

Тестирование конфигураций неоднородных распределенных вычислительных систем

А. М. Грузликов¹, Н. В. Колесов², Е. В. Лукоянов³, М. В. Толмачева

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

¹agruzlikov@yandex.ru, ²kolesovnv@mail.ru, ³lukoyanov.egor@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы тестового диагностирования конфигураций распределенных вычислительных систем (РВС), которые могут быть представлены как совокупность функционально связанных программных модулей. В докладе развивается подход, который авторы называют диагностированием с параллельной моделью. Подход предполагает включение в состав системы дополнительного программного обеспечения, реализующего модель ее конфигурации. Используемая модель относится к классу дискретно-событийных. Предлагается рациональная процедура построения тестов по рассматриваемой модели, обнаруживающих отказы в РВС.

Ключевые слова: *распределенная вычислительная система; диагностирование; параллельная модель*

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблема диагностики занимает важное место в проектировании систем обработки информации и управления, поскольку надежность и отказоустойчивость таких систем зависит от успешности решения этой проблемы. В настоящем докладе объектом рассмотрения является главная компонента таких систем – вычислительная система, а точнее, распределенная вычислительная система (РВС) реального времени, реализующая совокупность функционально связанных программных модулей. Для РВС разработка средств диагностирования (СД) является достаточно сложной проблемой из-за высокой размерности системы, параллельного характера вычислений и множественности причин возникновения нарушений. Источником нарушений могут быть не только отказы аппаратуры, но и ошибки в организации вычислений и в используемых программах, допущенные разработчиками. Применяемые на практике решения основываются на различных техниках диагностирования [1, 2]. Важное место среди них занимает техника тестового диагностирования [2–4]. С целью преодоления высокой размерности проблемы процесс разработки СД декомпозируется, например, с использованием иерархического подхода. В этом случае множество компонентов системы в соответствии с отношением включения распределяется по уровням сложности так, что компоненты более высокого уровня представляются композицией компонентов более низкого

уровня. В докладе развивается подход [4, 5], который авторы называют диагностированием с параллельной модели. Подход предполагает включение в состав системы дополнительного программного обеспечения, реализующего модель ее конфигурации.

II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Доклад фокусируется на построении теста по модели РВС, представленной линейной периодически нестационарной цифровой динамической системой. Напомним алгоритм синтеза этой модели [5]. Он состоит из двух этапов и справедлив для любого графа межмодульных информационных связей. При ее формировании на первом этапе создается структура модели. Для этого по графу диагностируемой системы отыскивается множество вычислительных путей, составляющих покрытие его ребер. Затем с каждым из этих путей в модели системы сопоставляется цепь из такого числа динамических звеньев, через сколько программных модулей (ПМ) проходит данный путь. После описанных построений модель системы представляется совокупностью независимых цепей. На втором этапе формирования модели определяется вид динамических звеньев. При этом учитывается, что процедура построения тестов упрощается, если модель системы, во-первых, линейна, а во-вторых, управляема и наблюдаема. Отсюда можно сформулировать требование к звеньям модели [5]. Они должны быть линейны. Кроме того, звенья должны быть таковы, чтобы модель системы была бы управляема и наблюдаема.

Динамическое описание системы S^m получается по следующим правилам. Используется вектор состояния $x(t)$, составленный из векторов состояния звеньев $x_i(t)$, $i = \overline{1, L}$, входящих в эту модель, а с помощью матриц $F(\gamma_s(j)), G(\gamma_s(j)), H(\gamma_s(j))$ описывается перенос информации между ПМ и СД в каждом j -м информационном обмене. Тогда

$$\begin{aligned} x(t+1) &= F(\gamma_s(j))x(t) + G(\gamma_s(j))u(t), \\ y(t) &= H(\gamma_s(j))x(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $j = \overline{1, N}$, $L = N + 1$, $\gamma_s(j)$ – s -я последовательность матриц $s = \overline{1, N}$.

Применение описанной модели РВС может в некоторых случаях потребовать передачи через каналы обмена большого количества диагностической информации, что не всегда допустимо. В таких ситуациях целесообразно воспользоваться приемом, заключающимся в обработке нескольких массивов информации одним звеном (слияние вычислительных путей). К сожалению, предложенные ранее [5] алгоритмы синтеза наблюдаемой и управляемой диагностической модели не обладают достаточной общностью. Действительно, эти алгоритмы обслуживают только две ситуации – модель с независимыми цепями и модель с одной точкой слияния. Таким образом, вне рассмотрения оказались ситуации, когда точек слияния более одной. При этом понятно, что с увеличением числа точек слияния снижается объем передаваемой по каналам связи диагностической информации. Вопросы о том, как производить синтез в подобных случаях и сколько точек слияния рекомендуется создать, остаются открытыми и рассматриваются в настоящем докладе.

В известных публикациях предполагается, что в любой цепи модели каждое звено выдает и принимает информацию лишь по одному разу за период. Однако на практике это условие не всегда выполняется. Возникает ситуация, когда для некоторого звена частота приема и выдачи информации не совпадают. Эта тема также затрагивается в докладе. При этом наибольшие осложнения вызывает случай, когда частота приема больше частоты выдачи.

Будем называть звено источником информации кратности k (кратным источником), если существует хотя бы одно звено-приемник этой информации, для которого частота приема информации в k раз больше частоты выдачи информации.

Пусть звенья цепи пронумерованы от входа к выходу. Тогда цепь, содержащая кратный источник информации M_i , полностью наблюдаема (управляема), если выполняются условия наблюдаемости и управляемости однородной цепи и кратность k источника M_i является взаимно простым для чисел $T_{p,i+1}$ ($T_{0,i}$), где $T_{p,i+1}$ ($T_{0,i}$) – период выходных последовательностей свободного движения максимальной подцепи исходной (обращенной) цепи с выходным звеном M_{i+1} (обращенным M_i) при частоте выдачи информации, равной частоте приема информации.

III. ПОСТРОЕНИЕ ТЕСТА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

В докладе показывается, что проверяющий тест для периодически нестационарной системы состоит из N фрагментов (N – период системы): $U_T = U_{y_1} U_{y_2} \dots U_{y_N}$.

Каждый из фрагментов включает две характерные части. В первой части U_{1,γ_r} всех фрагментов система при последовательности матриц γ_r проходит в пространстве состояний через состояния выбранного базиса $X = \{x_i \mid i = \overline{1, N}\}$. Для каждого состояния x_i в фрагменте предусмотрены установочная последовательность u_{i,γ_r}^* длиной, кратной N , и интервал свободного движения при последовательности матриц γ_r , когда на входе системы nN нулей. Во второй части U_{2,γ_r} всех фрагментов на вход системы последовательно подаются вектора u_{i,γ_r} , $i = \overline{1, m}$ принадлежащие некоторому базису. После каждого вектора система находится в свободном движении на nN тактах при последовательности матриц γ_r .

Далее при построении теста используется следующий известный факт [2, 5] для любой системы S^m , которая описывается моделью (1), имеет на периоде функционирования один сеанс приема информации от СД и один сеанс выдачи информации в СД существует стационарная система \hat{S}^m , которая при любой входной последовательности формирует выходные последовательности, совпадающие с выходными последовательностями цепи S^m при некоторой последовательности матриц γ_r . В докладе показывается, что тест для системы \hat{S}^m является одновременно тестом для системы (1), но при этом характеризуется существенно меньшей длиной, нежели U_T и гарантированным списком обнаруживаемых отказов, совпадающим с соответствующим списком для U_T .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Isermann R. Fault Diagnosis Application. Heidelberg: Springer, 2011. 354 p.
- [2] Колесов Н.В., Толмачева М.В., Юхта П.В. Системы реального времени. Планирование, анализ, диагностирование. Санкт-Петербург: ЦНИИ «Электроприбор», 2014. 180 с.
- [3] Niemann H. Fault Tolerant Control Based on Active Fault Diagnosis // American Control Conf., Portland, OR, USA, 2005. P. 2224–2229.
- [4] Грузликов А.М., Колесов Н.В. Дискретно-событийная диагностическая модель распределенной вычислительной системы. Слияние цепей // Автоматика и Телемеханика. 2017. № 4. С. 682–688.
- [5] Gruzlikov A.M., Kolesov N.V., Lukoyanov E.V., Tolmacheva M.V. Test-based diagnosis of distributed computer system using a time-varying model // IFAC PapersOnLine. 2018. Vol. 51, No. 24. P. 1075–1082.