

ПОИСК СТРУКТУРНОГО ДЕФЕКТА В ДИСКРЕТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ¹

SEARCH FOR STRUCTURAL DEFECT IN DISCRETE DYNAMIC SYSTEMS BY THE METHOD OF TRIAL DEVIATIONS OF MODEL PARAMETERS²

S. Shalobanov
S. Shalobanov

Summary. An algorithm for searching for a defect in a discrete dynamic system, with a depth of up to a dynamic block, based on trial deviations of model parameters using integral estimates of signal deviations is considered.

Keywords: trial deviations of model parameters, diagnostic model, integral estimates of signal deviations, integration parameter, diagnostic feature.

Шалобанов Сергей Викторович

д.т.н, профессор, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск
shalobanov@mail.ru

Шалобанов Сергей Сергеевич

к.т.н, доцент, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск
shalobanov_ne@mail.ru

Аннотация. Рассматривается алгоритм поиска дефекта в дискретной динамической системе, с глубиной до динамического блока на основе пробных отклонений параметров модели с использованием интегральных оценок отклонений сигналов.

Ключевые слова: пробные отклонения параметров модели, диагностическая модель, интегральные оценки отклонений сигналов, параметр интегрирования, диагностический признак.

Постановка задачи

В качестве объекта диагностирования (ОД) рассматривается дискретный динамический объект, состоящий из отдельных динамических элементов (ДЭ). Под одиночным структурным дефектом будем понимать произвольное изменение передаточной функции одного ДЭ [1, 2].

Примем гипотезу о возможности появления в ОД одиночных структурных дефектов, и синтезируем алгоритм поиска дефектов с использованием интегральных оценок отклонений сигналов номинальной модели от сигналов ОД и сигналов модели при наличии пробных отклонений параметров ДЭ [3, 4].

Алгоритм поиска дефектов

Рассмотрим возможность применения алгоритма диагностирования для линейных дискретных систем с постоянным шагом дискретизации. Алгоритм поиска дефектов основан на определении интегральных оценок отклонений сигналов номинальной дискретной модели

от сигналов ОД. Для получения интегральных оценок отклонений сигналов будем использовать интегральные преобразования временных функций в области вещественных значений параметра интегрирования α , который лежит в пределах $0 \leq \alpha \leq \infty$. Применение интегральных оценок позволяет перейти от обработки временных функций к анализу численных значений функционалов:

$$\begin{cases} \Delta F_i(t) = F_{mi}(t) - F_{oi}(t), \\ \Delta F_i(\alpha) = L\{\Delta F_i(t)\} = \sum_{t=1}^N \Delta F_i(t) \cdot e^{-\alpha \cdot t \cdot T_s}; \quad i = \overline{1, k}, \end{cases} \quad (1)$$

где i — номер контрольной точки; $F_{mi}(t)$ и $F_{oi}(t)$ — сигналы модели и объекта соответственно в i -й контрольной точке; T_k — время контроля объекта диагностирования; k — число контрольных точек; α — параметр интегрирования, N — число дискретных тактов диагностирования для дискретного значения времени $t \in [1, N]$ с дискретным постоянным шагом T_s на интервале наблюдения $[0, T_k]$ (где $T_k = T_s \cdot N$).

В процессе диагностирования вычисляются интегральные оценки отклонений сигналов номинальной

¹ Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 24-21-20064, <https://rscf.ru/project/24-21-20064/> и Министерства образования и науки Хабаровского края (Соглашение № 126C/2024)

² The research was supported by RSF (project No. 24-21-20064), <https://rscf.ru/project/24-21-20064/> and the Ministry of Education and Science of Khabarovsk Krai (Agreement No. 126C/2024)

дискретной модели от сигналов модели с пробными отклонениями параметров:

$$\begin{cases} \Delta P_{ij}(t) = F_{mi}(t) - P_{ij}(t), \\ \Delta P_{ij}(\alpha) = L\{\Delta P_{ij}(t)\} = \sum_{t=1}^N \Delta P_{ij}(t) \cdot e^{-\alpha \cdot t \cdot Ts}; \\ i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (2)$$

где j — номер одиночного или кратного дефекта, $P_{ij}(t)$ — сигнал модели с пробным отклонением j -го одиночного или кратного дефекта для i -й контрольной точки, n — число всех рассматриваемых одиночных и кратных дефектов.

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

Диагностический признак наличия дефекта при использовании интегральных оценок сигналов определяется как и для непрерывных динамических систем формулой:

$$J_j = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^k \Delta P_{ij}(\alpha) \cdot \Delta F_i(\alpha) \right]}{\sum_{i=1}^k \Delta P_{ij}^2(\alpha) \cdot \sum_{i=1}^k \Delta F_i^2(\alpha)}, \quad j = \overline{1, n} \quad (3)$$

В процессе диагностирования вычисляются диагностические признаки для каждого блока системы. Минимальное значение диагностического признака указывает на дефектный блок системы. Признак (3) представлен в нормированном виде на шкале от 0 до 1.

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

1. В качестве дискретной динамической системы рассматривают систему, например, с дискретной интерполяцией нулевого порядка, с шагом дискретизации T_s , состоящую из произвольно соединённых динамических блоков, с количеством рассматриваемых одиночных дефектов блоков m .
2. Предварительно определяют время контроля $T_k \geq T_{пп}$, где $T_{пп}$ — время переходного процесса дискретной системы. Время переходного процесса оценивают для номинальных значений параметров динамической системы.
3. Определяют параметр интегрального преобразования сигналов из соотношения $\alpha = \frac{5}{T_k}$.
4. Фиксируют число контрольных точек k .
5. Предварительно определяют элементы векторы $\Delta P_{ij}(\alpha)$ отклонений интегральных оценок сигналов дискретной модели, полученных в резуль-

тате пробных отклонений параметров i -го блока и определённого выше параметра интегрального преобразования α , для чего выполняют пункты 6–9.

6. Подают тестовый сигнал $x(t)$ (единичный ступенчатый, линейно возрастающий, прямоугольный импульсный и т.д.) на вход системы управления с номинальными характеристиками. Принципиальных ограничений на вид входного тестового воздействия предлагаемый способ не предусматривает.

7. Регистрируют реакцию системы $f_{j \text{ ном}}(t)$, $j = 1, 2, \dots, k$ на интервале $t \in [1, N]$ с дискретным шагом T_s секунд на интервале наблюдения $[0, T_k]$ (где $T_k = T_s \cdot N$) в k контрольных точках и определяют дискретные интегральные оценки выходных сигналов

$$F_{j \text{ ном}}(\alpha) = \sum_{t=1}^N f_{j \text{ ном}}(t) \cdot e^{-\alpha \cdot t \cdot Ts}, \quad j = 1, \dots, k$$

системы. Для этого в момент подачи тестового сигнала на вход системы управления с номинальными характеристиками одновременно начинают дискретное интегрирование сигналов системы управления с шагом T_s секунд в каждой из k контрольных точек с дискретными весами $e^{-\alpha t T_s}$, с дискретным шагом T_s секунд, где $\alpha = \frac{5}{T_k}$, для

чего сигналы системы управления подают на первые входы k блоков перемножения, на вторые входы блоков перемножения подают дискретный экспоненциальный сигнал $e^{-\alpha t T_s}$ с шагом T_s секунд, выходные сигналы k блоков перемножения подают на входы k блоков дискретного интегрирования с шагом T_s секунд, дискретное интегрирование завершают в момент времени T_k , полученные в результате дискретного интегрирования оценки выходных сигналов $F_{j \text{ ном}}(\alpha)$, $j = 1, \dots, k$ регистрируют.

8. Определяют интегральные оценки сигналов дискретной модели для каждой из k контрольных точек, полученные в результате пробных отклонений каждого из m одиночных дефектов блоков, для чего поочерёдно для параметра каждого структурного блока дискретной динамической системы вводят пробное отклонение этого параметра дискретной передаточной функции и выполняют пункты 6 и 7 для одного и того же тестового сигнала $x(t)$. Полученные в результате дискретного интегрирования, с шагом T_s секунд, оценки выходных сигналов для каждой из k контрольных точек и каждого из m пробных отклонений

$$P_{ji}(\alpha) = \sum_{t=1}^N P_{ji}(t) \cdot e^{-\alpha \cdot t \cdot Ts}, \quad j = 1, \dots, k; \quad i = 1, \dots, m$$

регистрируют.

9. Определяют отклонения интегральных оценок сигналов дискретной модели, полученные в результате пробных отклонений параметров одного структурного блока

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

10. Замещают систему с номинальными характеристиками контролируемой. На вход системы подают аналогичный тестовый сигнал $x(t)$.
11. Определяют интегральные оценки сигналов контролируемой дискретной системы для k контрольных точек

$$F_j(\alpha) = \sum_{t=1}^N f_{j_{\text{ном}}}(t) \cdot e^{-\alpha \cdot t \cdot T_s}, j = 1, \dots, k,$$

осуществляя операции, описанные в пунктах 6 и 7 применительно к контролируемой системе.

12. Определяют отклонения интегральных оценок сигналов контролируемой дискретной системы для k контрольных точек от номинальных значений $\Delta F_j(\alpha) = F_j(\alpha) - F_{j_{\text{ном}}}(\alpha), j = 1, \dots, k$.
13. Вычисляют диагностические признаки наличия неисправного структурного блока по формуле (3).
14. По минимуму значения диагностического признака определяют дефектный блок.

Пример применения метода

Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма поиска одиночного структурного дефекта для дискретной системы, структурная схема которой представлена на рис.1.

Дискретные передаточные функции блоков:

$$H_1(z) = \frac{k_1(z - Z_1)}{z - Q_1}; H_2(z) = \frac{k_2}{z - Q_2}; H_3(z) = \frac{k_3}{z - Q_3},$$

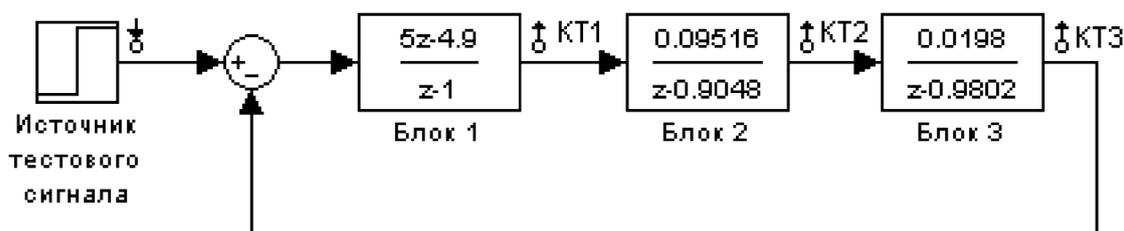


Рис.1. Структурная схема объекта диагностирования

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Шалобанов С.С. Улучшение различимости дефектов в непрерывных динамических системах путём многократного интегрирования сигналов // Информатика и системы управления. — 2010. — № 3(25). — С. 88–94.
3. Шалобанов С.С. Способ поиска неисправного блока в дискретной динамической системе. Патент на изобретение №2444774 от 10.03.2012 по заявке №2011101271/08(001575).
4. Воронин В.В., Шалобанов С.С. Способ поиска неисправного блока в дискретной динамической системе. Патент на изобретение №2486569 от 27.06.2013 по заявке №2012120459/08(030847).

номинальные значения параметров: $K_1=5; Z_1=0.98; K_2=0.09516; Q_2=0.9048; K_3=0.0198; Q_3=0.9802$. При поиске одиночного структурного дефекта в виде отклонения коэффициента усиления на 20 % ($k_1=4$) в первом звене, при подаче ступенчатого тестового входного сигнала единичной амплитуды и интегральных оценок сигналов для параметра $\alpha = 0,5$ и $T_k=10$ с, при использовании трёх контрольных точек, расположенных на выходах блоков, используя пробные отклонения величиной 10 %, получены значения диагностических признаков по формуле (3): $J_1=0; J_2=0.3587; J_3=0.1605$. Анализ значений диагностических признаков показывает, что дефект в первом структурном блоке контролируемой системы находится правильно. Следует отметить, что способ работоспособен и при больших значениях величин пробных отклонений параметров (10–40 %). Ограничением на величину пробного отклонения является необходимость сохранения устойчивости моделей с пробными отклонениями.

Моделирование процессов поиска структурного дефекта при других случаях его проявления для данного дискретного объекта диагностирования, при том же параметре интегрального преобразования α и при единичном ступенчатом входном сигнале даёт следующие значения диагностических признаков.

При наличии дефекта в блоке №2 (в виде уменьшения параметра k_2 на 20 %, дефект №2): $J_1=0.3557; J_2=0; J_3=0.6732$.

При наличии дефекта в блоке №3 (в виде уменьшения параметра k_3 на 20 %, дефект №3): $J_1=0.1652; J_2=0.668; J_3=0$.

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