



УДК 681.518.5

© 2017 г. С.В. Шалобанов, д-р техн. наук,

С.С. Шалобанов, канд. техн. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

АЛГОРИТМ ПОИСКА ДЕФЕКТОВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕНЫ ПОЗИЦИИ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Рассматривается алгоритм поиска дефектов в непрерывной динамической системе, с глубиной до динамического блока на основе смены позиции входного сигнала с использованием бинарного диагностического признака наличия дефекта.

Ключевые слова: смена позиции входного сигнала, диагностическая модель, интегральные оценки отклонений выходных сигналов, параметр интегрирования, бинарный диагностический признак.

DOI: 10.22250/isu.2017.52.57-63

Введение

В работе рассмотрен алгоритм поиска дефектов с глубиной до динамического блока, позволяющий снизить размерность решаемой задачи и полнее учесть специфику проявления реального дефекта (изменение значений всех параметров одного блока или вида передаточной функции одного блока). Такой подход упрощает реализацию алгоритма путем уменьшения числа контрольных точек, что позволяет сократить аппаратные затраты при диагностировании сложных объектов. Применение известных алгоритмов подобного рода осложняется необходимостью определения полной модели структурной чувствительности [1, 2], либо использованием моделей с пробными отклонениями параметров [3, 4], либо необходимостью анализа знаков передач сигналов [5 – 8]. Ниже рассматривается алгоритм поиска дефектов блоков объекта диагностирования, позволяющий использовать упрощенную модель структурной чувствительности на основе смены позиции входного сигнала [9, 10].

Постановка задачи

В качестве объекта диагностирования рассматривается непрерывный динамический объект, состоящий из m динамических блоков.

Примем гипотезу о возможности появления в объекте только одиночных дефектов блоков. Под одиночными дефектами блоков будем понимать такое изменение технического состояния объекта, которое приводит к изменению передаточной функции одного блока. Синтезируем алгоритм поиска одиночных дефектов блоков с использованием интегральных оценок сигналов объекта диагностирования, бинарного диагностического признака, номинальной модели объекта и упрощенной модели чувствительности объекта при наличии смены позиции входного сигнала.

Алгоритм поиска дефектов

Алгоритм поиска дефектов с глубиной до динамического блока основан на определении интегральных оценок отклонений сигналов объекта диагностирования от сигналов номинальной модели [3 – 10]. Использование интегральных оценок отклонений сигналов позволяет перейти от обработки временных функций к анализу численных значений функционалов:

$$\begin{cases} \Delta F_j(t) = F_{oj}(t) - F_{mj}(t), \\ \Delta F_j(\alpha) = L\{\Delta F_j(t)\} = \int_0^{T_k} \Delta F_j(t) \cdot e^{-\alpha t} dt, \quad j = \overline{1, k}, \end{cases} \quad (1)$$

где j – номер контрольной точки; $F_{oj}(t)$ и $F_{mj}(t)$ – сигналы объекта и модели соответственно в j -й контрольной точке; T_k – время контроля объекта диагностирования; k – число контрольных точек; α – параметр интегрального преобразования.

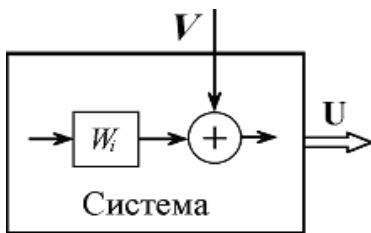


Рис. 1. Модель со сменой позиции входного сигнала.

Оценка чувствительности объекта к изменению передаточной функции i -го блока может быть получена путем перемещения входного сигнала на выход i -го блока модели (рис. 1). Такую модель назовем моделью со сменой позиции входного сигнала объекта диагностирования.

В процессе диагностирования вычисляются интегральные оценки сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала для различных блоков [9, 10]:

$$Y_{ji}(\alpha) = L\{Y_{ji}(t)\} = \int_0^{T_k} Y_{ji}(t) e^{-\alpha t} dt, \quad j = \overline{1, k}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где i – номер рассматриваемого блока; $Y_{ji}(t)$ – сигнал модели со сменой позиции

входного сигнала i -го блока для j -й контрольной точки; m – число блоков.

Выражения (1) и (2) позволяют вычислить элементы векторов ΔF и Y , размерность которых определяется количеством контрольных точек.

Определяют знаки отклонений интегральных оценок выходных сигналов контролируемой системы для k контрольных точек от номинальных значений [7, 8]:

$$F_j = \text{sign}(\Delta F_j(\alpha)), j = 1, \dots, k.$$

Определяют элементы векторов знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала для различных блоков:

$$Y_{ji} = \text{sign}(Y_{ji}(\alpha)), j = 1, \dots, k, i = 1, \dots, m.$$

Затем производят операцию парного сравнения элементов векторов знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала j -го блока Y_{ji} и знаков отклонений интегральных оценок F_j по формуле:

$$\prod_{j=1}^k \text{sign}(Y_{ji}(\alpha)) \equiv \text{sign}(\Delta F_j(\alpha)), i = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Поскольку операция \equiv есть операция эквивалентности, то выражение (3) принимает значение 1 только в том случае, когда все элементы векторов Y_{ji} , $j = 1, \dots, k$ и F_j для каждой контрольной точки попарно равны.

Затем производят операцию попарного сравнения элементов инверсии знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала i -го блока $\text{inv}(\text{sign}(Y_{ji}(\alpha)))$, $j = 1, \dots, k$; $i = 1, \dots, m$ и вектора знаков отклонений интегральных оценок $\text{sign}(\Delta F_j(\alpha))$ по формуле:

$$\prod_{j=1}^k (\text{inv}(\text{sign}(Y_{ji}(\alpha)))) \equiv \text{sign}(\Delta F_j(\alpha)), i = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Аналогично предыдущему, выражение (4) принимает значение 1 только в том случае, когда все элементы векторов $\text{inv}(\text{sign}(Y_{ji}(\alpha)))$, $j = 1, \dots, k$ и $\text{sign}(\Delta F_j(\alpha))$ для каждой контрольной точки попарно равны; затем производят вычисление бинарных диагностических признаков из соотношения [7, 8]:

$$J_i = \prod_{j=1}^k (Y_{ji} \equiv F_j) + \prod_{j=1}^k (\text{inv}(Y_{ji}) \equiv F_j), i = 1, \dots, m. \quad (5)$$

Первое слагаемое формулы (5) принимает значение 1, если знаки интегральных оценок отклонений сигналов совпадают с элементами вектора знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала, второе слагаемое формулы (5) принимает значение 1, если знаки отклонений интегральных оценок сигналов совпадают с инвертированными элемента-

ми вектора знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала. Инверсия вектора знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала учитывает возможность проявления дефекта одного и того же блока как со знаком плюс (увеличение значения параметра блока), так и со знаком минус (уменьшение значения параметра блока).

По единичному значению бинарного диагностического признака определяют структурный блок с дефектом. Диагностический признак (5) может принимать значения 0 или 1. Единичное значение признака указывает на наличие дефекта в блоке.

Поиск неисправного блока согласно предлагаемому алгоритму сводится к выполнению следующих операций:

1) в качестве динамической системы рассматривают систему, состоящую из произвольно соединенных динамических блоков, с количеством рассматриваемых блоков m ;

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) определяют параметр интегрального преобразования сигналов из соотношения $\alpha = 5/T_k$;

4) фиксируют число контрольных точек на выходах блоков k ;

5) предварительно находят интегральные оценки выходных сигналов модели с измененной позицией входного сигнала $Y_{ji}(\alpha)$ для каждой из k контрольных точек, полученные в результате перемещения позиции входного сигнала на позицию после каждого из m блоков;

6) определяют элементы векторов знаков интегральных оценок выходных сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала для различных блоков $\text{sign}(Y_{ji}(\alpha))$, полученные в результате перемещения позиции входного сигнала на позицию после соответствующих блоков m ;

7) определяют отклонения интегральных оценок выходных сигналов контролируемой системы для k контрольных точек от номинальных значений $\Delta F_j(\alpha)$;

8) вычисляют знаки отклонений интегральных оценок выходных сигналов контролируемой системы для k контрольных точек от номинальных значений $\text{sign}(\Delta F_j(\alpha))$;

9) вычисляют диагностические признаки наличия неисправного блока по формуле (5). По единичному значению диагностического признака определяют дефектный блок.

Функциональная схема устройства реализующего вычисление диагностического признака наличия дефекта с использованием смены позиции входного сигнала и бинарного диагностического признака приведена на рис. 2.

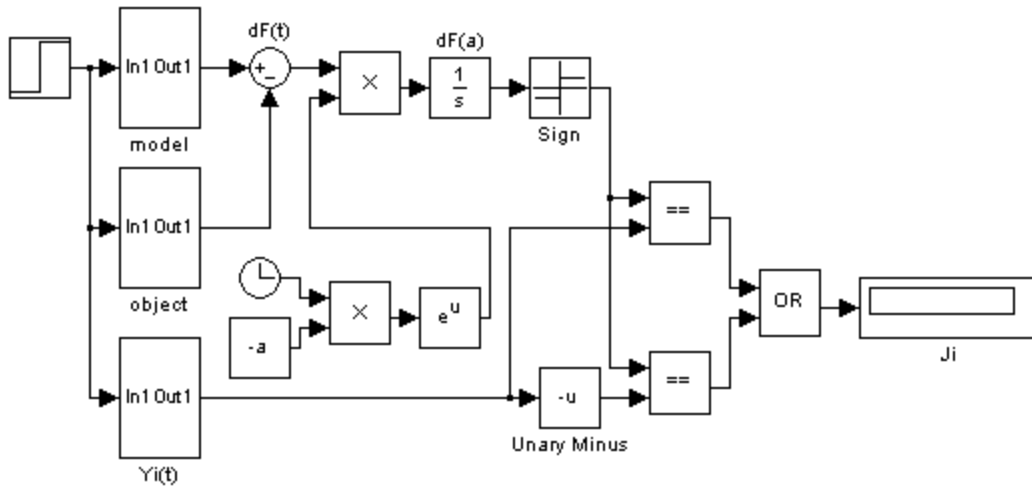


Рис. 2. Функциональная схема устройства поиска дефектов на основе смены позиции входного сигнала.

Пример использования алгоритма

Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма для диагностирования объекта, структурная схема которого представлена на рис. 3.

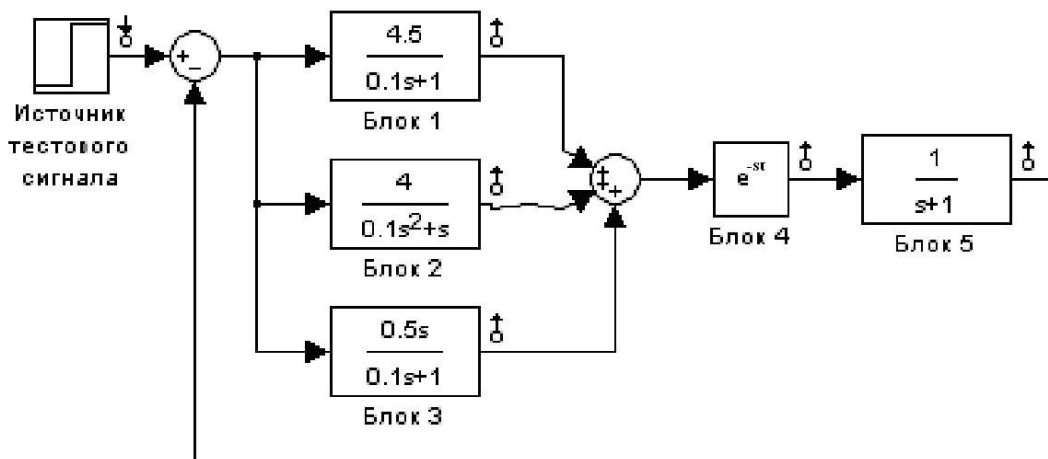


Рис. 3. Структурная схема объекта диагностирования.

Передаточные функции блоков:

$$W_1 = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; W_2 = \frac{k_2}{p(T_2 p + 1)}; W_3 = \frac{k_3 p}{T_3 p + 1}; W_4 = e^{-p\tau}; W_5 = \frac{k_5}{T_5 p + 1}$$

В системе реализован ПИД-закон регулирования (блоки № 1 – 3). Исполнительное устройство, представляющее собой электрический вентиль, объект регу-

лирования (зона трубопровода между вентилем и датчиком) и датчик давления представлены в модели динамическими элементами №4 и №5. Значения коэффициентов усиления в относительных единицах и постоянных времени: $K_1 = 4.5$; $K_2 = 4$; $K_3 = 0.5$; $\tau = 0.1$ с; $K_5 = 1$; $T_1 = T_2 = T_3 = 0.1$ с; $T_5 = 1$ с.

Объект диагностирования имеет длительность переходного процесса $T_{nn} = 8$ с. Поэтому наибольшие значения фактической различимости получены при использовании времени контроля $T_K = 10$ с. Будем использовать единичное ступенчатое входное воздействие и множество контрольных точек, которые практически возможно организовать в объекте, т.е. четыре контрольные точки на выходе первого, второго, третьего и пятого блоков.

Применение алгоритма поиска одиночного структурного дефекта в блоке № 5 (изменение технического состояния датчика, измеряющего давление газа, в виде изменения коэффициента усиления $K_5 = 0.8$) при использовании множества контрольных точек $\{1, 2, 3, 5\}$ дает следующие значения нормированных диагностических признаков:

$$J_1 = 0; J_2 = 0; J_3 = 0; J_5 = 1.$$

Моделирование процессов поиска структурных дефектов в ПИД-регуляторе данного объекта диагностирования при тех же условиях диагностирования дает следующие значения диагностических признаков.

При наличии дефекта в пропорциональном звене (блоке №1 в виде уменьшения параметра K_1 на 20%, дефект №1) алгоритм дает следующие результаты: $J_1 = 1$; $J_2 = 0$; $J_3 = 0$; $J_5 = 0$.

При наличии дефекта в интегрирующем звене (блоке №2 в виде уменьшения параметра K_2 на 20%, дефект №2) получим значения признаков: $J_1 = 0$; $J_2 = 1$; $J_3 = 0$; $J_5 = 0$.

При наличии дефекта в дифференцирующем звене (блоке №3 в виде уменьшения параметра K_3 на 20%, дефект №3) получим значения признаков: $J_1 = 0$; $J_2 = 0$; $J_3 = 1$; $J_5 = 0$.

Единичное значение диагностического признака во всех случаях правильно указывает на дефектный блок.

Моделирование поиска дефектов производилось в среде Matlab, результаты которого показывают, что дефекты на основе алгоритма смены позиции входного сигнала с использованием бинарного диагностического признака отыскиваются не хуже, чем при использовании известных алгоритмов.

Заключение

Предлагаемый алгоритм позволяет избежать применения полной модели чувствительности, которая предполагает использование двух моделей, соединен-

ных последовательно для каждого блока. Рассмотренный алгоритм дает возможность осуществлять диагностирование с использованием только одной модели [9, 10] и избежать недостатков алгоритма на основе пробных отклонений параметров модели. Преимуществом рассмотренного подхода является переход от анализа временных функций к анализу их интегральных оценок, а также уменьшение вычислительных затрат без снижения достоверности диагностирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М.* Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981.
2. *Шалобанов С.В.* Структурные методы поиска одиночных дефектов в динамических системах // Изв. вузов. Приборостроение. – 2000. – № 4. – С.7-13.
3. *Воронин В.В., Шалобанов С.С.* Диагностирование непрерывных динамических систем методом пробных отклонений параметров модели // Информатика и системы управления. – 2010. – № 1(23). – С.121-127.
4. *Пат. 2435189 РФ.* Способ поиска неисправного блока в динамической системе / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2011. – №33.
5. *Шалобанов С.В., Шалобанов С.С.* Диагностирование непрерывных динамических систем методом топологических связей // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – № 4(23). – С.75-82.
6. *Пат. 2439647 РФ.* Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2012. – №1.
7. *Шалобанов С.С.* Диагностирование непрерывных динамических систем методом логических функций // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2012. – № 3(26). – С. 85-90.
8. *Пат. 2461861 РФ.* Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе / С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2012. – №26.
9. *Шалобанов С.В., Шалобанов С.С.* Диагностирование непрерывных динамических систем с использованием смены позиции входного сигнала // Информатика и системы управления. – 2016. – №2(48). – С. 91-96.
10. *Пат. 2528135 РФ.* Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе на основе смены позиции входного сигнала / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2014. – №25.

E-mail:

Шалобанов Сергей Викторович – shalobanov@mail.ru;

Шалобанов Сергей Сергеевич – shalobanov_ne@mail.ru.