

УДК 621.37:39.019.3

Б.А. Шостак

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

НЕПРЕРЫВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

В статье приведены результаты исследований по оптимизации диагностики цифровых модулей радиоэлектронных систем посредством применения метода непрерывного планирования процесса диагностирования.

Ключевые слова: процесс диагностирования, цифровой модуль, априорная неопределенность.

Введение

Необходимость в специализированных адаптивных методах диагностирования возникает в связи со значительным усложнением радиоэлектронных систем (РС), причем специфическая особенность такого усложнения заключается в отсутствии практической возможности подробного анализа процессов, происходящих в диагностируемом объекте [1].

Создание специализированных адаптивных диагностических систем осуществляется в принципиально новых условиях, т. е. адаптивные диагностические системы должны обеспечивать высокое качество процесса диагностирования при отсутствии достаточной полноты априорной информации о характеристиках объекта диагностирования. По мере усложнения РС указанная неопределенность растет, т.е. становится все сложнее определять характер изменения динамических свойств объекта диагностики и непосредственно процесса диагностирования [2].

Теоретические исследования

Эффект «приспособления» к изменяющимся условиям в специализированных адаптивных диагностических системах достигается за счет того, что часть функций по получению, обработке и анализу недостающей информации об объекте диагностики осуществляется не проектировщиком на стадии разработки, а самой системой в процессе ее функционирования.

Такой частичный перенос функций способствует не только более полному использованию рабочей информации (совокупности данных о состоянии объекта диагностики, получаемой непосредственно в процессе диагностирования) при формировании тестовых воздействий, но и позволяет существенно снизить влияние неопределенности на качество процесса диагностирования, компенсируя в определенной степени недостаток априорного знания проектировщика об управляемом процессе [3].

Таким образом, к адаптивным методам приходится обращаться тогда, когда сложность процесса диагностирования достигает такого уровня, при котором влияние неопределенности или «неполноты» априорной информации об условиях работы всей диагностируемой системы становится существенным для обеспечения заданного качества. В дальнейшем мы будем рассматривать возможности применения самонастраивающихся систем для реализации процесса диагностирования цифровых модулей РС в условиях априорной неопределенности. Такие системы характеризуются наличием специальных контуров самонастройки, описываемых математически в виде критерия качества функционирования [4]. При этом контур самонастройки служит для изменения параметров или структуры основного контура с целью обеспечения заданного критерия качества управления. Обычно критерий качества управления выражается в виде функционала или функции от параметров и измеряемых координат системы. В процессе работы системы значение функционала качества изменяется, и задача контура самонастройки сводится к обеспечению максимального значения критерия.

При диагностике цифровых модулей РС с использованием эмулирования рабочих воздействий появляются новые возможности оптимизации процесса формирования тестовых воздействий. В процессе длительных процедур тестирования и контроля оборудования вследствие изменения характеристик аппаратуры (например, оперативной замены какого-либо элемента) или поступления извне сведений о характере проявления неисправности условия и цели контроля могут существенно изменяться. В этих случаях планирование всего процесса тестирования и контроля сразу невозможно и следует прибегать к непрерывному планированию [5], при котором в каждый момент времени выбирается вариант дальнейшего тестирования, обеспечивающий наилучшее использование каждой бесконечно малой части временных затрат по отдельности.

В этом случае непрерывное планирование сразу дает наиболее быстрый рост информации о результатах тестирования, позволяя использовать полученные сведения еще до полного завершения технологического процесса контроля.

Определение точки x , при измерении в которой скорость накопления информации о предварительных результатах тестирования $q(\phi)$ по отношению к потоку затрачиваемых программных и аппаратных средств t максимальна, требует знания функции

$$\hat{q}(x) = \frac{dq(\phi)}{dt(x)}.$$

При вычислении этой функции используется следующая теорема: скорость накопления информации об интересующей нас группе параметров при тестировании элемента x равна произведению эффективности аппаратуры контроля $\lambda(x)$ в этой точке на соответствующую субдисперсию $D(x)$ тестируемого элемента, т.е.

$$\hat{q}(\phi, x) = \lambda(x)D(x). \quad (1)$$

Эффективность программно-аппаратных средств для проведения контроля λ определяется как производная веса тестирования W по затрачиваемым средствам t и связана соотношением

$$\lambda(x_i) = \frac{\sum_j W(x_j)}{\sum_j t(x_j)}, \quad (2)$$

где $\sum W(x_i)$ – вес тестового набора (определяется количеством одновременно проверяемых элементов и равен длине последовательной цепи от входной контрольной точки до тестируемого элемента и от этого элемента до выходной контрольной точки). Каждый элемент в этой цепи имеет вес, обратно пропорциональный количеству его внутренних состояний [7];

$\sum t(x_j)$ – количество программных итераций при проверке элемента.

Вес тестирования элемента определяется как

$$W(x_i) = \frac{1}{S(x_i)}, \quad (3)$$

где $S(x_i)$ – общее количество внутренних состояний элемента x_i .

Субдисперсия $D(x)$ показывает, как велико влияние отказа тестируемого элемента на результаты тестирования. Субдисперсия может принимать значения от 0 до 1 и определяется как отношение:

$$D(x) = \frac{V(x)}{V_T}, \quad (4)$$

где $V(x)$ – размерность характеристического вектора тестируемого элемента (т. е. комбинации входных сигналов, подаваемых при одной итерации);

V_T – размерность вектора состояния тестового набора.

Таким образом, непрерывное планирование сводится к подсчету функции $\hat{q}(\phi, x) = \lambda D(x)$ перед каждой новой порцией затрачиваемых средств Δt и отысканию элемента x , где эта функция максимальна.

При неизменных условиях эксперимента такое непрерывное планирование асимптотически оптимально, т.е. разность полученной при этом планировании информации от максимально возможной за те же средства с ростом затраченных средств стремится к нулю.

Также при изменяющейся обстановке и убывающей со временем эффективности $\lambda(x, t)$ непрерывное планирование всегда близко к оптимальному.

Если рассматривать процесс формирования тестовых воздействий в условиях априорной неопределенности, то длина последовательной цепи от входной контрольной точки до тестируемого элемента и от этого элемента до выходной контрольной точки неизвестна, и поэтому будем считать эффективность $\lambda(x, t)$ постоянной величиной.

При этом вклад тестирования одного элемента в общий процесс диагностирования составляет

$$v_i(x_k) = D(x_k)W_i, \quad (5)$$

где W_i – вес тестирования элемента x_k .

Естественным обобщением равенства (5) на группу параметров общего процесса диагностирования является соотношение

$$\gamma(\phi) = D(\phi)W_i. \quad (6)$$

Соответственно, в этом случае субдисперсия $D(x)$ является основным фактором, от которого зависит скорость накопления информации о предварительных результатах тестирования $q(\phi)$.

Сумма вкладов от всех тестов равна общему числу диагностируемых элементов ϕ :

$$\sum_{i=1}^n v_i(\phi) = r. \quad (7)$$

В случае априорной неопределенности, когда величины $\phi = \alpha_1, K, \alpha_r$ являются коэффициентами

при ортонормированных функциях $K_k(x)$, то формула (6) приобретает вид

$$v_i(\phi) = \sum_{k=1}^r [K_k(x_i)]^2 w_i, \quad (8)$$

где w_i – нормированный вес.

Как видно из формулы (8), для увеличения эффективности процесса контроля работоспособности цифровых элементов достаточно определить нормированный вес каждого элемента и в первую очередь тестировать элементы с максимальным весом.

Если эффективность является известной функцией времени (или не зависит от времени), то процесс непрерывного планирования может быть рассчитан на любое число циклов тестирования вперед, если измерения результатов прохождения теста из технических соображений задерживаются в каждой точке в течение конечного времени Δt . В последнем случае место измерения результатов прохождения теста сначала меняется небольшими скачками, а затем перескакивает в иную область измерения. Постепенно устанавливается стационарный процесс движения наиболее выгодной точки, при котором она поочередно находится в окрестности нескольких предельных точек. Кроме того, необходимо рассмотреть случай неизменной эффективности. Сопоставляя формулы (6) и (2) и учитывая, что когда эффективность не меняется со

временем и равна $\lambda(x_i) = \frac{W_i}{t_i}$, мы находим

$$\frac{v_i(\phi)}{t_i} = \hat{q}(\phi, x_i), \quad (9)$$

т.е. отношение вклада к затратам равно скорости накопления информации о результатах текущего тестирования в конце процесса диагностирования.

Отношение v_i/t_i можно назвать относительной выгодностью тестового набора y . В самом деле, если

$$\frac{v_i}{t_i} > \frac{v_k}{t_k},$$

то, перенося часть затрат от невыгодного тестирования y_k на более выгодное тестирование y_i , мы согласно (9) выигрываем в количестве информации. Очевидно, что при наилучшем размещении алгоритмов тестирования и затрат на их реализацию все измерения должны быть равновыгодными и располагаться в максимумах функции $\hat{q}(\phi, x)$.

Справедливо и обратное: если результаты тестирования равновыгодны и расположены в максимумах функции

$$\hat{q}(x) = \lambda(x)D(x),$$

процесс диагностирования спланирован оптимальным образом. Таким образом, постепенно устанавливается стационарный процесс движения наиболее выгодной точки, при котором она поочередно находится в окрестности нескольких предельных точек.

На рис. 1 приведена зависимость роста обратной дисперсии $D^{-1}(f)$ от времени при проведении процесса диагностики спланированного статически (кривая 1) и непрерывно (кривая 2). Прямая 3 показывает рост обратной дисперсии при продолжении начального теста.

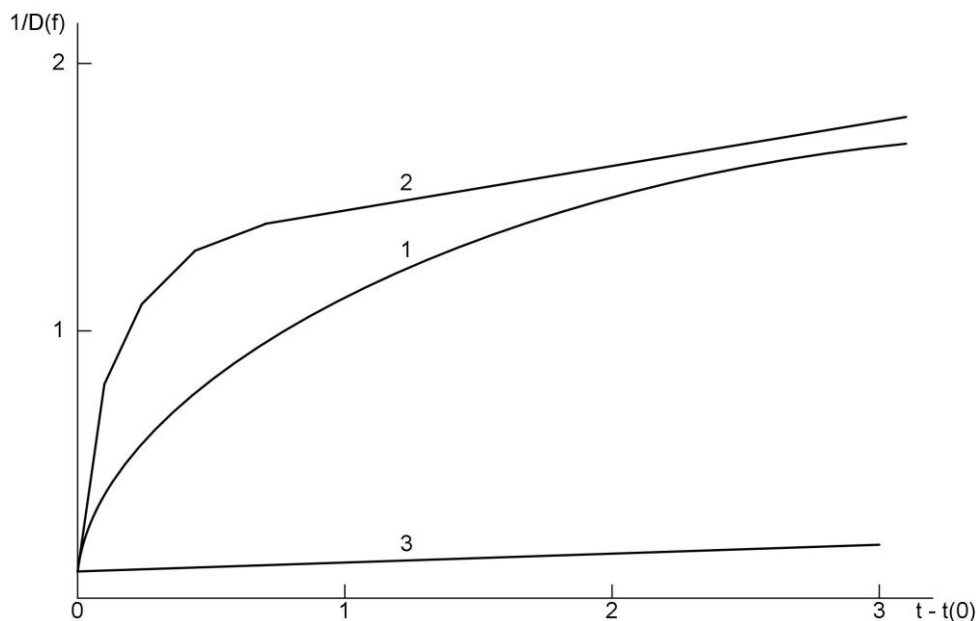


Рис. 1. Сравнение роста обратной дисперсии при непрерывном и статическом планировании процесса диагностики

Как видно из приведенных формул (3) и (9), для увеличения эффективности программно-технических средств в процессе формирования диагностической модели необходимо решить вопрос о выборе системы счисления и минимальном наборе операционных символов, посредством которых возможно описать процесс функционирования электронных устройств и минимизировать количество внутренних состояний элементов при сохранении требуемой степени адекватности модели реальным состояниям электронного элемента. Кроме того, диагностическое программное обеспечение должно формировать тестовые воздействия при минимальных программных итерациях.

При использовании для синтеза диагностических систем теории оптимизации обычно применяют функцию ошибки квадратичной формы. При этом остается открытым вопрос о выборе значений весовых коэффициентов, входящих в функцию ошибки для каждой конкретной задачи.

Хотя выбор весовых коэффициентов отчасти определяется опытом специалиста, обычно он основывается на заданных технических требованиях к характеристикам системы.

При этом следует иметь в виду, что этот выбор редко диктуется только требованиями к решению задачи, так что не исключена возможность упрощающих предположений. Допустимый диапазон выбора во многом зависит от динамических трудностей задачи синтеза диагностических систем.

В частности, в более сложных задачах синтеза требуется более точно выбирать весовые коэффициенты, чтобы удовлетворить требованиям к характеристикам диагностической системы.

Выводы

Проведены теоретические исследования применения адаптивных методов для оптимизации процесса диагностирования цифровых модулей РС в условиях априорной неопределенности. В результате исследований определены критерии оптимального распределения программно-аппаратных средств контроля. Теоретически исследованы условия применения метода непрерывного планирования при формировании адаптивных тестовых воздействий. Результаты исследования показывают, что при применении описанного выше метода можно рассчитывать процесс диагностирования на любое время вперед.

Список литературы

1. Гуляев В. А. *Техническая диагностика управляющих систем* / В.А. Гуляев. – К.: Наук. думка, 1983. – 208 с.
2. *Автоматизация диагностирования устройств* / Ю.В. Мальшенко, В.П. Чипулис, С.Г. Шаршунов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 216 с.
3. *Визуальный мониторинг физико-химических процессов в производстве и эксплуатации электронной аппаратуры* / И.Ш. Невлюдов, А.А. Андрусевич, М.А. Омаров. – Х.: "Коллегиум", 2006. – 236 с.
4. Мерриэм К. *Теория оптимизации и расчет систем управления с обратной связью* / К. Мерриэм // Пер. с англ. Б. М. Авдеева, Ю. В. Ковачича, В. Н. Левитского. – М.: Мир, 1967. – 450 с.
5. Клепиков Н.П. *Анализ и планирование экспериментов методом правдоподобия* / Н.П. Клепиков, С.Н. Соколов. – М.: Наука, 1964. – 185 с.

Поступила в редколлегию 30.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Стрелков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

БЕЗПЕРЕРВНЕ ПЛАНУВАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ МОДУЛІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Б. А. Шостак

У статті наведено результати досліджень по оптимізації діагностики цифрових модулів радіоелектронних систем допомогою застосування методу безперервного планування процесу діагностування.

Ключові слова: процес діагностування, цифровий модуль, априорна невизначеність.

CONTINUOUS PLANNING OF THE TROUBLESHOOTING PROCESS FOR DIGITAL MODULES OF ELECTRONIC SYSTEMS

B. A. Shostak

The results of research on the troubleshooting process optimization of electronic diagnostic digital modules by applying the method of continuous planning process diagnostics.

Keywords: the troubleshooting process, the digital module, a priori uncertainty.