



УДК 681.518.5

© В. В. Киселев, С. В. Шалобанов, С. С. Шалобанов, 2012

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА НЕИСПРАВНОГО БЛОКА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Киселев В. В. – магистрант кафедры «Автоматика и системотехника», инженер УНИР, e-mail: kv12@mail.ru; *Шалобанов С. В.* – д-р техн. наук, проф., проректор по учебной работе, e-mail: shalobanov@mail.ru; *Шалобанов С. С.* – асп. кафедры «Автоматика и системотехника», преп. кафедры «Электротехника и электроника», e-mail: shalobanov_ne@mail.ru (ТОГУ)

Рассматривается метод поиска дефектов в непрерывной динамической системе с глубиной до динамического блока на основе пробных отклонений параметров модели с использованием адаптивного алгоритма. Такой подход улучшает помехоустойчивость алгоритма, особенно при диагностировании слабо различимых дефектов. Применение дифференциальной весовой функции для интегрирования сигналов позволяет использовать рабочее (функциональное) диагностирование. Приводятся результаты реализации алгоритма, показывающие его эффективность и обеспечивающие высокую различимость дефектов.

The work considers the defect search method in a continuous dynamical system with a depth to dynamical block based on trial deviations of the model parameters with the use of adaptive algorithm. This approach improves the noise immunity of the algorithm, especially in the diagnosis of barely noticeable defects. The use of differential weighting function for the integration of the signals allows one to utilize working (functional) diagnosis. The results of the algorithm implementation that show its effectiveness and provide high distinction of the defects are given.

Ключевые слова: объект диагностирования, пробные отклонения параметров модели, дифференциальная весовая функция, адаптивный алгоритм, нормированный диагностический признак, различимость дефектов.

Введение

В качестве объекта диагностирования (ОД) рассматривается непрерывный линейный динамический объект, состоящий из динамических элементов (ДЭ), номинальные операторы которых $W_{ol}, \dots, W_{on}$ известны [1].

Одиночный структурный дефект определим, как такое изменение технического состояния ОД, которое приводит к произвольному изменению ΔW_i всего оператора W_i одного из динамических элементов.

Синтезируем адаптивный алгоритм поиска дефектов с использованием дифференциальной весовой функции и псевдослучайного входного сигнала.

Алгоритм поиска дефектов

Для получения диагностических признаков динамических элементов будем использовать интегральные оценки на временном интервале T_k в k контрольных точках:

$$F_j(d) = \int_0^{T_k} f_j(t) \cdot \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \left| \frac{d}{dt}(f_l(t)) \right| dt, \quad j = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Весовая функция в формуле (1) в виде среднего значения модулей производных сигналов в контрольных точках несет информацию о важности момента времени с точки зрения скорости изменения сигналов во всех контрольных точках. Чем больше средняя скорость изменения сигналов, тем с большим весом интегрируется выходной сигнал.

Определим отклонения интегральных оценок сигналов модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков $\Delta P_{ji}(d) = P_{ji}(d) - F_{j \text{ ном}}(d)$, $j = 1, \dots, k$; $i = 1, \dots, m$, найдем нормированные значения отклонений интегральных оценок сигналов модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков [2]:

$$\Delta \mathcal{E}_{ji}(d) = \frac{\Delta P_{ji}(d)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta P_{ri}^2(d)}},$$

определим отклонения интегральных оценок сигналов контролируемой системы для k контрольных точек $\Delta F_j(d) = F_j(d) - F_{j \text{ ном}}(d)$, $j = 1, \dots, k$ и нормированные значения отклонений интегральных оценок сигналов контролируемой системы [2]:

$$\Delta \mathcal{E}_j(d) = \frac{\Delta F_j(d)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta F_r^2(d)}},$$

диагностические признаки наличия блочных дефектов вычислим по формуле [2]:



$$J_i = 1 - \left[\sum_{j=1}^k \Delta \mathbf{e}_{ji}(d) \cdot \Delta \mathbf{e}_j(d) \right]^2, \quad i = 1, \dots, m \quad (2)$$

По минимуму значения диагностического признака определим неисправный блок.

Сущность предлагаемого способа заключается в следующем.

Способ основан на использовании пробных отклонений параметров модели непрерывной динамической системы.

Используя векторную интерпретацию выражения (2), запишем его в следующем виде:

$$J_i = 1 - \cos^2 \varphi_i(d) = \sin^2 \varphi_i(d), \quad i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где: $\varphi_i(d)$ – угол между нормированным вектором (вектором единичной длины) отклонений интегральных оценок сигналов объекта с элементами $\Delta \mathbf{e}_j(d)$ и нормированным вектором (единичной длины) отклонений интегральных оценок сигналов модели с элементами $\Delta \mathbf{e}_{ji}(d)$, полученными в результате пробного отклонения параметра i -го блока.

Таким образом, нормированный диагностический признак (2) представляет собой значение квадрата синуса угла, образованного в k -мерном пространстве (где k – число контрольных точек) нормированными векторами пробных отклонений интегральных оценок сигналов модели и реальной деформации интегральных оценок сигналов объекта диагностирования.

Пробное отклонение параметра блока, минимизирующее значение диагностического признака (2), указывает на наличие дефекта в этом блоке. Область возможных значений диагностического признака лежит в интервале $[0, 1]$.

Таким образом, предлагаемый способ поиска неисправного блока сводится к выполнению следующих операций [3]:

1. В качестве динамической системы рассматривают систему, состоящую из произвольно соединенных m динамических элементов.

2. Предварительно определяют время контроля $T_K \geq T_{ПП}$, где $T_{ПП}$ – время переходного процесса системы. Время переходного процесса оценивают для номинальных значений параметров динамической системы.

3. Фиксируют число контрольных точек k .

4. Одновременно подают тестовый сигнал $x(t)$ (единичный ступенчатый) или рабочий сигнал на вход системы управления с номинальными параметрами на вход контролируемой системы, на входы m моделей с номинальными параметрами, в каждую из которых введены пробные отклонения параметров одного блока так, что в i -ую систему введены пробные отклонения в i -й блок.

5. Одновременно регистрируют реакцию системы с номинальными ха-

раактеристиками $f_{j \text{ ном}}(t)$, реакцию контролируемой системы $f_j(t)$, реакции моделей с пробными отклонениями в i -ом блоке $P_{ji}(t)$ в k контрольных точках $j = 1, 2, \dots, k$ на интервале $t \in [0, T_K]$.

6. Одновременно определяют интегральные оценки выходных сигналов $F_{j \text{ ном}}(d)$, $j = 1, \dots, k$ системы с номинальными характеристиками, контролируемой системы $F_j(d)$, $j = 1, \dots, k$, моделей с пробными отклонениями в i -ом блоке $P_{ji}(d)$, $j = 1, \dots, k$; $i = 1, \dots, m$. Для этого в момент подачи входного сигнала одновременно начинают интегрирование сигналов в каждой из k контрольных точек системы с номинальными характеристиками контролируемой системы, моделей с пробными отклонениями параметров блоков с весовой функцией, равной среднему арифметическому значению модулей производных сигналов в контрольных точках, где усреднение производится по числу контрольных точек, для чего выходные сигналы каждой системы подают на первые входы k блоков перемножения, на вторые входы блоков перемножения подают среднее арифметическое значение модулей производных сигналов системы в контрольных точках, где усреднение производится по числу контрольных точек выходных сигналов системы, выходные сигналы k блоков перемножения подают на входы k блоков интегрирования, интегрирование завершают в момент времени T_K , полученные в результате интегрирования оценки выходных сигналов $F_{j \text{ ном}}(d)$, $j = 1, \dots, k$, $F_j(d)$, $j = 1, \dots, k$, $P_{ji}(d)$, $j = 1, \dots, k$; $i = 1, \dots, m$ регистрируют.

7. Определяют отклонения интегральных оценок сигналов модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков:

$$\Delta P_{ji}(d) = P_{ji}(d) - F_{j \text{ ном}}(d), j = 1, \dots, k; i = 1, \dots, m.$$

8. Определяют нормированные значения отклонений интегральных оценок сигналов модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков по формуле:

$$\Delta \mathcal{P}_{ji}(d) = \frac{\Delta P_{ji}(d)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta P_{ri}^2(d)}}, j = 1, \dots, k; i = 1, \dots, m.$$

9. Определяют отклонения интегральных оценок сигналов контролируемой системы для k контрольных точек от номинальных значений



$$\Delta F_j(d) = F_j(d) - F_{j \text{ ном}}(d), j = 1, \dots, k.$$

10. Вычисляют нормированные значения отклонений интегральных оценок сигналов контролируемой системы по формуле:

$$\Delta F_j(d) = \frac{\Delta F_j(d)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta F_r^2(d)}}, j = 1, \dots, k.$$

11. Вычисляют диагностические признаки наличия неисправного блока по формуле (2).

По минимуму значения диагностического признака определяют дефектный блок.

Для повышения достоверности диагностирования желательно увеличить расстояния между диагностическими признаками. При прочих равных условиях это позволяет повысить помехозащищенность алгоритма диагностирования. Увеличить расстояние между диагностическими признаками можно путем целенаправленного отбора диагностической информации в процессе формирования диагностических признаков. Для этих целей предлагается адаптивный алгоритм поиска одиночных дефектов, функциональная схема которого приведена на рис. 1.

Здесь: V – входной сигнал; ОД – объект диагностирования; ДМ – диагностическая модель; Pi – модель с пробным отклонением; $Sign$ – блок формирования признаков; Key – ключевая схема с двумя управляющими сигналами H и G ; H – норма отклонения временных характеристик на заданном множестве контрольных точек; G – минимальное из выбранных мгновенных значений различимости пар дефектов; Ji – вектор значений диагностических признаков.

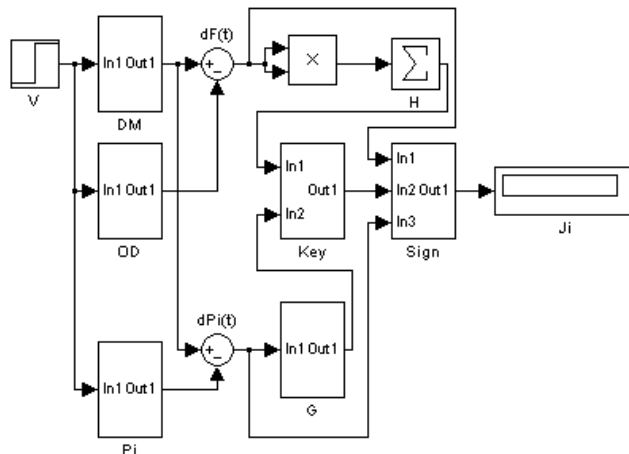


Рис. 1. Функциональная схема устройства поиска дефектов с использованием модифицированного алгоритма

Модифицированный алгоритм поиска одиночных дефектов по временным характеристикам заключается в следующем:

- на ОД, ДМ и P_i подается одинаковый входной сигнал V ;
- формируется сигнал H как норма отклонения временных характеристик на заданном множестве контрольных точек:

$$H(t) = \sum_{i=1}^k \Delta F_i^2(t);$$

- формируется сигнал G как минимальное из выбранных мгновенных значений коэффициентов различимости пар дефектов:

$$G(t) = \min \{ \varphi_{jn}(t) \};$$

- мгновенные значения отклонений номинальной модели и объекта ($dF(t)$), а также отклонений номинальной модели и моделей с пробными отклонениями ($dP_i(t)$) передаются через ключ на блок формирования признаков при условии, что H больше заданного минимума h , и G больше выбранного минимума различимости g ;

- формируется мгновенное значение диагностического признака в данный момент времени;

- после окончания времени диагностирования получаем вектор диагностических признаков J по значениям элементов которого определяется дефектный блок.

Пример применения алгоритма

Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма поиска одиночного структурного дефекта для непрерывной линейной системы, структурная схема которой представлена на рис. 2.

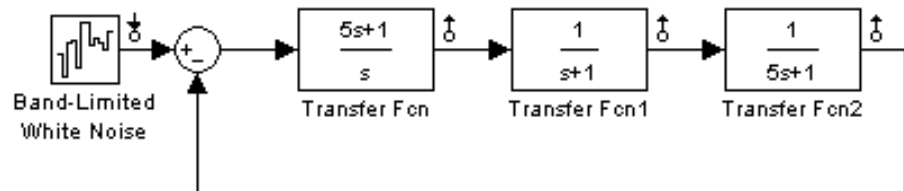


Рис. 2. Структурная схема объекта диагностирования

Передаточные функции блоков:

$$W_1 = \frac{k_1(T_1 p + 1)}{p}; \quad W_2 = \frac{k_2}{T_2 p + 1}; \quad W_3 = \frac{k_3}{T_3 p + 1},$$

где номинальные значения параметров: $T_1 = 5$ с; $K_1 = 1$; $K_2 = 1$; $T_2 = 1$ с; $K_3 = 1$; $T_3 = 5$ с.

При моделировании в качестве входного сигнала будем использовать псевдослучайный сигнал (при моделировании использовался блок Band-



Limited White Noise в среде Matlab). Время контроля выберем T_k равным 10 с.

Величину пробных отклонений параметров модели выбираем равной 10 %.

Моделирование процессов поиска дефектов в первом блоке (в виде уменьшения параметра T_1 на 20 %) приводит к вычислению диагностических признаков по формуле (2) с помощью адаптивного алгоритма и параметрами адаптации $h = 0,08$ и $g = 0,09$: $J_1 = 0,043$, $J_2 = 0,715$, $J_3 = 1$. Различимость дефекта: $\Delta J = J_3 - J_1 = 0,672$.

Моделирование процессов поиска дефектов во втором блоке (в виде уменьшения параметра T_2 на 20 %) для данного объекта диагностирования с использованием адаптивного алгоритма, параметрами адаптации $h = 0,0009$ и $g = 0,7$ и при таком же входном сигнале даЕт следующие значения диагностических признаков:

$$J_1 = 0,9998, J_2 = 0, J_3 = 0,9968.$$

Различимость дефекта $\Delta J = J_3 - J_1 = 0,9968$.

Моделирование процессов поиска дефектов в третьем блоке (в виде уменьшения параметра T_3 на 20 %) для данного объекта диагностирования при использовании адаптивного алгоритма с параметрами адаптации $h = 0,08$ и $g = 0,09$ дает следующие значения:

$$J_1 = 0,978, J_2 = 0,4872, J_3 = 0,03329.$$

Различимость дефекта: $\Delta J = J_3 - J_1 = 0,45391$.

Приведенные результаты показывают, что фактическая различимость нахождения дефектов с использованием адаптации выше, чем без использования [4], следовательно, выше будет и помехоустойчивость алгоритма.

Заключение

Применение весовой функция в формуле (1) в виде среднего значения модулей производных сигналов в контрольных точках, несущей информацию о важности момента времени с точки зрения скорости изменения сигналов во всех контрольных точках, позволяет улучшить различимость дефектов. Минимальное значение диагностического признака во всех случаях правильно указывает на дефектный блок, а адаптивный алгоритм улучшает фактическую (экспериментальную) различимость дефектов за счет выбора наиболее информативных временных интервалов, а, следовательно, увеличивает помехоустойчивость диагностирования.

Кроме того, использование дифференциальной весовой функции позволяет осуществлять диагностирование в условиях реального функционирования объекта диагностирования (рабочее диагностирование).



Библиографические ссылки

1. *Шалобанов С. В.* Поиск дефектов в динамических системах методом интегральных преобразований сигналов/ Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2005. – № 1.
2. *Воронин В. В., Шалобанов С. С.* Диагностирование непрерывных динамических систем методом пробных отклонений параметров модели // Информатика и системы управления. – 2010. – № 1(23).
3. *Воронин В. В., Киселев В. В., Шалобанов С. В., Шалобанов С. С.* Способ поиска неисправного блока в динамической системе / Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 09.12.2011 по заявке № 2011129533/08(043690).
4. *Киселев В. В., Шалобанов С. С.* Поиск неисправного блока в динамических системах класса автоматического управления с использованием дифференциальной весовой функции: Сб. науч. тр. по мат-лам междунар. научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте `2011». – Т. 6. Технические науки, менеджмент и маркетинг. – Одесса: Черноморье, 2011.