КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.518.54

Диагностирование матрицы узловых процессоров для решения краевых задач

Я. К. Чеверс, В. Я. Шкибелис

Матрица узловых процессоров (МУП) представляет собой вычислительную модель для получения решения краевой задачи в виде вектора потенциалов узловых точек сетки соединенных проводимостей, аппроксимирующих непрерывное пространство краевой задачи [1]. Точность и скорость решения краевой задачи зависят от технического состояния кодоуправляемых проводимостей МУП. Поэтому для обеспечения работоспособности МУП необходимо разработать эффективные методы диагностирования.

В работах [2, 3] указанная задача сводится к задаче диагностирования электрических цепей. Однако большинство методов диагностирования МУП основано на анализе информации тестовых экспериментов, проводимых только на самом объекте диагностирования. Часто такие эксперименты трудно реализуемы и, кроме того, увеличиваются временные затраты на диагностирование.

Рассмотрим разработанный на основе теоремы Телледжена [4, 5] метод диагностирования МУП, когда большинство экспериментов проводится не над объектом диагностирования, а над его моделью. При этом осуществляется декомпозиция тестовой области МУП на подобласти без физической ее перекоммутации.

Пусть диагностируемая область N и ее модель $\bar N$ имеют одинаковую топологию. Тогда согласно теореме Телледжена [4]

$$\sum_{i=1}^{n} I_i U_i = \sum_{i=1}^{n} \bar I_i \bar U_i = 0,$$

где U_i, $\bar U_i$, I_i, $\bar I_i$ — напряжения и токи ветвей объекта и модели; n — число ветвей. Из указанной теоремы вытекает следствие

$$\sum_{i=1}^{n} I_i \bar U_i = 0 \tag{1}$$

при условии, что выполняются законы Кирхгофа для векторов токов и напряжений. Ценность выражения (1) для диагностирования МУП состоит в том, что оно связывает параметры объекта и его модели. Выберем некоторые замкнутые подобласти Q и $\bar Q$ диагностируемой области МУП и ее модели: $Q \in N$, $\bar Q \in \bar N$. Определим свойства подобластей, при которых можно составить уравнения типа (1). Заметим, что достаточным условием является выполнение требований законов Кирхгофа для векторов токов I, $\bar I$ и напряжений U, U. Согласно (1) особый интерес представляет случай, когда вектор тока I определяется в подобласти Q, а вектор напряжения $\bar U$ — в подобласти Q модели после непосредственного «заземления» ее границы $\bar S$. Для векторов тока I и напряжения $\bar U$ выполняются законы Кирхгофа, поскольку подобласть Q и контуры в подобласти $\bar Q$ являются замкнутыми. Согласно изложенному запишем уравнение

$$\sum_{i=1}^{q} I_i \bar U_i = 0, \tag{2}$$

где q — число ветвей подобласти Q. Выражение (2) позволяет сделать следующий вывод: заземление границы $\bar S$ подобласти $\bar Q$ в модели эквивалентно отключению остальной части МУП от диагностируемой подобласти, т. е. осуществляется декомпозиция диагностируемой области МУП на подобласти без физической ее перекоммутации. Это важное свойство метода существенно упрощает процедуры и алгоритмы диагностирования, снижает размерность задачи диагностирования, а также повышает его достоверность и точность.

Рассмотрим способ использования выражения (2) для диагностирования. Преобразуем (2) следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{q} I_i \bar U_i = \sum_{i=1}^{q} U_i \bar U_i Y_i = 0, \tag{3}$$

где Y_i — проводимости диагностируемой подобласти. После проведения необходимого числа экспериментов [6] (тестов) над объектом и моделью с учетом (3) получаем систему уравнений

$$\begin{vmatrix} U_1^1\overline{U}_1^{\overline{1}} \dots U_q^1\overline{U}_q^{\overline{1}} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ U_1^t\overline{U}_1^{\overline{t}} \dots U_q^t\overline{U}_q^{\overline{t}} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ U_1^T\overline{U}_1^{\overline{T}} \dots U_q^T\overline{U}_q^{\overline{T}} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_i \\ \dots \\ Y_q \end{vmatrix} = 0, \qquad (4)$$

где t, $\overline{t}$ — номера эксперимента (теста) на объекте и на модели.

Относительно вектора Y_i, $i=\overline{1, q}$, система уравнений (4) является однородной и, следовательно, имеет только тривиальное (нулевое) решение. Для однозначного решения задачи диагностирования в данном случае существуют две возможности:

1) определить ток в одной из ветвей подобласти Q либо подключить дополнительную ветвь, ток в которой известен;

2) определить вместо абсолютных значений проводимостей их отношения к некоторой базовой проводимости.

В первом случае уравнение (3) принимает вид

$$\sum_{i=1}^{b} U_i\overline{U}_iY_i = -\sum_{j=1}^{d} I_j\overline{U}_j, \qquad (5)$$

где I_j, $\overline{U}_j$ — ток и напряжение ветвей с известными параметрами; b, d — число ветвей подобласти Q, в которых известны только значения напряжения и тока ($b+d=q$).

После определенного числа экспериментов над объектом и моделью с учетом (5) нетрудно составить систему линейных уравнений, аналогичную (4), в результате решения которой найдем параметры Y_i, $i=\overline{1, b}$.

Во втором случае выбираем некоторую проводимость подобласти Q в качестве базовой (например, Y_q) и вычисляем относительные значения проводимостей: $y_i = Y_i/Y_q$, $i=\overline{1, q}$. Так как $y_q=1$, уравнение (3) принимает вид

$$\sum_{i=1}^{q-1} U_i\overline{U}_iy_i = -U_q\overline{U}_q. \qquad (6)$$

Аналогично изложенному из (6) на основе тестовых данных можно составить систему уравнений типа (4), решение которой определяет y_i, $i=\overline{1, q-1}$. При этом ветви подобласти Q, содержащие источники тока I_i, описывают слагаемые в левой части уравнения (6) в виде $U_i\overline{U}_iy_i = \overline{U}_iI_i/Y_q = \overline{U}_i\gamma_i$, $\gamma_i = I_i/Y_q$.

Для ветвей подобласти Q, содержащих источники напряжения, определяется ток из выражения баланса токов:

$$I_i = \sum_{j=1}^{m} I_j = \sum_{j=1}^{m} U_jY_j, \qquad (7)$$

где m — число ветвей, присоединенных к рассматриваемому источнику напряжения, после чего с учетом (7) ветвь имеет вид $U_i\overline{U}_iy_i = \overline{U}_iI_i/Y_q = \overline{U}_i\sum_{j=1}^{m} U_jy_j$.

Задача диагностирования описанным методом разрешима, если $T\cdot\overline{T} \geqslant q-1$ [6], где T, $\overline{T}$ — соответственно число линейно независимых экспериментов (тестов) в подобластях Q и $\overline{Q}$.

Для оценки технического состояния элементов МУП необходимо учесть, что значения U_i, I_j измеряются в объекте. Точность их определения зависит от точности измерений. Так, например, для кодирования признака технического состояния проводимостей Y_i, $i=\overline{1, b}$, ветвей после решения системы уравнений типа (5) можно воспользоваться следующим выражением:

$$\pi_i = \begin{cases} 0, \text{ если } |Y_i - \overset{*}{Y}_i| < \Delta Y_i; \\ 1, \text{ если } |Y_i - \overset{*}{Y}_i| \geqslant \Delta Y_i; \end{cases}$$

$$\Delta Y_i = \rho\sqrt{D(Y_i)},$$

где π_i — признак технического состояния ветви ($\pi_i = 0$ — исправно, $\pi_i = 1$ — неисправно); $\overset{*}{Y}_i$ — номинальное значение проводимости ветви; $\Delta\overset{*}{Y}_i$ — пороговое значение ошибки вычисления проводимости; $D(Y_i)$ — дисперсия ошибки вычисления Y_i; ρ — точностная характеристика вычислений.

Для определения $D(Y_i)$ можно воспользоваться линейной аппроксимацией случайной функции $Y_i=f(U_i, I_j)$ при известных дисперсиях $D(U)$, $D(I)$ соответственно измерений напряжений и токов подобласти Q (принимается, что аналогичные измерения в модели $\overline{Q}$ реализуются точно).

Таким образом, основными преимуществами рассматриваемого метода являются возможность декомпозиции объекта диагностирования на подобласти без физической его перекоммутации; реализация большинства тестовых экспериментов не на объекте, а на его модели и, наконец, при определении отношений параметров элементов диагностируемой подобласти отпадает необходимость в каких-либо измерениях проводимостей и токов в самом объекте диагностирования.

1. *Спалвинь А. П.* Гибридные вычислительные машины для решения краевых задач.— Рига : *Риж. политехн. ин-т*, 1975.— Ч. 1.— 101 с.
2. *Аузинь П. К., Чеверс Я. К.* Методы контроля и диагностики неисправностей автоматизированных сеточных моделей // 21 Internationales Wissenschaftliches Kolloguim, 1—5 nov. 1976, TH Ilmenau.— Ilmenau: TH Ilmenau, 1976.— S. 45—48.
3. *Чеверс Я. К.* Проверка технического состояния аналогового сеточного спецпроцессора методом эксперимента над его топологической моделью // Вычислительная техника и краевые задачи : Методы и специализированные вычислительные средства.— Рига : Риж. политехн. ин-т, 1981.— С. 79—84.
4. *Дезоер Я. А., Ку Э. С.* Основы теории цепей.— М. : Связь, 1976.— 286 с.
5. *Trick T. N., Sakla S. S.* A New Algorithm for the Fault Analysis and Tuning of Analog Circuits // Instruments and Control Systems.— 1978.— V. 51.— P. 51—55.
6. *Шкибелис В. Я.* Разрешимость задачи диагностирования электрических цепей при использовании различных групп инвариантов // Вычислительная техника и краевые задачи : Вычислительные методы и специализированные процессоры.— Рига : Риж. политехн. ин-т, 1982.— С. 137—140.

Поступила 02.08.85;
после доработки 30.06.86