

**Постановка и подходы решения
оптимизационных задач зондовой диагностики**

Ю.Е. ЗИНЧЕНКО, ЖИЛИН К.Е., ГЛАЗКОВ Д.Е.

Донецкий государственный технический университет

Освещаются проблемы построения систем зондового поиска неисправностей. Описывается подход зондовой диагностики на базе графа поиска неисправностей. Ставятся задачи в оптимизационной постановке и описываются способы их решения.

Введение

Оптимизация зондового поиска неисправностей (зондовой диагностики – ЗД) радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры по методологии "ведомого зонда" является одной из классических диагностических задач. Однако в публикациях, посвященных этой тематике, как правило, оптимизируется только один параметр – числа перестановок зонда [1-7]. Являясь безусловно важным для автоматизированной системы диагностики (АСД) на основе одно-контактного зонда, он не может подменить другие не менее важные параметры системы такие как быстродействие, диагностическая (разрешающая) способность – число локализуемых съемных элементов, подозреваемых на неисправность, емкость требуемой внешней памяти и другие. Анализ этих параметров показывает, что они являются взаимосвязанными. Отсюда актуальность оптимизации ЗД по комплексу параметров.

Центральной, наиболее сложной и наукоемкой из этих проблем является проблема минимизации перестановок зонда.

Несмотря на неоднократные попытки, предпринимавшиеся исследователями-диагностами, в настоящее время отсутствуют эффективные по функциональным возможностям и вычислительным ресурсам предложения по разрешению этой проблемы для современных сложных (сильнопоследовательностных) объектов диагностики (ОД), в том числе и для устройств, построенных по шинной архитектуре, и учитывающие их разнообразные технологические особенности. Это, с одной стороны, объясняется выбором неэффективного направления проектирования АСД, когда минимизация производится параллельно с зондированием ОД. Указанный недостаток может быть устранен за счет применения подхода ЗД на базе графа поиска неисправностей (ГПН) [8-11].

1. Зондовая диагностика на базе ГПН

Графом поиска неисправностей, построенного относительно выхода у ОД, будем называть взвешенный орграф [8,9]

$$G_y(U, V, K, R),$$

где $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ – множество вершин;

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_v\}$ – множество дуг;

$K = \{K_1, K_2, \dots, K_k\}$ – множество меток вершин;

$R = \{R_1, R_2\}$ – множество меток дуг графа.

Вершины графа задаются двойками: $U_i = (i, K_i)$, где $i=1, 2, \dots, n$ – порядковый номер, а K_i – метка вершины. Дуги представляются тройками: $V_p = (U_i, U_j, R_p)$, где U_i – исходящая, U_j – входящая вершины, R_p – метка дуги. Метка вершины в общем случае задается множеством, размерность которого зависит от типа вершины: $K_i = \{k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{in}\}$.

Вершины ГПН подразделяются на три типа: начальную, промежуточные и конечные. Вершина (она в ГПН одна), которая имеет одну исходящую дугу, называется начальной. Вершины с одной входящей и двумя исходящими дугами называются промежуточными; к типу конечных будем относить вершины, которые не имеют исходящих дуг.

Интерпретация ГПН состоит в следующем.

Под начальной и промежуточными вершинами графа подразумевается процесс зондирования контрольной точки (КТ) ОД, символическое обозначение которой задается меткой вершины. Метки таких вершин состоят из одного элемента – соответствующей КТ. Метка начальной вершины символизирует КТ, с которой начинается зондирование неисправного ОД.

Из начальной и промежуточных вершин ГПН всегда исходят две дуги, помеченные символом $R1 = 'Y'$ и $R2 = 'N'$, отождествляемые с результатом зондирования КТ, соответствующей данной вершине. Дуга с меткой 'Y' обозначает переход в случае совпадения реальной тестовой реакции (ТР) КТ с эталонной, дуга с меткой 'N' – переход в случае несовпадения реакций. Конечная вершина графа символизирует окончание поиска неисправности по одной из ветвей графа; метка вершины описывает

длина полноразрядной реакции обычно очень большая (может достигать нескольких мбайт), то с целью экономии памяти выгоднее сигнатура, длина которой составляет несколько (обычно два) байт.

Действительно, объем памяти ВЗУ ($V_{\text{треб}}$) АСД, требуемый для хранения ТР, можно рассчитать по формуле:

$$V_{\text{треб}} \sim (N_s \cdot V_s + N_p \cdot V_p),$$

где V_s (V_p) - объем памяти, необходимый для хранения сигнатуры (полноразрядной) ТР;

N_s (N_p)- число КТ, ТР с которых снимается по методу компактного (логического) анализа.

Так как в подавляющем большинстве случаев $V_p \gg V_s$, то $V_{\text{треб}}$ определяется фактически числом КТ с полноразрядной ТР, т. е.

$$V_{\text{треб}} \sim N_p.$$

Отсюда следует, что его можно снизить за счет сокращения N_p . Но такое сокращение может привести к ухудшению диагностоспособности ОД, что необходимо учитывать.

Разрешение указанных проблем может быть осуществлено путем решения в явной либо неявной формах следующих оптимизационных задач [8, 12, 13]:

- минимизация памяти без преобразования ОД и ухудшения диагностоспособности ОД;
- преобразование ОД;
- частичное снижение диагностоспособности.

В первую очередь целесообразно выполнять попытку минимизации памяти без преобразования ОД и снижения его диагностоспособности. Такую задачу можно представить в следующей оптимизационной постановке:

$$\begin{aligned} N_p &\rightarrow \min, \\ D &= 100\%, \\ R &= 0, \end{aligned}$$

где D - диагностоспособность ОД, выраженная в процентах;

R - число разрывов обратных связей ОД, отражающее степень его преобразования.

Решение описанной оптимизационной задачи в неявной форме предлагается путем:

- сочетания различных способов съема ТР - КТ, принадлежащим контурам ОД, назначается логический, а для остальных точек - сигнатурный анализ;
- выбора различных источников синхронизации;

- селективного и сигнатурного вычисления (моделирования) эталонных ТР.

Как было показано выше, выбор способа съема ТР некоторой КТ (логический или сигнатурный анализ) определяется местом расположения точки в топологической схеме объекта. Если КТ принадлежит простому, т. е. без контуров, пути, то для нее можно использовать сигнатурный анализ. Если же КТ расположена на контуре, то для того, чтобы не снизить диагностоспособность ОД, необходимо использовать логический анализ. Поэтому принцип решения описываемой задачи состоит в анализе топологической схемы ОД, выявлению в нем контуров и назначению всем КТ, принадлежащим контурам, логического способа съема ТР. Для остальных КТ объекта задается способ сигнатурного анализа.

После решения первой оптимизационной задачи может оказаться, что полученное число КТ с полной ТР - $N_{p\min}$ - не удовлетворяет допустимым ограничениям. В этом случае желаемого результата можно достичь одной из двух других, сформулированных выше, задач оптимизации либо их сочетанием.

Под преобразованием (*зондопригодным проектированием*) ОД в данной работе подразумевается такое его преобразование, которое позволяет уменьшить число КТ, требующих логического анализа.

В ходе преобразования в ОД разрываются на время диагностического эксперимента глобальные обратные связи, благодаря чему те КТ, которые раньше должны были зондироваться по методу логического анализа, после разрыва могут зондироваться по методу сигнатурного анализа без снижения диагностоспособности объекта. Разрыв обратных связей косвенно способствует и снижению перестановок зонда.

Разрыв обратных связей может осуществляться физическим либо логическим способом. В первом случае на месте разрыва устанавливается специальная перемычка, которая коммутируется вручную оператором в зависимости от режима работы ОД (основное функционирование / диагностика); во втором случае разрыв производится с помощью специально вводимого в цепь разрыва логического мультиплексора. В любом случае помимо указанных элементов требуется наличие на каждую разрываемую цепь двух-трех контактов краевого разъема ОД. Ясно, что число разрываемых связей ОД из-за вносимых дополнительных аппаратных затрат должно быть ограниченным. Поэтому данную задачу можно представить в следующей постановке:

$$\begin{aligned} N_{p'} &\rightarrow \min; \\ D &= 100\%; \\ R &\leq R_{\text{доп}}, \end{aligned}$$

где $R_{доп}$ - максимально возможное число разрываемых связей ОД, задаваемое пользователем.

Полученное после преобразования ОД число КТ с полной ТР (Np'_{min}) может также превышать заданные ограничения. Кроме того, как это часто бывает на практике, преобразование ОД на стадии его эксплуатации вообще может оказаться невозможным. И в том и в другом случаях для того, чтобы в условиях заданных ограничений зондовое диагностирование все же стало возможным, можно частично пожертвовать диагностоспособностью объекта.

Идея частичного снижения диагностоспособности ОД состоит в том, что путем анализа топологической схемы ОД в нем находятся КТ, которые принадлежат контуру и должны были бы иметь тип полной ТР, но им принудительно назначается тип "сигнатура". Это конечно же ухудшит диагностоспособность объекта, но такие КТ и их количество должны подбираться таким образом, чтобы добившись требуемого сокращения КТ с полной ТР, снижение диагностоспособности было бы минимально возможным. Выражаясь формально, данную задачу следует представить в следующей оптимизационной постановке:

$$\begin{aligned} D &\rightarrow \max; \\ Np'' &\square Np_{доп}; \\ R &= 0, \end{aligned}$$

где $Np_{доп}$ - максимально возможное число КТ ОД с полноразрядной ТР, которое удовлетворяет систему ЗД по объему памяти ВЗУ, необходимой для хранения эталонных ТР.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее эффективно по комплексу параметров задачи ЗД для могут быть решены на базе графа поиска неисправностей;
- разрешение проблем локализации неисправностей и внешней памяти могут быть обеспечены комплексом следующих мероприятий: сочетанием способов представления ТР; фиксацией моментов появления первой ошибки; преобразованием ОД; сочетанием способов синхронизации съема ТР; селективным моделированием ОД; частичным снижением диагностоспособности ОД.

Литература

1. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики: (Оптимизация

алгоритмов диагностирования, аппаратные средства). - М.: Энергия, 1981.- 320 с.

2. Тоценко В.Г. Алгоритмы технического диагностирования дискретных устройств.- М.: Радио и связь, 1985. - 240 с.
3. Малышенко Ю.В., Чипулис В.П., Шаршунов С.Г. Автоматизация диагностирования электронных устройств.- М.: Энергоатомиздат, 1986. - 216 с.
4. Abramovici, Miron. Digital System Testing & Testable Design.- IEEE, 1990.- 570p..
5. Молов В.К., Тарасенко В.П. Структурно-ориентированный метод поиска неисправностей в цифровых устройствах // Автоматика и вычислительная техника.- 1989. - N2.
6. Сперанский Д.В., Черевко Н.В. О сокращении числа зондовых проб при диагностировании цифровых устройств. // Электронное моделирование. -1992. - N3. - с.56-62.
7. Рустинев В.А. Структурные методы построения квазиоптимальных алгоритмов поиска неисправностей в модулях РЭА / Повышение эффективности программных и аппаратных средств контроля и диагностирования в ГПС приборостроения: Тез. докл. н/т. техн. конф., Севастополь, 1988.- Л.: Судостроение, 1988.- 43 с.
8. Разработка автоматизированной системы зондовой диагностики на базе IBM PC // Отчет о НИР Г-26-92, № гос. рег. 0193M027064, рук. Зинченко Ю.Е.. - Донецк: ДонГТУ, - 1994, 70с.
9. Зинченко Ю.Е., Семенов В.П. Граф поиска неисправностей объекта зондовой диагностики / Доклады н/т конф. "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4 "- Донецк ДонГТУ, 1995.- С. 19-21.
10. Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров / В.И. Хаханов.- К.: ИСЦО, 1997.- 308 с..
11. Хаханов В.И., Монжаренко И.В., Бедратый Р.А. Проектирование оптимизированных алгоритмов диагностирования устройств вычислительной техники // Радиоэлектроника и информатика. - 1997, № 1. - с. 88-91.
12. Зинченко Ю.Е., Хатейт Ю. Стратегия поиска неисправностей системы зондовой диагностики / Теоретическая и прикладная информатика. Н/т конф.. - Донецк, 1993.
13. Зинченко Ю.Е., Стельмах С.И., Чернявский Н.М. Оптимизация зондового диагностирования вычислительных устройств / Доклады н/т конф. "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4.- Донецк ДонГТУ, 1995.- С. 16-18.
14. Тупкало В.П. Основы теории сигнатурного анализа цифровых систем. МО Украины, 1994.

[8], [9], [12], [13].

Литература :

8. Разработка автоматизированной системы зондовой диагностики на базе IBM PC / Отчет о НИР Г-26-92 № гос. рег. 0193V027064, рук. Ю.Е. Зинченко. - Донецк: ДонГТУ, - 70 с.
9. Зинченко Ю.Е., Семененко В.П. Граф поиска неисправностей объекта зондовой диагностики / Доклады научн. Техн. Конф. Региональная научная конференция "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4 "Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики". Донецк: ДонГТУ, - 1995, - С 19-21.
12. Зинченко Ю.Е., Хатейт Ю.. Стратегия поиска неисправностей систем зондовой диагностики / Тез. Докл. Научн. Техн. Конф. "Теоретическая и прикладная информатика". - Донецк: ДонГТУ, - 1993.
13. Чернявский Н.М. Зинченко Ю.Е., Стельмах С.И.. Оптимизация зондового диагностирования вычислительных устройств / Региональная научная конференция "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность". Секция 4 "Актуальные проблемы вычислительной техники, информатики и энергетики". - Донецк: ДонГТУ, - 1995, С. 16-18.