

объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

4243/83

15/8-83

11-83-321

Б.Науманн

О ПРИМЕНЕНИИ СИГНАТУРНОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

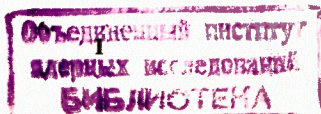
Направлено в Оргкомитет XI Международного  
симпозиума по ядерной электронике,  
ЧССР, сентябрь 1983 года.

1983

## I. Введение

Суть тестирования состоит в подаче на входы объекта тестовых воздействий, считывании с его выходов фактических ответов и сравнении последних с эталонными. При традиционном тестировании дискретных устройств эталонным ответом является выходная последовательность сигналов, полученная для исправного дискретного устройства или его модели. Для запоминания эталонных выходных последовательностей может потребоваться значительный объем памяти, что является недостатком такого подхода. В связи с этим разрабатываются способы сжатия эталонной и фактической информации об объекте и соответствующие способы обработки результатов тестирования. Одним из самых известных способов является так называемый сигнатурный анализ (анализ признака). При таком способе выходные последовательности любой длины преобразуются с помощью сдвигового регистра с обратными связями и сумматором по модулю 2 на его входе в  $n$ -разрядные ( $n$  - число разрядов сдвигового регистра) кодовые слова, называемые сигнатурами.

В 1977 году американская фирма Хьюлетт Пакард объявила о создании анализатора сигнатуры HP 5004A<sup>1/1</sup>. Предприятием ТЕСЛА опубликована предварительная спецификация анализатора признака ВМ 578<sup>1/2</sup>. С 1982 года анализатор признака выпускает комбинат РОБОТРОН. В этих приборах используется 16-разрядный сдвиговый регистр с подключенными к нему 4-разрядными шестнадцатиричными алфавитно-цифровыми индикаторами сигнатур. Результаты проверки при этом оцениваются человеком-оператором. Вход данных анализатора устроен в виде измерительного щупа, с помощью которого можно снять фактические сигнатуры с контактов микросхем. Для получения каждой сигнатуры нужна подача соответствующих входных воздействий на входы объекта. Кроме входа данных анализатор имеет входы СТАРТ, СТОП и ТАКТ. Сигналы СТАРТ и СТОП определяют начало и конец анализа, а по сигналу ТАКТ осущест-



является занесение данных в сдвиговый регистр. Максимальная частота генератора тактов составляет 10 МГц (для улучшенного варианта HP 5005A - 20 МГц), т.е. сигнатурный анализ в большинстве случаев можно провести в реальном масштабе времени. Применение анализатора подробно описано в работе <sup>3/</sup>.

## 2. Характерный полином сдвигового регистра

Основой сигнатурного анализа является теория циклических кодов <sup>4/</sup>. Для  $n$ -разрядного сдвигового регистра с линейными обратными связями в общем случае справедливо выражение

$$x(t) = z_0(t) \oplus \alpha_1 z_0(t-\tau) \oplus \alpha_2 z_0(t-2\tau) \oplus \dots \\ \dots \oplus \alpha_{n-1} z_0(t-(n-1)\tau) \oplus z_0(t-n\tau),$$

причем  $x(t)$  - поток данных на входе сдвигового регистра;  
 $z_0(t)$  - поток данных на выходе сумматора по модулю 2;  
 $\tau$  - длительность периода сигнала ТАКТ;  
 $\alpha_i \in \{0, 1\}$  - коэффициент обратной связи с выхода  $i$ -го триггера сдвигового регистра.

При введении оператора задержки  $D$  это выражение можно записать в виде

$$x(t) = z_0(t) (1 + \alpha_1 D + \alpha_2 D^2 + \dots + \alpha_{n-1} D^{n-1} + \alpha_n D^n).$$

Вторая часть последней формулы называется характерным полиномом сдвигового регистра. Например, характерный полином регистра анализатора сигнатуры HP 5004A имеет форму

$$\Phi_{16} = 1 + D^7 + D^9 + D^{12} + D^{16}.$$

Эффективность тестирования по полноте обнаружения и глубине поиска дефектов зависит как от входной последовательности, так и от способа формирования сигнатуры, т.е. характерного полинома сдвигового регистра. В работе <sup>5/</sup> продемонстрирована высокая эффективность тестирования при использовании приведенного выше полинома.

## 3. Полнота обнаружения дефектов

Пусть дано  $m$  - число разрядов потока данных и  $n$  - число разрядов сдвигового регистра. Отсюда следует, что существуют  $2^m$  различных  $m$ -разрядных потоков данных и  $2^n$  различных  $n$ -разрядных сигнатур. Для  $m > n$  каждая сигнатура соответствует  $2^m / 2^n = 2^{m-n}$  потокам данных.

Исходя из этого, можно вычислить вероятность того, что любая неисправность потока данных является необнаруживаемой:

$$P = \frac{2^{m-n} - 1}{2^m - 1}.$$

Здесь в числителе приведено число неисправных потоков, которым соответствует та же сигнатура, что и для исправного потока, а в знаменателе - общее число неисправных потоков.

При  $m \gg n$   $P \approx 1/2^n$ , т.е. вероятность не зависит от числа разрядов потока данных, а зависит только от числа разрядов сдвигового регистра.

Для  $n = 16$  вероятность того, что любая неисправность потока данных является обнаруживаемой, составляет:

$$(1 - P) \cdot 100\% = 99,998\%.$$

Из определения линейной функции (сумматор по модулю 2 представляет собой линейную функцию) непосредственно следует, что однократные (точнее: одноразрядные) неисправности потока данных всегда являются обнаруживаемыми. Поэтому это практически 100% значение вероятности обнаружения неисправностей справедливо даже для многократных (точнее: многоразрядных) неисправностей потока данных. Но полученное значение является действительным только тогда, когда все неисправности имеют одинаковую вероятность. Однако при применении сигнатурного анализа для диагностики дискретных устройств это условие редко выполняется. Несмотря на такое ограничение, фирма Хьюлетт Пакард накопила богатый опыт в применении сигнатурного анализа для диагностики, что привело к широкому распространению этого способа.

## 4. Получение и документирование эталонных сигнатур

Процесс получения эталонных сигнатур требует больших затрат. Эталонные сигнатуры можно получить ручным или автоматическим снятием сигнатур с исправного объекта или путем моделирования объекта на ЭВМ.

Документирование эталонных сигнатур реализуется в виде списков. Фирма Хьюлетт Пакард предлагает записывать эталонные сигнатуры прямо в функциональную схему объекта <sup>3/</sup>. В этом случае надо указать:

- программу, для которой эталонные сигнатуры являются действительными;
- эталонную сигнатуру всех контактов разъемов и микросхем;
- точки подсоединения входов СТАРТ, СТОП и ТАКТ анализатора;
- так называемую контрольную сигнатуру, с помощью которой можно проверить правильность подсоединения входов СТАРТ, СТОП и ТАКТ.

## 5. Поиск неисправностей с помощью сигнатурного анализа

Поиск неисправностей проводится методом обратного прослеживания неисправностей, начиная с одного из выходов диагностируемого объекта, фактическая сигнатура которого не совпадает с эталонной. Предпо-

лагается, что интегральные схемы, которые имеют неисправные сигна- туры как на выходах, так и на входах, являются бездефектными, т.е. они только передают неисправность. Дефект считается найденным тогда, когда найдена интегральная схема, которая имеет неисправную сигна- туру по меньшей мере на одном из ее выходов, исправные сигна- туры — на всех ее входах. Метод обратного прослеживания неисправностей обычно применяется для древовидных структур, но сходящиеся развет- вления не вызывают трудностей, потому что всегда только один из воз- можных путей прослеживается. Трудности возникают в том случае, когда в диагностируемом объекте имеются обратные связи. Если внутри петли обратной связи имеется дефект, то глубина поиска дефектов ограниче- на совокупностью тех элементов, которые образуют петлю.

#### 6. Сигнатурный анализ как способ разработки микропроцессорных устройств

Говорят, что сигнатурный анализ представляет собой не просто способ тестового диагностирования, но прежде всего способ разработ- ки микропроцессорных устройств, т.е. применение сигнатурного анали- за является только тогда эффективным, когда с самого начала учиты- ваются определенные требования способа. Главными требованиями явля- ются:

- возможность иницирования всех запоминающих элементов (т.е. триггеров, регистров, счетчиков, ОЗУ и т.п.);
- возможность разрезания обратных связей;
- возможность подачи входных воздействий.

Очевидно, что выполнение этих требований связано с большими затратами, и может показаться, что они оправданы только при серийном производстве. Однако в настоящее время стремятся к применению сигна- турного анализа для диагностики и таких устройств, которые произво- дятся в небольшом количестве, и даже таких, для которых не было предусмотрено применение сигнатурного анализа.

#### 7. Применение сигнатурного анализа для диагностики устройств, при разработке которых не было предусмотрено применение сигнатурного анализа

Из рассмотрения основной структуры микропроцессорного устройст- ва/6/ вытекает, что:

- существенные обратные связи проходят через сам микропроцессор;
- имеются "открытые" входы, т.е. входы без источника.

Основные условия для применения сигнатурного анализа могут быть выполнены без изменения устройства путем включения специального адаптера между самим микропроцессором и остальной схемой. При этом адаптер должен выполнять следующие требования:

- возможность любого разрезания связей между микропроцессором и остальной схемой;
- возможность подачи входных воздействий как на устройство в целом, так и отдельно на микропроцессор и на остальные схемы уст- ройства;
- возможность подачи входных воздействий на открытые входы.

В 1981 году фирма Хьюлетт Пакард объявила о выпуске адаптера model 5001 microprocessor exerciser (Stimpod) /7/, который удовлетворяет указанным свойствам. Адаптер предназначен для опреде- ленного типа микропроцессора. В работе /7/ сообщается о том, что адаптер для типа 6800 уже существует, а адаптеры для типов 8080, 8085 и z80 находятся в стадии разработки.

#### 8. Заключение

Область применения сигнатурного анализа в настоящее время из-за значительных затрат ограничена в основном сферой производства и сервиса устройств серийного производства, но трудности при обслужи- вании и ремонте микропроцессорных устройств, наряду с постепенным снижением стоимости, уменьшением габаритов и упрощением управления анализатором сигнатуры, приведут к тому, что применение сигнатурно- го анализа станет экономически целесообразным и для тех устройств, которые производятся в небольшом количестве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nadig, H.J.: Signature analysis—concepts, examples, guidelines. Hewlett-Packard Journal (1977) 5, 15-21.
2. TESLA : Анализатор признака BM578, предварительная спецификация, 1981.

3. Hewlett-Packard: Application Note 222, A Designer's guide to signature analysis. Santa Clara, CA.
4. Питерсон У.: Коды, исправляющие ошибки. "Мир", М., 1964.
5. Frohwerk, R.A.: Signature analysis: A new field service method. Hewlett-Packard Journal (1977) 5, 2 - 8 .
6. Intel: 8080 Microcomputer Systems User's Manual, 1975.
7. Rhodes-Burke, R.: Applying signature analysis to existing processor-based products. Electronics 54 (1981) 4, 127-133.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 мая 1983 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Науманн Б.  
О применении сигнатурного анализа  
для диагностики микропроцессорных устройств

11-83-321

Растущие трудности при обслуживании и ремонте микропроцессорных устройств привели к необходимости разработки эффективных способов компактного тестирования этих устройств. Одним из наиболее известных способов тестирования является так называемый сигнатурный анализ. В данной работе излагаются его основы и методика применения.

Из-за значительных начальных затрат область применения сигнатурного анализа в настоящее время ограничена устройствами вычислительной техники, выпускаемыми в серийном производстве. Однако усложнение аппаратуры, применяемой в современных системах автоматизации научных исследований в физике и других областях науки и техники, а также постепенное снижение стоимости анализаторов сигнатур по мере расширения сферы их применения приведут к тому, что сигнатурный анализ будет использоваться для диагностики и тестирования даже тех устройств, которые производятся в небольшом количестве.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Naumann B.  
Using the Signature Analysis  
in the Diagnosis of Microprocessor-Based Systems

11-83-321

The increasing difficulties in the field service of microprocessor-based systems require the use of efficient compact testing methods. One of the better known compact testing methods is the so-called signature analysis. This paper describes fundamentals and methodology of the application of the signature analysis. Because of the considerable initial expense the field of application of the signature analysis is limited to series production. Increasing hardware complexity of the systems and the signature analyser's low price will result, however, in the application of the signature analysis also for testing microprocessor-based systems with smaller series.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод автора.