

УДК 681.518.5

© 2010 г. С.С. Шалобанов

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ РАЗЛИЧИМОСТИ ДЕФЕКТОВ В НЕПРЕРЫВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рассматривается метод поиска дефектов в непрерывной динамической системе (с глубиной до динамического блока) на основе пробных отклонений параметров модели, с использованием интегральных преобразований сигналов модели и объекта, полученных для нескольких значений параметра интегрирования.

Ключевые слова: параметр интегрирования, пробные отклонения параметров модели, диагностическая модель, интегральные преобразования сигналов, различимость дефектов.

Введение

Формализация алгоритмов диагностирования некоторого объекта диагностирования (ОД) предполагает наличие формального описания этого объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях. Такое формальное описание (в векторном, графическом, табличном, аналитическом или ином представлении) будем называть диагностической моделью объекта [1]. В работе рассматривается графо-аналитическая диагностическая модель в виде структурной схемы объекта и алгоритм диагностирования, основанный на интегральных преобразованиях сигналов [2]. Рассмотрим подход, позволяющий увеличить различимость структурных дефектов путем многократного интегрирования деформаций сигналов непрерывной системы при различных параметрах интегрирования.

Постановка задачи

В качестве ОД рассматривается непрерывный динамический объект, состоящий из n динамических элементов (ДЭ).

Примем гипотезу о возможности появления в ОД только одиночных дефектов и синтезируем алгоритм поиска одиночных дефектов с использованием интегральных преобразований реакций ОД с несколькими параметрами интегрирования, номинальной модели и модели при наличии пробных отклонений параметров ДЭ.

Метод поиска дефектов

Алгоритм поиска дефектов с глубиной до динамического блока и с использованием нескольких параметров интегрирования основан на определении интегральных оценок отклонений сигналов номинальной модели от сигналов объекта диагностирования. Для получения интегральных оценок отклонений сигналов динамических элементов будем использовать интегральные преобразования временных функций в области вещественных значений для нескольких параметров интегрирования, которые лежат в интервале $0 \leq \alpha_l \leq \infty$, где l – номер параметра интегрирования. Если записать интегральные преобразования [2] для нескольких параметров интегрирования, то формула позволяет перейти от обработки временных функций к анализу численных значений нескольких функционалов:

$$\begin{cases} \Delta F_i(t) = F_{Mi}(t) - F_{oi}(t), \\ \Delta F_i(\alpha_l) = L\{\Delta F_i(t)\} = \int_0^{T_k} \Delta F_i(t) e^{-\alpha_l t} dt, \quad i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}, \end{cases} \quad (1)$$

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_l – параметр l -го интегрального преобразования, m – число интегральных преобразований.

В процессе диагностирования вычисляются также интегральные оценки отклонений сигналов номинальной модели от сигналов модели с пробными отклонениями параметров в различных блоках [2]. Если учитывать несколько параметров интегрирования, то формула примет вид:

$$\begin{cases} \Delta P_{ij}(t) = P_{Mi}(t) - P_{ij}(t), \\ \Delta P_{ij}(\alpha_l) = L\{\Delta P_{ij}(t)\} = \int_0^{T_k} \Delta P_{ij}(t) e^{-\alpha_l t} dt, \quad i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n}, l = \overline{1, m}, \end{cases} \quad (2)$$

где j – номер блока с пробным отклонением; $P_{ij}(t)$ – сигнал модели с пробными отклонениями параметров j -блока для i -контрольной точки; n – число блоков.

Выражения (1) и (2) позволяют вычислить элементы векторов ΔF и ΔP , размерность которых определяется количеством контрольных точек. Диагностический признак наличия структурного дефекта при использовании многократного интегрирования сигналов определяется формулой:

$$J_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \left\{ 1 - \frac{\left[\sum_{j=1}^k \Delta P_{ji}(\alpha_l) \cdot \Delta F_j(\alpha_l) \right]^2}{\sum_{j=1}^k \Delta P_{ji}^2(\alpha_l) \cdot \sum_{j=1}^k \Delta F_j^2(\alpha_l)} \right\}; \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Для нормированных векторов $\Delta \tilde{F}$ и $\Delta \tilde{P}$ формула (3) запишется в виде:

$$J_i = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \left\{ 1 - \left[\sum_{j=1}^k \Delta \tilde{P}_{ji}(\alpha_l) \cdot \Delta \tilde{F}_j(\alpha_l) \right]^2 \right\}, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$\Delta \tilde{F}_j(\alpha_l) = \frac{\Delta F_j(\alpha_l)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta F_r^2(\alpha_l)}}, \quad (5)$$

$$\Delta \tilde{P}_{ji}(\alpha_l) = \frac{\Delta P_{ji}(\alpha_l)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta P_{ri}^2(\alpha_l)}}, \quad (6)$$

где r – номер контрольной точки объекта диагностирования.

Диагностические признаки (3) или (4) могут принимать значения от 0 и до 1. Минимальное значение признака указывает на наличие дефекта в блоке. Блок, пробное отклонение параметров которого минимизирует значение диагностического признака (3) или (4), считается дефектным. Поиск неисправного блока согласно предлагаемому алгоритму сводится к выполнению следующих операций.

1. Фиксируют число динамических элементов ОД n .

2. Путем анализа графиков номинальных переходных характеристик определяют время переходного процесса ОД. Фиксируют время контроля $T_k \geq T_{III}$.

3. Определяют среднее значение параметра интегрирования сигналов

$$\alpha = \frac{5}{T_k}$$

и выбирают два параметра, каждый из которых отличается в q раз от среднего

$$\alpha_1 = \frac{5}{T_k \cdot q}, \quad \alpha_2 = \frac{5 \cdot q}{T_k}.$$

4. Фиксируют число контрольных точек на выходах блоков k .

5. Предварительно находят элементы векторов $\Delta P_{ji}(\alpha_l)$ деформаций интегральных преобразований динамических характеристик модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков при разных параметрах интегрирования. Величину пробных отклонений выбирают в диапазоне 10 – 20%.

6. Находят нормированные векторы $\Delta \tilde{P}_{ji}(\alpha_l)$ деформаций интегральных преобразований динамических характеристик модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков при двух параметрах интегрирования.

7. Определяют отклонения интегральных преобразований динамических характеристик контролируемой системы от номинальных значений $\Delta F_j(\alpha_l)$ для k контрольных точек и при двух параметрах интегрирования.

8. Вычисляют нормированные значения отклонений интегральных преоб-

разований динамических характеристик контролируемой системы при двух параметрах интегрирования $\Delta\tilde{F}_j(\alpha_l)$.

9. Вычисляют диагностические признаки наличия неисправного блока по формуле (4).

10. По минимуму значения диагностического признака определяют дефектный блок.

Поскольку диагностические признаки лежат в фиксированном интервале значений $[0, 1]$, различимость двух дефектов может оцениваться как разность значений соответствующих признаков. Фактическая различимость i -го дефекта определяется по формуле:

$$\Delta J_i = J_k - J_i,$$

где J_i – значение признака i -го, присутствующего в объекте дефекта; J_k – значение ближайшего к нему по величине признака.

Покажем, что данный алгоритм, использующий несколько параметров интегрирования, позволяет получить большую различимость дефектов, чем алгоритм, использующий один параметр интегрирования.

Пример

Проиллюстрируем применение описанного подхода для диагностирования объекта, структурная схема которого представлена на рис. 1.

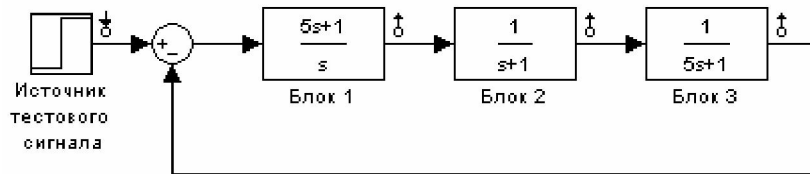


Рис. 1. Структурная схема объекта диагностирования.

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 единичное ступенчатое воздействие.

Рекомендуемый средний параметр интегрирования $\alpha = \frac{5}{T_k} = 0.5$. Выберем два параметра интегрирования, отличающихся от среднего в 5 раз: $\alpha_1 = \frac{1}{T_k} = 0.1$, $\alpha_2 = \frac{25}{T_k} = 2.5$. Предварительно находим элементы векторов $\Delta P_{ji}(\alpha_l)$ интегральных преобразований деформаций динамических характеристик модели, полученные в результате пробных отклонений параметров соответствующих блоков, для параметра интегрирования α (табл. 1), α_1 (табл. 2) и α_2 (табл. 3). Величину пробных отклонений выбираем 10%.

Таблица 1

	$\Delta P_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta P_{j1}(\alpha_l)$	0.1916	0.1278	0.03648
$\Delta P_{j2}(\alpha_l)$	0.116	-0.05802	-0.01658
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.2526	0.1683	-0.03612

Таблица 2

	$\Delta P_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta P_{j1}(\alpha_l)$	0.05654	0.05473	0.0334
$\Delta P_{j2}(\alpha_l)$	0.126	-0.01417	-0.009197
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.4485	0.4008	-0.03415

Таблица 3

	$\Delta P_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta P_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta P_{j1}(\alpha_l)$	0.1626	0.04646	0.003442
$\Delta P_{j2}(\alpha_l)$	0.01517	-0.03793	-0.00281
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.02008	0.005736	-0.003718

Находим нормированные векторы $\Delta \tilde{P}_{ji}(\alpha_l)$ интегральных преобразований деформаций динамических характеристик модели для параметра интегрирования α (табл. 4), α_1 (табл. 5) и α_2 (табл. 6).

Таблица 4

	$\Delta \tilde{P}_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta \tilde{P}_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta \tilde{P}_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta \tilde{P}_{j1}(\alpha_l)$	0.8217	0.548	0.1565
$\Delta \tilde{P}_{j2}(\alpha_l)$	0.8871	-0.4438	-0.1268
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.8264	0.5506	-0.1182

Таблица 5

	$\Delta \tilde{P}_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta \tilde{P}_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta \tilde{P}_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta \tilde{P}_{j1}(\alpha_l)$	0.6614	0.6402	0.3907
$\Delta \tilde{P}_{j2}(\alpha_l)$	0.9911	-0.1114	-0.07232
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.7444	0.6653	-0.05668

Таблица 6

	$\Delta\tilde{P}_{1i}(\alpha_l)$	$\Delta\tilde{P}_{2i}(\alpha_l)$	$\Delta\tilde{P}_{3i}(\alpha_l)$
$\Delta\tilde{P}_{j1}(\alpha_l)$	0.9613	0.2747	0.02035
$\Delta\tilde{P}_{j2}(\alpha_l)$	0.3705	-0.9263	-0.06861
$\Delta P_{j3}(\alpha_l)$	0.9466	0.2705	-0.1753

Определяем отклонения интегральных преобразований динамических характеристик контролируемой системы от номинальных значений для трех контрольных точек и нескольких параметрах интегрирования при наличии дефекта в первом блоке в виде изменения постоянной времени T_1 на 20% (табл. 7):

$$\Delta F_j(\alpha_1) = F_j(\alpha_1) - F_{j \text{ ном}}(\alpha_1), j = 1, 2, 3.$$

Таблица 7

	$\Delta F_1(\alpha_l)$	$\Delta F_2(\alpha_l)$	$\Delta F_3(\alpha_l)$
α	0.4003	0.2669	0.07618
α_1	0.1214	0.1113	0.0658
α_2	0.3284	0.09383	0.00695

Вычисляем нормированные значения отклонений интегральных преобразований динамических характеристик контролируемой системы при нескольких параметрах интегрирования (табл. 8):

Таблица 8

	$\Delta\hat{F}_1(\alpha_l)$	$\Delta\hat{F}_2(\alpha_l)$	$\Delta\hat{F}_3(\alpha_l)$
α	0.8218	0.5479	0.1564
α_1	0.6844	0.6277	0.3709
α_2	0.9613	0.2747	0.02035

Вычисляем диагностические признаки при двух параметрах интегрирования ($\alpha_1 = 0.1$ и $\alpha_2 = 2.5$) по формуле (4): $J_1 = 0.0005$, $J_2 = 0.8258$, $J_3 = 0.1086$. Различимость дефекта $\Delta J = J_3 - J_1 = 0.108$. Для сравнения вычисляем диагностические признаки наличия неисправного блока при одном параметре интегрирования $\alpha = 0.5$: $J_1 = 0$, $J_2 = 0.7828$, $J_3 = 0.07399$. Различимость дефекта $\Delta J = J_3 - J_1 = 0.07399$.

Приведенные результаты показывают, что фактическая различимость при многократном интегрировании выше, чем при однократном.

Моделирование процессов поиска дефектов во втором блоке (в виде уменьшения параметра T_2 на 20%) для данного объекта диагностирования при тех же параметрах α и при таком же входном сигнале дает следующие значения диагностических признаков.

Вычисляем диагностические признаки при двух параметрах интегрирования ($\alpha_1 = 0.1$ и $\alpha_2 = 2.5$) по формуле (4): $J_1 = 0.8372$, $J_2 = 0$, $J_3 = 0.7669$. Различимость дефекта $\Delta J = J_3 - J_2 = 0.7669$.

Для сравнения вычислим диагностические признаки наличия неисправного блока при одном параметре интегрирования $\alpha = 0.5$: $J_1 = 0.7828$, $J_2 = 0$, $J_3 = 0.7462$. Различимость дефекта $\Delta J = J_3 - J_2 = 0.7462$.

Моделирование процессов поиска дефектов в третьем блоке (в виде уменьшения параметра T_3 на 20%) для данного объекта диагностирования при тех же состояниях дает следующие значения.

Вычисляем диагностические признаки при двух параметрах интегрирования ($\alpha_1 = 0.1$ и $\alpha_2 = 2.5$) по формуле (4): $J_1 = 0.1177$, $J_2 = 0.7709$, $J_3 = 0$. Различимость дефекта $\Delta J = J_1 - J_3 = 0.1177$.

Для сравнения вычисляем диагностические признаки наличия неисправного блока при одном параметре интегрирования $\alpha = 0.5$: $J_1 = 0.07403$, $J_2 = 0.7463$, $J_3 = 0$. Различимость дефекта $\Delta J = J_1 - J_3 = 0.07403$.

Минимальное значение диагностического признака во всех случаях правильно указывает на дефектный блок, а многократное интегрирование улучшает фактическую различимость дефектов.

Производилось моделирование поиска дефектов в среде Matlab для различных значений параметра интегрирования. Наилучшие результаты получены для значений α , лежащих в окрестности величины $5/T_k$.

Заключение

Нормированные диагностические признаки позволяют сравнивать результаты поиска дефектов в различных режимах и количественно определять фактическую различимость дефектов. Предложенный алгоритм поиска дефектов дает возможность улучшить различимость дефектов по сравнению с алгоритмом, использующим один параметр интегрирования. Различимость дефекта при $l=2$ (при двух параметрах интегрирования) на 2 – 4.5% лучше, чем при одном параметре интегрирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владковский А.В., Шалобанов С.С., Шалобанов С.В. Диагностирование непрерывных динамических систем методом пробных отклонений параметров модели // Информационные и управляющие системы: Сб. науч. тр. – Хабаровск, 2008. – С. 62-67.
2. 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.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.

E-mail:

Шалобанов С.С. – shalobanov_ne@mail.ru.