений переменных только накопленные данные об их изменении в прошлом.

Актуальна проблема анализа временных рядов. На сегодняшний день существует ряд методов анализа и прогнозирования временных рядов. В статье рассматривается метод анализа, основанный на использовании растущих пирамидальных сетей.

Данная статья основывается на материалах статьи [2] и является ее продолжением. В статье рассматривается распознавание двух режимов полета вертолета с различными нагрузками, условно обозначенными **a8** и **a 11**. Данные, снимаемые с вибродатчиков, расположенных на валу двигателя вертолета, накапливаются в виде временных рядов.

По сравнению с предыдущей статьей, здесь расширена обучающая выборка (с 12 до 24 объектов), а так же используются в качестве признаков, кроме дисперсии и среднего значения, автоковариацию. Сделано это с целью проверки степени влияния объема обучающей выборки и количества признаков наблюдаемого объекта на качество распознавания наблюдаемых объектов разных классов. Кроме того, в предыдущей статье использовалась информация, снимаемая с двух вибродатчиков, а в данной - с шести. Сделано это с целью повышения качества распознавания объектов различных классов.

Атрибутивный анализ предусматривает представление объектов и ситуаций признаковыми (атрибутивными) описаниями. Анализ, основанный на описании признаков объектов, используются при решении задач в средах, созданных динамическими объектами, относящимися к сфере техники, экономики, медицины и связанных с обнаружением закономерностей, классификацией, диагностикой, прогнозированием состояний и поведения различных объектов и процессов, а также с созданием интеллектуальных систем поддержки принятия решений.. Особенностью решения таких задач является то, что в них обрабатывается не количественная, а качественная, смысловая информация и их решение основывается на применении логико-лингвистических моделей [3], [4]. При этом процессы решения задач оказываются процессами обработки атрибутивных описаний. Такой анализ предполагает использование моделей специального типа - логико-лингвистических.

Известные методы атрибутивного анализа основываются преимущественно на использовании признаков описаний, характеризующих состояние статических объектов, состояние которых не зависит от времени. Для статических объектов предложены методы и средства анализа, ориентированные на различные свойства и характеристики данных, описывающих анализируемые объекты. Разработана система *CONFOR* [5], основанная на применении сетевых структур специального типа - растущих пирамидальных сетей (РПС) [6], [7], [8].

Преимущество РПС по сравнению с другими известными системами атрибутивного анализа состоит в высокой точности решения задач обнаружения закономерностей, классификации, диагностики, прогнозирования. Однако отсутствие в РПС возможностей непосредственного учета временных параметров, не позволяло использовать их для анализа динамических объектов. В работе [2] предложена методика решения проблемы атрибутивного анализа объектов такого типа, основанная на использовании системы *CONFOR* и представлении данных временными рядами, сформированными в результате наблюдений объекта исследований в различные моменты времени.

При наблюдении за динамическим объектом предполагается, что изменение его состояния во времени является вероятностным (стохастическим) процессом. В реальных объектах могут действовать неизвестные или малоизученные факторы, имеющие случайный характер. В результате точное вычисление будущего состояния объекта в различные моменты времени не представляется возможным. Однако может быть вычислена вероятность того, что его будущее состояние определяется некоторым интервалом значений известных переменных. В этом случае мгновенное состояние объекта рассматривается как точка некоторого пространства состояний  $R$ , а стохастический процесс представляется функцией времени  $t$  со значениями из  $R$ . Точки выбранного пространства задаются одним или несколькими числовыми параметрами, случайно принимающими различные значения. В настоящей работе временной ряд рассматривается как случайный процесс, когда  $t$  принимает только целочисленные значения.

Известные способы анализа временных рядов основываются преимущественно на использовании численных методов [1]. Техника обработки данных на основе растущих пирамидальных сетей связана с применением логических моделей, в которых используются различные логические функции: И, ИЛИ, НЕ.

Рассмотрим принципы преобразования исходных данных, представленных точками временного ряда к виду, пригодному для обработки с помощью РПС.

В соответствии с предыдущей статьей [2], в качестве объектов наблюдения выбираются вибродатчики на валу вертолетного двигателя, с которых снимается информация в виде замеров амплитуд сигналов, характеризующих состояния соответствующего участка исследуемого объекта и являющихся значениями временного ряда.

Каждый временной ряд, содержащий  $S$  замеров, разделим на  $Z$  равных отрезков, каждый из которых содержит  $S/Z$  замеров. Эти информационные отрезки рассматриваются как некоторые объекты, из описаний которых предполагается сформировать обучающую и экзаменационную выборки для РПС. Выделим признаки, с помощью которых будем описывать полученные объекты.

Как известно, для описания многих реальных явлений, относящихся к различным разделам естествознания и техники, с достаточной степенью точности используются стационарные случайные процессы, т.е. такие случайные процессы, которые инвариантны относительно временных сдвигов  $t \rightarrow t+a$ , при любом фиксированном значении  $a$ . В случае, когда случайный процесс является стационарным, в качестве характеристик такого процесса могут быть использованы такие характеристики, как математическое ожидание (среднее значение)  $EX$  случайной величины  $X$  и дисперсию  $DX$  - меру отклонения случайной величины  $X$  от ее математического ожидания, определяемая равенством  $DX=E(X-EX)^2$ , а также выборочной оценкой автоковариации  $COV(X,Y)=E[(X-EX)(Y-EY)]$ . Среднее значение, дисперсия и автоковариация, которые могут быть вычислены с помощью табличного процессора, например *MS Excel*, предлагается использовать в качестве признаков для описания динамических объектов, представленных временными рядами.

Разделим  $Z$  объектов на обучающую выборку -  $V$  и экзаменационную выборку -  $W$ , тогда  $V+W=Z$ . Таблица данных, содержащая сформированную обучающую выборку, служит основой для построения РПС и последующего ее обучения, а так же для формирования понятий, на основе которых будет выполнена классификация объектов экзаменационной выборки.

**Решение задачи распознавания режимов работы динамических объектов, представленных временными рядами**

Рассмотрим построение таблицы данных и соответствующей РПС применительно к задаче распознавания режимов работы некоторого динамического объекта. В качестве примера такого объекта, в частности, может быть выбран вал двигателя летательного аппарата. Рассматривается два режима работы объекта - с нагрузками, условно обозначенными  $a8$  и  $a11$ . Каждый режим представлен замераами амплитуд сигналов на выходе шести вибродатчиков ( $vibr1, vibr2, vibr3, vibr4, vibr5, vibr6$ ), в статье [2] - двумя ( $vibr1, vibr6$ ), установленных в различных местах конструкции летательного аппарата. Для каждого временного ряда  $S = 48000, Z = 48, V = W = 24$ , в статье [2] -  $S = 48000, Z = 24, V = W = 12$ .

Расчетные данные, полученные применительно к каждому из режимов, для временных рядов представлены в таблице 2, в которой объекты 1 - 24 образуют обучающую выборку, а объекты 25 - 48 - экзаменационную. Подсчитанные значения дисперсии и среднего значения округлены до 2-х старших разрядов чисел, а соответствие числовых значений выборочной оценки автоковариации и буквы, соответствующие диапазону их значений, приведены в таблице 1.

Эксперименты проводились на основе программной системы *CONFOR*, реализующей процессы построения и обучения РПС, которая строится по данным таблицы 2 в соответствии с правилами, описанными в работе [6], [9]. Обучение сети выполнено по обучающей выборке, представленной в таблице 2, в соответствии с правилами формирования в РПС понятий [8], [9]. В результате получены логические выражения (понятия), определяющие исследуемые классы объектов в режимах, соответствующих нагрузкам  $a8$  и  $a11$ .

Таблица 1

Диапазон	Наименование
10 - 20	A
20 - 30	B
30 - 40	C
40 - 50	D
50 - 60	E
60 - 70	F
70 - 80	G
80 - 90	H

Таблица 2

Тип выборки	Объект	Клас	Vibr 1 DX	Vibr 1 EX	Vibr 1 COV	Vibr 2 DX	Vibr 2 EX	Vibr 2 COV	.	Vibr 4 COV	Vibr 5 DX	Vibr 5 EX	Vibr 5 COV	Vibr 6 DX	Vibr 6 EX	Vibr 6 COV
Обучаю щая	1	a8	15	3	B	14	-24	B	.	G	12	-1	A	9	-1	A
	2	a8	14	2	B	27	-24	D	.	G	8	-1	A	10	-1	A

3	а8	14	2	B	27	-24	D	.	G	8	-1	A	10	-1	A
4	а8	14	1	B	28	-22	E	.	F	10	1	A	9	-1	A
5	а8	13	2	B	26	-21	D	.	G	11	0	A	8	0	A
6	а8	13	0	B	16	-22	B	.	G	11	0	A	9	-2	A
7	а8	15	3	B	20	-17	C	.	G	10	-1	A	9	1	A

Продолжение табл. 2

8	а8	15	4	E	24	-23	D	.	F	11	0	A	9	-2	A	
9	а8	14	1	B	28	-20	E	.	G	10	0	A	9	1	A	
10	а8	13	3	B	27	-22	E	.	G	10	0	A	9	-1	A	
11	а8	12	1	A	22	-20	D	.	G	12	0	A	9	-2	A	
12	а8	13	5	B	15	-23	B	.	G	11	1	A	8	0	A	
13	а11	20	6	C	21	-24	C	.	F	10	1	A	8	-2	A	
14	а11	13	1	B	19	-18	C	.	G	11	2	A	8	3	A	
15	а11	14	4	B	15	-20	B	.	F	12	1	A	8	-1	A	
16	а11	17	6	B	22	-22	C	.	H	12	2	A	8	0	A	
17	а11	17	5	B	21	-16	C	.	G	11	1	A	8	2	A	
18	а11	24	5	D	20	-21	C	.	F	10	1	A	8	-3	A	
19	а11	16	2	B	18	-20	C	.	G	11	2	A	9	1	A	
20	а11	16	6	B	19	-24	C	.	G	10	1	A	8	-1	A	
21	а11	17	3	B	20	-15	C	.	H	13	1	A	8	1	A	
22	а11	19	3	C	18	-24	C	.	G	10	0	A	8	0	A	
23	а11	20	4	C	28	-19	E	.	G	9	2	A	8	-1	A	
24	а11	16	3	B	18	-19	C	.	F	11	1	A	9	-2	A	
Экзаменационная	25	а8	13	2	B	27	-17	D	.	G	13	-1	B	11	-2	A
	26	а8	14	3	B	37	-20	F	.	F	10	-1	A	8	2	A

27	a8	12	3	A	29	-24	E	.	G	11	1	A	9	-1	A
28	a8	12	1	A	27	-20	E	.	G	11	-1	A	11	1	A
29	a8	17	3	B	15	-21	B	.	H	11	0	A	9	-1	A
20	a8	14	1	B	21	-16	C	.	H	14	0	B	10	1	A
31	a8	16	3	B	24	-22	D	.	G	9	0	A	9	0	A
32	a8	15	0	B	33	-23	F	.	H	10	1	A	9	-1	A
33	a8	14	4	B	25	-18	D	.	H	10	1	A	8	0	A
34	a8	14	1	B	18	-21	C	.	G	10	0	A	10	0	A
35	a8	16	2	B	18	-19	C	.	G	11	0	A	8	2	A
36	a8	15	3	B	27	-20	D	.	G	10	0	A	9	-2	A
37	a11	17	2	B	17	-21	B	.	G	12	1	A	9	0	A
38	a11	14	4	B	21	-18	C	.	G	13	1	A	7	2	A
39	a11	19	4	C	16	-22	B	.	G	12	0	A	9	-2	A
40	a11	20	1	C	27	-15	D	.	G	12	2	A	9	4	A
41	a11	21	3	C	17	-23	C	.	G	10	2	A	7	-2	A
42	a11	18	-1	C	18	-18	C	.	G	11	0	A	8	0	A
43	a11	13	5	B	20	-18	C	.	G	12	1	A	8	1	A
44	a11	17	4	B	22	-21	D	.	G	13	1	A	7	-1	A
45	a11	17	5	C	24	-17	D	.	G	10	3	A	8	2	A
46	a11	23	5	D	14	-24	B	.	G	11	0	A	8	-4	A
47	a11	17	1	B	17	-17	B	.	G	11	3	A	8	2	A
48	a11	15	6	B	16	-20	B	.	G	11	1	A	9	-2	A

После формирования таблицы признаков (табл. 2) последовательно выполняются этапы связанные с построением и обучением РПС, а именно:

1. Построение РПС по описаниям объектов, представленных в таблице 1. В результате строится сеть.

2. Обучение РПС. В результате в построенной сети выделяются контрольные вершины понятий, определяющие в совокупности понятия, соответствующие нагрузкам **a8** и **a11**.
3. Описание выделенных понятий логическими выражениями. В результате строятся логические выражения, описывающие выделенные классы.

Понятие, соответствующее нагрузке **a8**:

$Kov\ 3\_B \ \& \ Kov\ 5\_A \ \& \ Kov\ 6\_A \ \& \ \sim\{Vibr\ 2\ sr\_22 \ \& \ Vibr\ 5\ disp\_12 \ \& \ Vibr\ 1\ sr\_6 \ \& \ Vibr\ 3\ disp\_25 \ \& \ Vibr\ 4\ sr\_2 \ \& \ Vibr\ 2\ disp\_22 \ \& \ Vibr\ 5\ sr\_2 \ \& \ Vibr\ 4\ disp\_49 \ \& \ Kov\ 4\_H \ \& \ Vibr\ 3\ sr\_4 \ \& \ Vibr\ 6\ sr\_0 \ \& \ Kov\ 1\_B \ \& \ Vibr\ 6\ disp\_8 \ \& \ Vibr\ 1\ disp\_17 \ \& \ Kov\ 2\_C\}$

Понятие, соответствующее нагрузке **a11**:

$Kov\ 5\_A \ \& \ Kov\ 6\_A \ \& \ \sim\{Kov\ 3\_B\} \ \vee \ Vibr\ 2\ sr\_22 \ \& \ Vibr\ 5\ disp\_12 \ \& \ Vibr\ 1\ sr\_6 \ \& \ Vibr\ 3\ disp\_25 \ \& \ Vibr\ 4\ sr\_2 \ \& \ Vibr\ 2\ disp\_22 \ \& \ Vibr\ 5\ sr\_2 \ \& \ Vibr\ 4\ disp\_49 \ \& \ Kov\ 4\_H \ \& \ Vibr\ 3\ sr\_4 \ \& \ Vibr\ 6\ sr\_0 \ \& \ Kov\ 1\_B \ \& \ Vibr\ 6\ disp\_8 \ \& \ Vibr\ 1\ disp\_17 \ \& \ Kov\ 2\_C \ \& \ Kov\ 3\_B \ \& \ Kov\ 5\_A \ \& \ Kov\ 6\_A$

На основе сформированных понятий выполнена классификация объектов экзаменационной выборки (табл. 2). Классификация объектов выполняется путем вычисления значений логических выражений, определяющих понятие соответствующего класса, после подстановки 1 или 0 из описаний классифицируемых объектов на места значений признаков в логических выражениях.

Результаты классификации представлены ниже и показывают, что распознавание объектов экзаменационной выборки производится с точностью порядка 83,33 - 100%.

- Объект 1 (13 a8) не отнесен к какому-либо классу, принадлежит - a8
- Объект 2 (14 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 3 (15 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 4 (16 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 5 (17 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 6 (18 a8) не отнесен к какому-либо классу, принадлежит - a8
- Объект 7 (19 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 8 (20 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 9 (21 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 10 (22 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 11 (23 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 12 (24 a8) отнесен к классу a8, принадлежит - a8
- Объект 13 (13 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 14 (14 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 15 (15 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 16 (16 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 17 (17 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 18 (18 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 19 (19 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 20 (20 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 21 (21 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 22 (22 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 23 (23 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11
- Объект 24 (24 a11) отнесен к классу a11, принадлежит - a11

Оценка результатов экзамена:

**Класс a8 :**

всего объектов - 12  
правильных - 10 [ 83,33 % ]  
неправильных - 0 [ 0,00 % ]  
неопределенных - 2 [ 16,67 % ]

**Класс a11 :**

всего объектов - 12  
правильных - 12 [ 100,00 % ]  
неправильных - 0 [ 0,00 % ]  
неопределенных - 0 [ 0,00 % ]

При помощи логических выражений, которые были получены при помощи РПС, могут решаться задачи классификации, диагностики и прогнозирования для различных предметных областей. После формирования понятий для определенного класса динамических объектов, задачи диагностики и прогнозирования сводятся к решению задачи классификации.

**Вывод**

Полученные в ходе эксперимента результаты показывают, что рассмотренный метод анализа динамических объектов, представленных временными рядами, при помощи РПС, показал высокую эффективность. Так же полученные результаты показывают, что увеличение объема обучающей выборки и увеличение числа признаков, характеризующих наблюдаемый динамический объект при решении задач распознавания и прогнозирования, приводит к улучшению точности решения задачи. При использовании этого метода достоверные результаты прогнозирования могут быть получены при использовании для описания временных рядов их статистических характеристик. Важную роль играет присущее РПС достоинство, состоящее в генерации и использовании различных сочетаний значений признаков, представленных концепторами РПС. Результаты эксперимента показывают возможность успешного решения аналитических задач, связанных с временными рядами, например, таких, как задачи прогнозирования событий во временных рядах, путем сведения их к задачам классификации.

**Література**

1. Бокс Дж., Дженкинс Л. Анализ временных рядов (в 2-х томах). - Москва: Мир, 1972.- 456с. т
2. Андреев А.В., Величко В.Ю., Гладун В.П., Иваськив Ю.Л., Чеботарь С.С. Проблемы атрибутивного анализа динамических объектов, представленных временными рядами. // Proceedings of the XII-th International Conference "Knowledge - Dialogue - Solution"(KDS'2006). - Varna, Bulgaria.-2006. - p.33 - 39.
3. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. - Москва: Энергоиздат.- 1981.
4. Закревский АД, Логика распознавания. - Минск, 1988. - 117с.
5. Святогор Л.А. К вопросу о развитии интерфейса «разработчик-заказчик». // Proceedings of the XI-th International Conference "Knowledge-Dialogue- Solution"(KDS'2005).- Varna, Buigaria.-2005.- pp.371-374 vol.2.
6. Gladun V., Intelligent systems memory structuring. // Proceedings of the X-th International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution"(KDS'2003).- Varna, Bulgaria.- 2003.-pp. 16-20.
7. Гладун В.П., Ващенко Н.Д., Величко В.Ю. Прогнозирование на основе растущих пирамидальных сетей // Программные продукты и системы.-2002.-№2.- с.22-26.



8. *Гладун В.П.* Партнерство с компьютером. - Киев: "Port-Royal", 2000. - 128с.
9. *Гладун В.П.* Планирование решений. Наукова думка, Киев, 1987. - 186с.
10. *Гладун В.П.* Растущие пирамидальные сети // Новости искусственного интеллекта.- 2004. - N. - с. 30-40.