

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И МОДЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ СВЯЗИ⁸⁵

Ануфренко¹ А.В., Гойденко¹ В.А., Гончаренко^{2,3} В.И., Журавлева² Н.Г.

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного
Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, д.3

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65

³Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4
fvo@mai.ru

Аннотация: Предложен оригинальный методический подход к распознаванию вида аномального состояния электронных модулей программно-аппаратных комплексов связи больших интегрированных систем на основе вейвлет-преобразования. Разработан алгоритм формирования базы аномальных состояний интегрированных систем и комплексов связи. Проведено моделирование тепловых процессов программно-аппаратных комплексов связи с помощью систем автоматизированного проектирования.

Ключевые слова: большие интегрированные системы, программно-аппаратный комплекс связи, вейвлет-анализ.

Введение

При тепловом контроле технического состояния электронных модулей (ЭМ) программно-аппаратных комплексов связи (ПАКС) больших интегрированных систем текущее состояние будет характеризоваться матрицей размером 120x160. Так как платы находятся в разных положениях необходимо сегментировать ЭМ ПАКС в тепловых изображениях геометрическим преобразованием и стандартизировать изображения фактического соотношения сторон аффинным преобразованием. Полученные прямоугольные изображения называются *термограммами ЭМ ПАКС*. Эффективным способом сокращения признакового пространства и сжатия информации является метод вейвлет-преобразований [1].

Анализ различных подходов к решению задачи распознавания вида аномального состояния при анализе тепловых режимов ПАКС на основе вейвлет-преобразования предполагает следующие исходные положения задачи.

Исходными данными для решения задачи являются:

1. Информация о штатном тепловом поведении ПАКС (значения внутренних параметров для различных внешних условий);
2. Информация, характеризующая основные типы состояний ПАКС при анализе тепловых режимов ПАКС (допусковые интервалы в различных режимах);
3. Исследуемая измерительная информация, полученная при анализе тепловых режимов ПАКС (различные виды дефектов и отказов);
4. Частота получения температурных значений элементов ЭМ ПАКС;
5. Набор ортогональных базисных вейвлет-функций: добеши, симлеты, койфлеты [2].

Необходимо по результатам анализа теплового поведения ПАКС определить принадлежность к типу аномального состояния из библиотеки аномальных состояний. Под *аномальным состоянием* понимается отклонение от номинального режима функционирования, связанное с изменением внешних и внутренних факторов.

1 Использование вейвлет-преобразований для формирования базы состояний

Применение вейвлет-преобразования в данной работе рассматривается с позиций использования его как инструмента, с помощью которого можно получить признаковое пространство для последующего распознавания. Выбор инструмента дискретного вейвлет-преобразования (ДВП) для решения задач распознавания и классификации обусловлен универсальностью математического аппарата вейвлет-анализа, способностью его адаптироваться к форме сигнала, сходностью исследуемых сигналов с базисными функциями (вейвлетами) [0].

Выбор анализирующего вейвлета во многом определяется тем, какую информацию необходимо извлечь из сигнала. С учетом характерных особенностей различных вейвлетов во временном и в

⁸⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-29-04326офи_м.

частотном пространстве, можно выявлять в анализируемых сигналах те или иные свойства и особенности, которые незаметны при наличии сильных шумов.

При анализе любого сигнала надо, прежде всего, выбрать соответствующий базис, т. е. систему функций, которые будут играть роль «функциональных координат». Однако выбор анализирующего вейвлета не определен заранее. Его следует выбирать в соответствии с решаемой задачей. Простота оперирования с вейвлетом и представления результатов (минимизация используемых параметров) играет важную роль. Неудачный выбор конкретной формы вейвлета может привести к невозможности решения задачи или высокой погрешности, а, следовательно, к неверному определению вида технического состояния ПАКС.

Выбор типа базисной функции из числа применяемых базисов в общем случае зависит от степени адекватности функции и выборки. Количественно, степень оптимальности выбора можно определить по критерию энтропии [0].

Обычно в качестве критерия для выбора самого эффективного или лучшего базиса для данного сигнала используется критерий минимальности энтропии. Энтропия характеризует усредненность, «размазанность» сигнала. Энтропия должна обладать свойством аддитивности (объединения) по отношению к сигналам [0]. Лучший базис – это тот базис, который дает наименьшее количество энтропии.

В качестве критерия выбора оптимального базиса разложения примем критерий энтропии Шеннона, который количественно характеризует достоверность передаваемого сигнала и используется для расчета количества информации. Энтропия, определенная по формуле Шеннона, дает критерий того, сколько эффективных компонент необходимо, чтобы представить сигнал в определенном базисе [3].

2 Алгоритм формирования базы состояний

Для реализации возможности распознавания технического состояния ПАКС при выходе температурных значений за пределы допусковых интервалов создается база состояний из множества предполагаемых воздействий внешних факторов и возможных дефектов. При этом условно можно выделить аномальные состояния («предотказное» и «отказ») [4]. База аномальных состояний представляет собой множество вейвлет-коэффициентов термограмм ПАКС, полученных путем моделирования, каждая из которых соответствует аномальному состоянию или дефекту.

Любая термограмма базы состояний формируется следующим образом: в математическую модель ПАКС вносится изменение, которое соответствует дефекту или аномальному состоянию, далее получают термограмму, которая отражает это состояние. Следовательно, полученная термограмма такой измененной модели будет соответствовать состоянию ПАКС, в котором имеется именно этот дефект, именно в этом элементе. После чего производится вейвлет-преобразование и полученные вейвлет-коэффициенты сохраняются. Таким способом получают вейвлет-коэффициенты для всех дефектов, свойственных данному ПАКС. Моделирование тепловых процессов ПАКС выполняют с помощью систем автоматизированного проектирования, подавая на вход модель ПАКС, а на выходе, получая термограмму или значения температур элементов. Затем производят вейвлет-преобразование полученной термограммы для сохранения вейвлет-коэффициентов.

Шаг 1. Начало работы.

Шаг 2. Учитывая условия эксплуатации и воздействие внешних факторов составляют список параметров для различных состояний.

Шаг 3. На основе статистики отказов определяют параметры для состояний с различными видами дефектов.

Шаг 4. На основе сформированных параметров проводится моделирование термограмм состояний ПАКС.

Шаг 5. Вейвлет-преобразование смоделированной термограммы технического состояния, сокращения признаков пространства.

Шаг 6. Полученные вейвлет коэффициенты для смоделированного аномального состояния сохраняются в базу состояний.

Шаг 7. Если все данные согласно списка аномальных состояний и дефектов сохранены, то переход к шагу 8.

Шаг 8. Вывод информации о том, что моделирование аномальных состояний завершено.

Таким образом, перебирая список аномальных состояний (*шаг 4-7*), свойственных данному ПАКС получают множество вейвлет-коэффициентов для каждого состояния [5-7]. Элемент списка

состояний (1) q_j^F состоит из: а) порядкового номера элемента в ПАКС, б) какие, параметры отражают дефект и как их необходимо изменить.

$$Q^F = (q_1^F \dots q_j^F \dots q_n^F), \quad (1)$$

где Q^F – множество дефектов контролируемого ПАКС (список дефектов), q_j^F – определенный

дефект заданного элемента ПАКС.

В результате получается множество вейвлет-коэффициентов термограмм $C(R_M)$ ПАКС (2), каждые из которых соответствует одному из аномальных состояний

$$C(R_M) = (C(R_M^1), \dots, C(R_M^n), C(R_M^{\text{норм}})), \quad (2)$$

$C(R_M^n)$ – вейвлет-коэффициенты термограммы полученные при моделировании тепловых процессов ПАКС, которые соответствует аномальному состоянию с параметрами q_j^F .

При использовании базы состояний для распознавания состояния ПАКС вейвлет-коэффициенты из базы состояний сравниваются с вейвлет-коэффициентами полученной термограммы ПАКС в текущий момент.

В общем случае базу состояний ПАКС получают путем экспериментальных исследований (путем проведения производственных испытаний объекта контроля (опытного образца изделия) экспериментальным путем) на заводе-изготовителе. Выбирается один образец с самыми близкими показателями к идеальному или несколько образцов. Далее в образец вносят дефект из списка дефектов Q^F (1) и проводят измерение температур в стационарном режиме.

Устраняют дефект, приводя образец в первоначальное состояние, далее, проводят то же самое с другими дефектами из Q^F (1) и т.д. В результате получают (3), но не моделированных температур, а экспериментальных. Такое получение базы состояний очень трудоемко. Поэтому, предложенный метод с использованием моделирования и вейвлет-преобразований выгоден, учитывая тот факт, что современные ЭВМ легко справляются с задачей моделирования и расчета вейвлет-коэффициентов.

$$T_M = (T_M^1, \dots, T_M^n, T_M^{\text{норм}}), \quad (3)$$

где T_M^n – состоит из n множеств. Каждому j -ому множеству $T_M^{\hat{c}j}$ соответствует производственный дефект q_j^F , где $j = 1, n + 1$.

$$T_M^j = (T_{M1}^j, T_{M2}^j, \dots, T_{Mk}^j),$$

где T_{M2}^j – значение температуры на элементе №2, полученное из моделированной термограммы R_M^j , соответствующей j -ому дефекту списка (1).

$$T_{\text{И}}(t) = (T_1(t), T_2(t), \dots, T_k(t)).$$

где $T_{\text{И}}(t)$ – множество измеренных температур контролируемых ЭРИ ЭМ ПАКС, $T_2(t)$ – значение температуры ПАКС на элементе №2.

Литература

1. Сулейманов С.П., Долматов А.В., Увайсов С.У. Характерные дефекты печатных узлов, приводящие к нарушению тепловых режимов комплектующих элементов // Информационные технологии в проектировании, производстве и образовании: сб. тр. Российской научно-технической конференции. – Ковров: КГТА, 2002. С. 84-90.
2. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: ВУС, 1999. – 274 с.
3. Гончаренко В.И., Кучерявенко Д.С., Гойденко В.К., Скорик Н.А. Распознавание типа аварийной ситуации при испытании беспилотного космического аппарата на основе использования вейвлет-преобразования // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 1. С. 39-48.
4. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. – М.: Стандартинформ, 2007. 22 с.
5. Долматов А.В., Сулейманов С.П., Увайсов С.У., Алкадарский С.У. Программно-методический инструментальный мониторинга производственных дефектов радиотехнических устройств // Надежность и качество: труды Международного симпозиума. – 2005. – Т. 1. – С. 335-336.

6. Будко П.А., Винограденко А.М., Гойденко В.К. Методика теплового диагностирования и контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования // Научные исследования в космических исследованиях земли. 2019. Т. 11. № 1. С. 12-20.
7. Шалумов А.С. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.