

Раздел 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ, АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 519.873

DOI: 10.34046/aumsuomt100/22

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МОРСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.И. Чернова, кандидат технических наук, доцент

Н.В. Старжинская, кандидат технических наук, доцент

Результатом работы является математическая модель многопараметрического распознавания технического состояния сети на основе результатов ее диагностики. Показано, что существенным преимуществом предлагаемой системы управления техническим состоянием пространственно-распределенных объектов морских информационных систем является сочетание интегрированных баз данных о техническом состоянии объектов с картографической информацией, облегчающей определение положения и сокращающей сроки планирования мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту. Предложенная в работе математическая модель многопараметрического распознавания образов может быть применена для диагностики технического состояния в автоматических системах мониторинга пространственно-распределенных сетей связи с целью определения сроков проведения технического обслуживания, проведения корректировки вышедших за допустимые пределы параметров, а также предотвращения потенциально возможных отказов.

Ключевые слова: мониторинг технического состояния; эксплуатационная надежность; техническое обслуживание и ремонт; телекоммуникационная сеть.

MATHEMATICAL MODELING OF MULTI-PARAMETER DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF SPATIALLY DISTRIBUTED OBJECTS OF MARITIME INFORMATION SYSTEMS

A. Chernova, N. Starzhinskaya

The result of the work is a mathematical model of technical state multivariable recognition of the network based on the results of its diagnostics. It has been shown that a significant advantage of the proposed system of technical condition management of spatially distributed facilities of maritime information systems is the combination of integrated databases on technical condition of facilities with cartographic information, which facilitates determination of position and reduces the time for planning maintenance and repair activities. The mathematical model of multivariable pattern recognition proposed in the work can be used to diagnose the technical condition in automatic monitoring systems of spatially distributed communication networks in order to determine the terms of maintenance, to correct parameters that have exceeded the permissible limits, as well as to prevent potentially possible failures.

Key words: Monitoring of technical condition; operational reliability; maintenance and repair; telecommunications network.

Надежность и безопасность захода судна в порт в значительной степени обеспечивается широким применением береговых радиоэлектронных средств технического контроля, в частности системы управления движением судов (СУДС) [1]. Эффективное функционирование таких систем может быть обеспечено лишь в случае их высокой надежности. Поэтому вероятность работоспособного состояния такой системы должна на

несколько порядков превышать вероятность возможной аварийной ситуации на море. Это может быть достигнуто большим запасом работоспособности аппаратуры, отказоустойчивостью и обособленным периодом ее обслуживания.

В морских условиях эксплуатации аппаратура подвергается значительным дестабилизирующим внешним воздействиям, которые порождают повреждения, накапливаются со временем,

и снижают вероятность ее работоспособного состояния. Достигнув критического уровня, накопленные в результате эксплуатации повреждения приводят к отказу системы.

Для поддержания радиоэлектронного оборудования (РЭО) в работоспособном состоянии необходимо своевременно предупреждать критические состояния, после которых возможно наступление отказа. При этом меры по предотвращению отказа должны быть приняты задолго до выхода значений параметров РЭО за допустимые пределы. При появлении признаков критического состояния необходимо корректировать стратегию технической эксплуатации, а также проводить соответствующие мероприятия по техническому обслуживанию с целью своевременного предотвращения отказов РЭО. Практическая польза от модели технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования со следящей системой диагностики в том, что она позволяет прогнозировать возникновение отказа задолго до его возникновения. Система диагностики должна удовлетворять следующим требованиям:

- своевременность распознавания критического состояния системы;
- достоверность результата распознавания;
- непрерывность процесса диагностики.

Оперативно определить текущее техническое состояние и его местоположение в сети можно путем визуального отображения на электронной карте телеметрических данных о параметрах радиооборудования. На основе такой информации могут быть приняты рациональные и своевременные решения об устранении возникших или потенциальных отказов и сбоев в работе радиооборудования. Такие функции выполняет геоинформационная система (ГИС) – сочетание баз данных с электронными картами и планами, а также набором аналитических инструментов обработки данных, которая должна содержать следующие модули [2]:

- клиентская программа визуализации данных; модуль управления инцидентами;
- система мониторинга для приема и обработки телеметрической информации;
- модуль учета и инвентаризации ресурсов сети.

Наполнение базы данных ГИС мониторинга технического состояния сети может осуществляться двумя способами: вручную и автоматически (на основе данных телеметрии). На значения определяющих параметров или параметра в

ГИС устанавливаются ограничения в виде допуска. При достижении каким-либо параметром или совокупности параметров своего допускового значения или выходе за его пределы, что равносильно параметрическому отказу, на экране оператора ГИС происходит визуальное отображение базовой станции, где произошёл отказ и тип неисправности, что позволит оперативно локализовать место неисправности и сократить время на организацию технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

В работе предлагается математическая модель системы многопараметрической диагностики технического состояния пространственно-распределенных объектов морских телекоммуникационных сетей на основе статистического метода распознавания образов. Данный анализ основан на представлении результатов отдельных технических состояний оборудования точками определенного геометрического пространства с последующим выделением групп этих точек (кластеров, таксонов). Кластерный анализ позволяет выделять компактные, отделенные друг от друга группы технических состояний, предполагая «естественное» разбиение множества на области скопления таких состояний, что позволяет утверждать об однородности действий при организации процесса технического обслуживания и ремонта оборудования при нахождении в технических состояниях, принадлежащих одному кластеру [3].

Для этого выделим множество технических состояний объекта

$S = \{S_i | i = \overline{1, m}\}$ и $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, n}\}$ – множество заданных (или выбранных) диагностических признаков, взаимно однозначно соответствующее множеству проверок этих признаков $\hat{\Pi} = \{\hat{\pi}_j | j = \overline{1, n}\}$, на котором все технические состояния S_i являются попарно различимыми [4].

Проведем теперь диагностику критического состояния двух береговых РЛС СУДС в сопоставлении с надежно функционирующими (S_1) системами $X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, X_3^{(1)}$ и системами $X_1^{(2)}, X_2^{(2)}, X_3^{(2)}$, в которых произошел отказ (S_2), характеристики которых приведены в таблице 1 [5].

Классификации технического состояния исследуемых объектов по приведенным признакам методом многомерного статистического распознавания образов включает в себя нормировку, взвешивание, снижение размерности, агрегирование и идентификацию.

Таблица 1–Таблица состояний объектов анализа и значения их диагностических параметров

Признаки	S ₁ (надежно функционирующие системы)			S ₂ (системы, в которых произошел отказ)			Исследуемые системы (РЭС СУДС)	
	X ₁ ⁽¹⁾	X ₂ ⁽¹⁾	X ₃ ⁽¹⁾	X ₁ ⁽²⁾	X ₂ ⁽²⁾	X ₃ ⁽²⁾	$\bar{X}1$	$\bar{X}2$
Рабочая частота, ГГц	9.4	9.41	9.5	8.183	9.388	9.014	9.896	9.4
Мощность излучения, кВт	25	25.5	24.6	21.765	17.584	25.101	20.823	25
Скорость вращения антенны, об/мин	20	20.3	20.4	20.6	21.093	22.025	21.4	21
Минимальная чувствительность, дБ	-110	-111	-112	-100	-93	-79	-95.7	-110
Длительность зондирующих импульсов, мкс	0.25	0.264	0.27	0.239	0.167	0.272	0.502	0.3
Частота следования радиоимпульсов, Гц	600	800	750	635	741	883	1055	1100
Коэффициент усиления антенны	36	35	36	32.4	29.829	36.941	31.66	38
Ширина ДН в горизонтальной плоскости	0.4	0.39	0.42	0.42	0.404	0.44	0.441	0.32
Ширина ДН в вертикальной плоскости	20	21	20.8	21.7	20.507	22.8	22.876	22

Нормировка диагностических параметров по дисперсиям и математическим ожиданиям выполняется по формуле:

$$\widehat{\pi}_{i,j} = \frac{\pi_{i,j} - \bar{\pi}_j}{\sqrt{\text{var}(\pi_j)}} \quad \forall j \in (1 \dots m), i \in (1 \dots n), \quad (1)$$

где $\bar{\pi}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \pi_{i,j}$ – оценка математического ожидания j -го показателя;

$\text{var}(\pi_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\pi_{i,j} - \bar{\pi}_j)^2$ – оценка дисперсии j -го показателя.

Если для системы диагностических параметров на базе экспертных оценок вектором w заданы веса, то пересчет значений параметров в средневзвешенные значения осуществляется по формуле:

$$\bar{\pi}_{i,j} = w_j \pi_{i,j} \quad \forall j \in (1 \dots m), i \in (1 \dots n). \quad (2)$$

На рис. 1 приведена программа диагностики технического состояния радиоэлектронной системы (РЭС) методом суммирования значений предварительно нормированных и взвешенных параметров диагностики, составленная с помощью математического редактора MathCAD. В представленной программе X1, X2, X – значения диагностических параметров объектов анализа (X1 – надежно функционирующих систем, X2 – систем, в которых произошел параметрический отказ, X – исследуемых систем).

В этом методе в качестве целевой функции применяют внутригрупповую сумму квадратов отклонений, которая есть ни что иное, как сумма квадратов расстояний между каждой точкой (объектом диагностики или его техническим состоянием) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению целевой функции, т.е. внутригрупповой

суммы квадратов. Этот метод классификации направлен на отнесение исследуемых объектов X к близкорасположенным заранее определенным кластерам технических состояний. Обучение классификатора осуществляется на основе заданного конечного множества или выборки объектов X1 и X2, для которых известно, к каким классам технических состояний они относятся (рис. 2).

Проведем сравнение полученных результатов классификации технического состояния объектов диагностики с агрегированием состояний путем расчета расстояний по совокупности признаков в многомерном признаковом пространстве до наилучшей системы. В этом случае, в качестве эталонного объекта выберем систему, полностью удовлетворяющую требованиям эксплуатационной документации.

Применение евклидова расстояния теоретически обосновано в этом случае, поскольку соблюдается условие нормального распределения признаков, независимости признаков и равенства дисперсий признаков. Требование того, что рассматриваемые признаки не должны коррелировать между собой, означает, что описательные шкалы, рассматриваемые как оси пространства, должны быть ортонормированы, т.к. в противном случае применение евклидова расстояния и большинства других метрик (кроме расстояния Махалобиса) теоретически необоснованно и некорректно. Евклидово расстояние рассчитывается по формуле [6]:

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{g=1}^M (x_i^g - x_j^g)^2}. \quad (3)$$

```

ORIGIN = 1
X1 :=
( 9.4  9.41  9.5
  25  25.5  24.6
  20  20.3  20.4
 -110 -111 -112
  0.25 0.264 0.27
  600  800  750
  36   35   36
  0.4  0.39 0.42
  20   21  20.8 )
X2 :=
( 8.183  9.388  9.014
  21.765 17.584 25.101
  20.6   21.093 22.025
 -100   -93   -79
  0.239  0.167  0.272
  635    741    883
  32.4  29.829 36.941
  0.42  0.404  0.44
  21.7   20.507 22.8 )
X :=
( 9.896  9.4
  20.823 25
  21.4   21
 -95.7  -110
  0.502  0.3
  1055  1100
  31.66  38
  0.441  0.32
  22.876 22 )

R1 :=
n ← 9
m ← 8
Z ← augment(X1, X2, X)ᵀ
for j ∈ 1..n
    d_j ←
        ( ∑_{i=1}^m ( Z_{i,j} - (∑ Z_{i,j})/m )² )
          / m
    for i ∈ 1..m
        Z_{n+1,i,j} ←
            ( Z_{i,j} - (∑ Z_{i,j})/m )
              / √d_j
v ← (0.9 0.8 0.7 0.8 0.7 0.8 0.8 0.9 0.7)
for i ∈ 1..m
    R1_i ←
        ( ∑_{j=1}^n ( v_{1,j} Z_{n+1,i,j} ) )
          / n
R1
    
```

Рисунок1 –Программа диагностики технического состояния РЭС методом взвешенной суммы

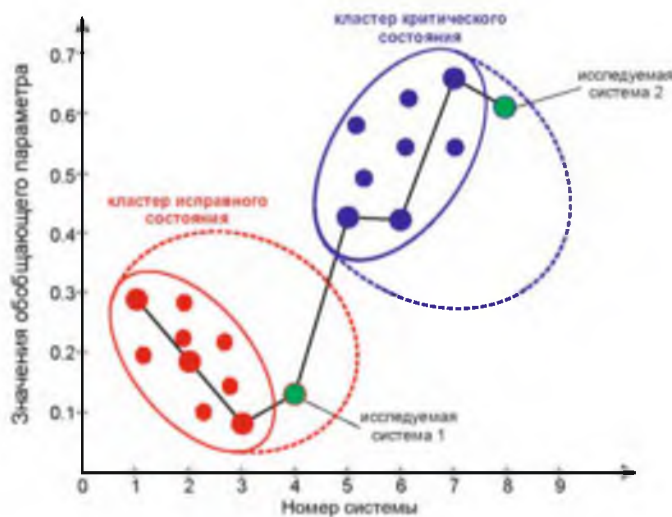


Рисунок 2 – Линейный график кластеров

На рис. 3 приведена программа классификации технического состояния РЭС методом расчета евклидова расстояния предварительно нормированных и взвешенных параметров диагностики, составленная с помощью математического редактора MathCAD.

Полученные выше результаты, приведенные на рис. 2 и рис. 4, показывают, что первая исследуемая береговая РЛС СУДС находится в работоспособном техническом состоянии, а вторая исследуемая РЛС частично или полностью израсходовала свой ресурс. Соотношение визуального

отображения объектов телеметрии на карте геоинформационной системы с результатами распознавания их технического состояния позволяет

оперативно принимать решения по техническому обслуживанию и ремонту элементов распределенной сети радиоэлектронного оборудования.

```

R2 :=
n ← 9
m ← 8
Z ← augment(X1, X2, X)ᵀ
for j ∈ 1..n
  for i ∈ 1..m
    Zni,j ← (Zi,j - Z1,j)²
v ← (0.9 0.8 0.7 0.8 0.7 0.8 0.8 0.9 0.7)
for i ∈ 1..m
  R2i ← √ ∑j=1n (vi,j · Zni,j)
R2
    
```

Рисунок 3 –Программа классификации технического состояния РЭС методом расчета евклидова расстояния

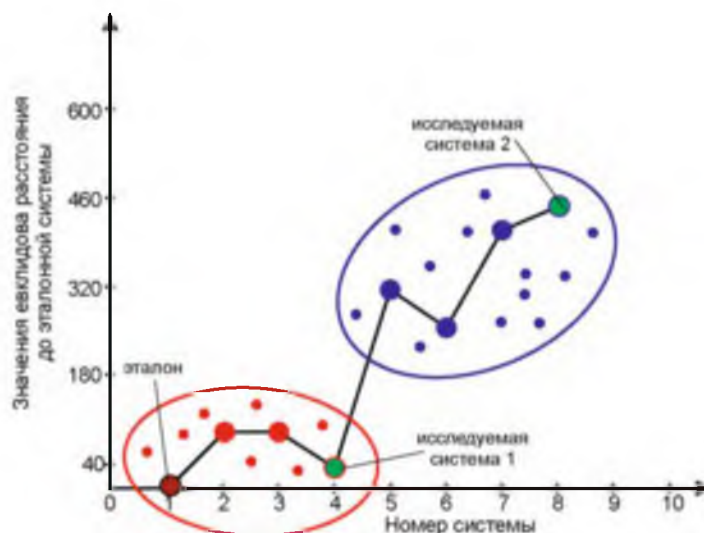


Рисунок 4 –Линейный график кластеров евклидовых расстояний технических состояний РЭС

Рассмотренную выше математическую модель многопараметрического распознавания образов можно использовать для диагностики технического состояния в автоматических системах мониторинга пространственно-распределенных сетей связи с целью определения сроков проведения технического обслуживания, проведения корректировки вышедших за допустимые пределы параметров, а также предотвращения потенциально возможных отказов.

Литература

1. Старжинская Н.В., Чернова А.И. Эксплуатационная надёжность берегового радиооборудования с учётом применения ЗИП для восстановления работоспособности. // Транспортное дело России. Морские вести России. – 2019 – № 3. – С. 129-132.

2. Сарычев Д.С. Снежко В.В. Телеметрия в геоинформационной системе электрических сетей //Вестник Томского гос. ун-та – 2006 – № 1.– С. 284-289.
3. Копкин Е. В., Кобзарев И. М. Модель объекта анализа технического состояния при использовании непрерывных нормально распределенных диагностических признаков //Системы управления, связи и безопасности.– 2018.– № 2.– С. 69-83. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-02/05-Kopkin.pdf> (дата обращения 10.03.2021).
4. Фомин Я.А. Диагностика кризисного состояния предприятия: учеб. пособие для вузов.– М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.– 349 с.
5. Маринич А.Н., Припотнюк А.В., Устинов Ю.М., Кан В.С., Безумов А.В., Сокач О.Л. Современные судовые и береговые радиолокационные станции (радары) отечественных и зарубежных фирм: монография. – Петропавловск-Камчатский: Камчат ГТУ, 2012.– 166 с.

6. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод П. П. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

References

1. Starzhinskaya N. V., Chernova A. I. Eksploatatsionnaya nadezhnost' beregovoradiooborudovaniya suchetom primeneniya ZIP dlya vosstanovleniya rabotosposobnosti Transportnoedelo Rossii. *Morskije vesti Rossii*, № 3, 2019, str. 129-132.
2. Sarychev D. S., Snezhko V. V. Telemetriya v geoinformatsionnoy sisteme elektricheskikh setey *Vestnik Tomskogo gos. un-ta*, № 1, 2006, str. 284-289.
3. Kopkin E. V., Kobzarev I. M. Model' ob"ekta analiza tekhnicheskogo sostoyaniya pri ispol'zovanii nepre-ryvnykh normal'no raspredelennykh diagnosticheskikh priznakov *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*, № 2, 2018, str. 69-83. URL: <http://scs.telgr.com/archive/2018-02/05-Kopkin.pdf> (data obrashcheniya 10.03.2021).
5. Fomin Ya. A. Diagnostika krizisnogo sostoyaniya predpriyatiya: Ucheb. posobie dlya vuzov. M.: YuNITI-DANA, 2003, 349 s.
6. Marinich A. N., Pripotnyuk A. V., Ustinov Yu. M., Kan V. S., Bezumov A. V., Sokach O. L. *Sovremennye sudovye i beregovye radiolokatsionnye stantsii (radary) otechestvennykh i zarubezhnykh firm: monografiya*. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchat GTU, 2012, 166 s.
7. Barsegyan A. A., Kupriyanov M. S., Stepanenko V. V., Kholod I. I. *Metody i modeli analiza dannykh: OLAP i Data Mining*. SPb.: BKhV-Peterburg, 2004, 336 s.

УДК 621.396.932 : 621.396.669
DOI: 10.34046/aumsuomt100/23

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

*Е.Е. Проzorovskiy, доктор технических наук, профессор
Ю.В. Редькин, кандидат технических наук, доцент*

В статье рассмотрено применение методов сглаживания телекоммуникационных сигналов, искаженных шумом при передаче по каналам радиосвязи. Промоделировано сглаживание сигналов при разных значениях отношения сигнал-шум и ширины окна сглаживания. Определена оптимальная ширина окна сглаживания и максимальный коэффициент подавления как функция уровня входного шума. Сравнение результатов показало, что наиболее эффективные методы сглаживания основаны на взвешивании отсчетов сигнала с помощью функции Гаусса и скользящего усреднения. При этом, метод скользящего усреднения более прост в реализации и использовании.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, зашумленный сигнал, цифровая фильтрация, метод сглаживания, ошибка сглаживания.

SIMULATION OF TELECOMMUNICATION SIGNAL SMOOTHING METHODS

E.E. Prozorovskiy, Y.V. Redkin

The article discusses the use of methods for smoothing telecommunication signals distorted by noise during transmission over radio communication channels. Signal smoothing is simulated for different values of the signal-to-noise ratio and the width of the smoothing window. The optimal width of the smoothing window and the maximum pressure coefficient were determined as a function of the input noise level. Comparison of the results showed that the most effective smoothing methods are based on weighting signal samples using a Gaussian function and a moving averaging. Moreover, the moving averaging method is easier to implement and use.

Key words: telecommunication system, noisy signal, digital filtering, smoothing method, smoothing error.

В настоящее время наблюдается быстрый рост объемов информации, подлежащей передаче с помощью различных систем связи. Вследствие этого имеет место интенсивное развитие беспроводных информационных сетей в том числе для связи с морскими судами.

Характерной особенностью радиоканалов, используемых в беспроводных системах обмена данными с морскими судами, является наличие разнообразного рода помех естественного (атмосферных) и искусственного (от промышленного электрооборудования) происхождения [1, 2]. Так, в зависимости от используемого диапазона волн,

источниками помех являются: атмосферные шумы, замирания, помехи от радиостанций, работающих в том же диапазоне волн, судового радио- и электрооборудования и другого оборудования, функционирующего на объектах телекоммуникационной системы. При этом, из-за поглощения и рассеивания радиоволн заметно влияние даже относительно слабых по мощности помех.

Вследствие этого, передача данных по сетям связи с морскими судами характеризуется значительными искажениями принимаемых сигналов, в частности, из-за действия на канал пере-