

Пользователи ВС для ускорения процесса программирования Flash-памяти с использованием JTAG-контроллера могут прибегать к увеличению частоты сигнала ТСК, не превышая предельно допустимого значения (как правило, такую информацию предоставляют фирмы-разработчики ИС). Однако, существуют некоторые нововведения, например предложенные фирмой JTAG Technologies [6], позволяющие существенно ускорить процесс программирования. Одна из идей этой фирмы заключается в аппаратной реализации управления контрольным сигналом записи WE для микросхем Flash-памяти (технология AutoWrite (TM)) (Рис. 6.). При этом на запись одного слова памяти тратится не 2-3 полных цепи сканирования, а всего лишь одна.

На Рис.7 приведен график зависимости времени программирования Flash-памяти от частоты сигнала ТСК и длины общей цепи сканирования.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье были рассмотрены особенности проектирования встраиваемых систем, которые находят все большее применение в настоящее время. Были показаны особенности

использования механизма граничного сканирования JTAG при тестировании и отладке. В статье были приведены современные аспекты программирования Flash-памяти с использованием JTAG-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ярмолик В.Н., Калоша Е.П., Быков Ю.В., Климец Ю.В., Иванюк А.А. Проектирование самотестируемых СБИС // науч. Монография, в 2 т. – Мн.: БГУИР, 2001.
- [2]. Использование интерфейса JTAG для отладки встраиваемых систем / Ключев А.О., Коровьякова Т.А., Платунов А.Е. // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 1998. Т41, №5 С. 45-50.
- [3]. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника // СПб.: ВHV - Санкт-Петербург, 2000. - 528 с.
- [4]. Standard Test and Programming Language (STAPL), Electronic Industries Alliance JEDEC Solid State Technology Association // URL: <http://www.jedec.org>.
- [5]. JAM Programming and Test Language Specification / Altera Corporation, 1997 // URL: <http://www.altera.com>.
- [6]. JTAG Boundary-scan, test and in-system programming solutions (IEEE 1149.1) / JTAG Technologies Inc. // URL : <http://www.jtag.com>.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОМЕРНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА*

В.Н. Клячкин

Кафедра прикладной математики и информатики, Ульяновский государственный технический университет, Сев.Венец, 32, Ульяновск, 432027, Россия, e-mail: kl@ulstu.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются компьютерные технологии статистического контроля технологического процесса изготовления изделия, качество которого характеризуется совокупностью показателей, коррелированных между собой.

Для принятия решения по управлению процессом предлагается использование как совокупности одномерных контрольных карт по каждому показателю, так и специальных инструментов многомерного контроля – карт Хотеллинга, многомерных карт кумулятивных сумм и экспоненциально взвешенных скользящих средних.

Анализируются возможности универсального программного обеспечения (электронных таблиц и

статистических пакетов) для проведения одномерного и многомерного статистического контроля.

Приведено описание и технология работы пользователя специального пакета, разработанного для многомерного контроля технологического процесса.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одна из важнейших задач управления предприятием – обеспечение качества выпускаемой продукции. Концепция всеобщего менеджмента качества, в основе которой – стандарты ИСО серии 9000, требует сертификации систем качества предприятия с целью удовлетворения потребностей заказчика.

* Работа выполнена в рамках научно-технической программы Министерства образования РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» (проект 02.01.002)

Решение этой задачи невозможно без активного использования статистических методов и современных компьютерных технологий на всех этапах жизненного цикла продукции – при исследовании рынка, разработке технических требований и проектировании продукции, материально-техническом снабжении, подготовке производственных процессов и производстве продукции, ее контроле и испытаниях, упаковке и хранении, реализации, монтаже и эксплуатации, сервисном обслуживании, утилизации.

Активное внедрение CALS-технологий также требует формализованного описания и анализа процессов жизненного цикла изделия при создании системы обеспечения качества.

Наиболее широко статистические методы и соответствующие компьютерные технологии используются при контроле качества, в частности, при мониторинге процесса производства промышленной продукции.

Для статистического контроля и управления технологическим процессом, когда качество изделия характеризуется одним количественным показателем, как правило, используется двойная контрольная карта Шухарта: определяются средние значения этого показателя в мгновенных выборках и размахи или среднеквадратичные отклонения. Процесс статистически управляем, если рассчитанные по результатам измерений значения лежат в пределах контрольных границ, определяемых обычно на основе правила «трех сигма». Такие карты могут быть построены вручную, без использования компьютерной техники, непосредственно на рабочем месте.

При многомерном контроле, когда качество изделия характеризуется совокупностью показателей, в принципе возможен такой же контроль по каждому отдельному показателю, однако при этом могут быть выявлены не все нарушения процесса.

Известно, что при совместном, например, нормальном распределении показателей качества доверительная область представляет собой эллипсоид. При независимом контроле по отдельным показателям статистически управляемым считается процесс, при котором контролируемые величины лежат в пределах многомерного прямоугольного параллелепипеда (его контуры определяются контрольными границами для каждого отдельного показателя качества). Фактически же точки, лежащие внутри этого параллелепипеда, но вне эллипсоида, свидетельствуют о нарушении процесса.

Это нарушение может быть связано с совместным влиянием нескольких показателей качества, которое не может быть диагностировано кон-

тролем по отдельным показателям, поэтому должны использоваться и специальные многомерные карты.

Тем не менее $\bar{X} - s$ карты Шухарта (средних значений и стандартных отклонений) для каждого из показателей качества полезно вести с точки зрения интерпретации многомерного контроля и определения причин нарушений технологического процесса. Кроме того, иногда контроль по отдельным показателям позволяет выявить нарушение процесса раньше, чем многомерные контрольные карты.

Карты Шухарта недостаточно чувствительны к небольшим изменениям среднего значения, характеризующего уровень настройки процесса. Для обнаружения таких изменений более приспособлены карты, основанные на алгоритмах, учитывающих историю процесса: кумулятивных сумм (CUSUM-карты) и экспоненциально взвешенных скользящих средних (EWMA-карты) [1]. Карты кумулятивных сумм могут строиться с использованием V-маски или схемы интервалов принятия решения. Маска удобна для одномерных процессов, при многомерном контроле используются интервалы принятия решения.

Для надежного контроля технологического процесса целесообразно совместное использование рассмотренных типов контрольных карт. Однако даже для одномерного процесса это проблематично без использования компьютерной техники, а при нескольких показателях качества – практически нереально.

Кроме того, при компьютерном контроле появляется возможность использовать для управления процессом не только факт выхода определяемой статистики за контрольные границы, как при построении карты вручную, но и наличие случайных структур, указывающих на специальные причины нестабильности процесса, например, наличие тренда (монотонно возрастающая или убывающая последовательность точек), серий (последовательности точек по одну сторону от средней линии) и других [2].

2. МОДЕЛИ МНОГОМЕРНОГО КОНТРОЛЯ

Для многомерного контроля технологического процесса могут быть использованы некоторые специальные модели, свободные от недостатков, присущих независимому контролю по отдельным показателям качества. Вместе с тем следует иметь в виду, что многомерные модели гораздо труднее интерпретируются, поэтому целесообразно использовать эти средства совместно.

Многомерные модели основаны на статистике Хотеллинга T^2 [3], представляющей квадратичную форму, которая для l -й мгновенной выборки определяется по формуле

$$T_l^2 = n(\bar{X}_l - \mu)^T \Sigma^{-1} (\bar{X}_l - \mu), \quad (1)$$

где n – объем выборки, Σ – ковариационная матрица размерности $p \times p$ (p – количество контролируемых показателей),

$$\mu = (\mu_1, \dots, \mu_p)^T$$

– вектор целевых средних (μ_j – целевое среднее по j -му показателю качества; $j = 1, \dots, p$),

$$\bar{X}_l = (\bar{x}_{l1}, \dots, \bar{x}_{lp})^T$$

вектор средних значений, \bar{x}_{lj} – среднее значение в l -й мгновенной выборке по j -му показателю.

При известной ковариационной матрице статистика Хотеллинга имеет χ^2 -распределение. Процесс статистически управляем, если

$$T_l^2 < \chi_{1-\alpha}^2(1-p),$$

где α – заданный уровень значимости.

При необходимости (если целевые средние и ковариационная матрица неизвестны заранее) находят оценку целевых средних

$$\mu_j = \sum \sum x_{ijl} / mn$$

и оценка S ковариационной матрицы Σ :

$$s_{jk} = \sum \sum (x_{ijl} - \mu_j)(x_{ikl} - \mu_k) / m(n-1), \\ j, k = 1, \dots, p.$$

(m – количество мгновенных выборок, использованных для оценивания). Эти расчеты проводятся на этапе отлаженного технологического процесса (этап «обучения»).

Если компоненты ковариационной матрицы оцениваются непосредственно по выборке, критическое значение статистики Хотеллинга определяется с использованием таблицы квантилей F -распределения

$$T_{kp}^2 = [pm(n-1)/(mn-m-p+1)] \times \\ \times F_{1-\alpha}(p, mn-m-p+1).$$

Контрольная карта Хотеллинга, построенная на базе зависимости (1) с контрольной границей, определяемой квантилью $\chi_{1-\alpha}^2(1-p)$, эффективна для обнаружения больших сдвигов процесса. Для диагностики малых и средних сдвигов при многомерном контроле, как и при одномерном, могут использоваться карты кумулятивных сумм и скользящих средних.

Возможны несколько вариантов обобщения алгоритма кумулятивных сумм для многомерной ситуации (построения MCUSUM-карт). Один из них – последовательное накопление значений статистики Хотеллинга. Другой – расчет кумулятивных сумм по каждому показателю качества отдельно, а затем формирование обобщенного показателя на базе статистики Хотеллинга. Наиболее эффективной оказалась модель Пигнателло-Рунгера [4] – одна из модификаций второго варианта. Рассчитывается вектор кумулятивных сумм

$$D_l = \sum (\bar{X}_t - \mu); \quad (2)$$

$$t = l - d_l + 1, \dots, l,$$

и статистика

$$MC_l = \max[0, (D_l^T \Sigma^{-1} D_l)^{1/2} - k_{MC} d_l] \quad (3)$$

где

параметр $k_{MC} > 0$; $d_l = d_{l-1} + 1$ при $MC_{l-1} > 0$, в противном случае $d_l = 1$. Процесс стабилен, если MC_l меньше критического значения MC_{kp} , определяющего границу контрольной карты многомерных кумулятивных сумм.

Контрольная карта многомерных экспоненциально взвешенных скользящих средних (MEWMA-карта), обобщающая соответствующую одномерную модель, предложена Лоури [5]. Определяется вектор

$$Z_l = (1 - k_{ME})Z_{l-1} + k_{ME} \bar{X}_l; \quad (4)$$

($Z_0 = 0$; $0 < k_{ME} < 1$ – параметр сглаживания) и статистика

$$ME_l = Z_l^T \Sigma_z^{-1} Z_l, \quad (5)$$

где Σ_z – ковариационная матрица величин Z_l

$$\Sigma_z = \{ [k_{ME}/(2 - k_{ME})] [1 - (1 - k_{ME})^{2l}] \} \Sigma \quad (6)$$

Рассчитанная величина ME_l сравнивается с критическим значением ME_{kp} : процесс статистически управляем при $ME_l < ME_{kp}$.

Параметры моделей кумулятивных сумм (k_{MC} и MC_{kp}) и экспоненциально взвешенных скользящих средних (k_{ME} и ME_{kp}) могут быть найдены путем статистических испытаний из условий наибольшей эффективности контроля: минимизируется средняя длина серий – количество мгновенных выборок от момента нарушения технологического процесса (сдвига среднего значения) до момента обнаружения этого нарушения.

При этом заранее задается средняя длина серий при отсутствии нарушения процесса, определяющая вероятность ложной тревоги (карта показывает разладку процесса, хотя на самом деле ее нет, например, в одном случае из 200 или 500), и величина сдвига среднего значения, на которую должна быть настроена контрольная карта (соответствует смещению уровня настройки, опасному для данного технологического процесса).

Возможен вариант настройки разных моделей на различные, оптимальные для данной модели, значения сдвига.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для построения совокупности одномерных карт Шухарта можно воспользоваться электронными таблицами Excel. По введенным в таблицу исходным данным с результатами измерений рассчитываются значения контролируемых статистик и контрольные границы; с помощью графических средств (мастер диаграмм) строятся карты.

Не вызывает серьезных затруднений и расчет одномерных карт кумулятивных сумм и экспоненциально взвешенных скользящих средних. При необходимости могут быть созданы шаблоны или макросы для автоматизации выполняемых действий.

Для более сложных расчетов понадобится привлечь возможности надстройки «Анализ данных» и специальные статистические функции, в частности, квантили χ^2 -распределения.

Учитывая широкое распространение табличного процессора Excel, это один из наиболее простых способов компьютеризации контроля одномерного технологического процесса. Книга [6] о статистическом контроле качества с использованием Excel неслучайно стала одним из наиболее популярных изданий среди американских специалистов по контролю качества.

Более эффективно использование одного из статистических пакетов (Statistica, Statgraphics, SPSS и других). Универсальные статистические пакеты очень удобны по предоставляемым ими возможностям проведения различных статистических исследований. Еще до построения контрольных карт можно провести полный анализ данных, введенных в файл, представляющий собой электронную таблицу: проверить нормальность распределения, определить индексы воспроизводимости процесса по отдельным показателям качества (показывающие соотношение между техническими допусками на данный показатель и возможно-

стями процесса), оценить степень коррелированности показателей, проверить данные на наличие аномальных наблюдений, проанализировать качество измерений и т.п.

Некоторые пакеты, наряду с картами Шухарта и картами кумулятивных сумм и скользящих средних, имеют и набор средств для многомерного контроля.

В универсальной системе статистического анализа данных Statistica модуль «Контроль качества» специально предназначен для построения контрольных карт [7]. По введенному файлу исходных данных (это могут быть непосредственно результаты измерений или предварительно обработанные данные: средние значения в мгновенных выборках и характеристики рассеяния) можно построить двойные карты Шухарта (при этом в качестве характеристики рассеяния можно выбрать размах, среднее квадратичное отклонение или дисперсию).

При построении карты кумулятивных сумм задаются вероятности ошибок первого и второго рода и величина изменения среднего значения, на которое должна быть настроена карта. Дополнительно могут быть введены значения целевой средней и стандартного отклонения, если они известны заранее, а не вычисляются непосредственно в ходе расчета. Для принятия решения используется V-маска; ее местоположение на контрольной карте может быть задано пользователем.

Также могут быть построены два типа карт скользящих средних (задается параметр сглаживания), регрессионные карты (позволяющие проанализировать возможные связи между двумя показателями качества), диаграммы Парето и другие.

Для обработки данных с различными объемами мгновенных выборок предусмотрены три варианта построения контрольных карт: по среднему объему выборки, по нормированным данным или по фактическому объему выборки с использованием ступенчатых границ.

Управление технологическим процессом возможно как с использованием обычных («трехсигмовых») контрольных границ, так и с измененным уровнем значимости (что важно при многомерном контроле процесса: очевидно, что уровни значимости для многомерной карты и совокупности нескольких одномерных будут различны). Кроме того, могут быть установлены предупредительные (например, «двухсигмовые») границы.

Особый интерес представляет возможность построения многомерной карты Хотеллинга. Расчет проводится как для индивидуальных наблюдений (объем мгновенной выборки – единица), так и группированных. Ковариационная матрица может

быть оценена непосредственно по результатам наблюдений, или введена в виде отдельного файла, если она известна. Уровень значимости вводится пользователем. При необходимости на карту Хотеллинга (как и на другие карты) могут быть наложены и сглаженные значения (возможно сглаживание скользящей средней или экспоненциальное сглаживание с заданием соответствующих параметров).

Если в качестве исходных данных использовать найденные при построении многомерной карты значения статистики Хотеллинга, то по ним могут быть построены карты кумулятивных сумм и экспоненциально взвешенных скользящих средних, однако, как показывают исследования, такой подход существенно менее эффективен для обнаружения нарушений процесса, чем использование зависимостей (2) – (6) [8].

Существует и другая причина, осложняющая применение универсальных программных пакетов для проведения многомерного контроля. Такой контроль целесообразно проводить в два этапа: на этапе обучения, когда рассматривается отлаженный процесс, удовлетворяющий техническим требованиям, оцениваются его параметры – ковариационная матрица, контрольные границы для карт разных типов, и другие. На втором этапе осуществляется мониторинг характеристик технологического процесса при производстве изделий: непосредственно в ходе контроля эти данные используются для принятия решения.

4. ПРОГРАММА МНОГОМЕРНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА¹

Программа предназначена для промышленных предприятий и может быть использована для проведения статистического контроля одновременно до десяти показателей качества технологического процесса, в общем случае коррелированных между собой.

Результат работы программы – сообщение о наличии (или отсутствии) нарушений процесса на базе компьютерного статистического анализа данных по результатам мониторинга процесса и рекомендации по управляющему воздействию на технологический процесс.

4.1. Основные характеристики

Результаты измерений вводятся в виде текстового файла данных или интерактивно непосредственно

венно по мере проведения измерений.

Принятие решения о статистической управляемости процесса производится на основе компьютерного анализа данных по всем рассмотренным выше типам контрольных карт: одномерным картам для каждого показателя качества (карты Шухарта для средних значений и среднеквадратичных отклонений, карты кумулятивных сумм и экспоненциально взвешенных скользящих средних для отклонений средних значений мгновенных выборок) и трем типам многомерных карт.

Результаты контроля представляются в текстовом виде (указывается, по какому показателю качества какое из используемых средств и в какой момент показало нарушение процесса), графически (доступен просмотр любой контрольной карты как для каждого отдельного показателя, так и многомерных) и численно (выводятся числовые значения всех рассчитываемых статистик).

Программа представляет собой обычное Windows-приложение, разработана в среде Delphi 5, не требует специальных средств для установки: объем программы 0,8 Мбайт. Может работать на любом компьютере с операционной системой Windows. При большом объеме обрабатываемой информации (более пяти показателей качества, более 200 измерений по каждому показателю) скорость анализа существенно зависит от характеристик процессора и объема оперативной памяти.

4.2. Этап Обучения

При отлаженном технологическом процессе снимаются данные измерений каждого из показателей качества для определенного числа мгновенных выборок заданного объема. По результатам измерений создается текстовый файл исходных данных.

После загрузки программы многомерного контроля этот файл вводится для обработки с помощью кнопки «Ввод обучающей выборки». Таблица с данными может быть просмотрена и при необходимости отредактирована непосредственно в окне программы. Данные представляются в виде аналогичном электронной таблице исходных данных пакета Statistica: правый столбец таблицы идентифицирует номера мгновенных выборок.

Для обработки обучающей выборки вводятся предполагаемые значения параметров контроля: уровни значимости для расчета карт Шухарта и Хотеллинга, значения коэффициентов и контрольных границ для одномерных и многомерных карт кумулятивных сумм и экспоненциально взвешенных скользящих средних.

¹ В разработке программы принимали участие студенты специальности «Прикладная математика и информатика» экономико-математического факультета УлГТУ С.Ларин, Л.Карбаев и Д.Миронов

Кнопка «Обработка обучающей выборки» предназначена для проведения всех расчетов по обучающей выборке: вычисляются оценки вектора целевых средних и ковариационной матрицы, проводится расчет контрольных карт – одномерных по всем p показателям (\bar{X} -s карты, CUSUM и EWMA-карты) и трех многомерных (T^2 -карта, MCUSUM, MEWMA).

Результаты контроля процесса по обучающей выборке выводятся в основном окне программы. При правильном выборе параметров контроля отлаженный процесс должен быть статистически управляемым: панель с результатами контроля должна показывать отсутствие нарушений технологического процесса.

Контрольные карты могут быть просмотрены в специальном окне (кнопка «Карты»). В верхней части окна «Контрольные карты» могут быть последовательно выведены все типы одномерных карт для каждого из показателей качества (устанавливается переключатель типа карты, выбирается номер интересующего показателя качества, нажимается кнопка «Нарисовать»).

Подобным образом в нижней части этого окна просматриваются многомерные карты.

Для более подробного визуального изучения карт предусмотрены специальные средства увеличения и уменьшения изображения, прокрутка его в любом направлении.

Числовые результаты расчета могут быть просмотрены в отдельном окне (кнопка «Результаты»): выводятся вектор целевых средних, ковариационная матрица, все данные (для каждой мгновенной выборки) по контрольным картам.

Режим обработки обучающей выборки может быть использован и для проведения статистических испытаний с целью проверки правильности выбора параметров контрольных карт. В этом случае в таблицу с обучающей выборкой вводятся данные, имитирующие различные нарушения процесса по одному или нескольким показателям. Программа покажет, как конкретная карта отреагирует на данное нарушение. При необходимости параметры карт могут быть изменены.

4.3. Мониторинг процесса

В процессе контроля показателей качества изготавливаемого изделия данные, собранные за определенный период, могут вводиться из файла, как и для обучающей выборки.

Более эффективен оперативный контроль в режиме реального времени, когда результаты измерений показателей в каждой мгновенной выборке вводятся интерактивно. В последнем случае кон-

троль производится для одной мгновенной выборки с целью оценки управляемости процесса именно в данный момент времени.

Для анализа поступивших данных используется кнопка «Обработка контрольной выборки». Данные обрабатываются с использованием результатов, полученных на этапе обучения.

В главном окне программы можно сразу увидеть, произошло ли нарушение процесса, какой из инструментов статистического контроля просигнализировал о наличии нарушения, по какому показателю (или совокупности показателей) произошло нарушение технологического процесса.

Если процесс проходит нормально, соответствующая информация выводится на панели результатов. Обработка данных при проведении очередного контроля будет учитывать и все ранее полученные результаты. Это особенно важно при расчете карт кумулятивных сумм и скользящих средних, учитывающих историю процесса.

Более подробный анализ с просмотром карт и числовых значений проводится также, как и для обучающей выборки.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг характеристик технологического процесса, качество которого определяется множеством коррелированных между собой показателей, возможен только с использованием компьютерных технологий. Использование одномерного контроля вместо многомерного, пусть даже и по наиболее важному показателю, может привести к существенному искажению результатов.

Наиболее эффективно использование специального программного обеспечения, позволяющего оперативно и всесторонне проанализировать процесс с использованием различных статистических инструментов и дать наиболее объективное заключение об управляемости технологического процесса и необходимости его регулировки.

Отдельные вопросы многомерного контроля могут быть решены и с использованием универсальных программных средств – статистических пакетов и электронных таблиц. Эффективное использование этих средств возможно лишь для одномерного контроля.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Миттаг Х., Ринне Х. Статистические методы обеспечения качества. – М.: Машиностроение, 1995. – 616 с.

- [2].Шпер В.Л. Еще раз о контрольных картах и вокруг них // Надежность и контроль качества. 1998, №12, с.3-13.
- [3].Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике.–М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 598 с.
- [4].Pignatiello J.J., Runger G.C. Comparision of Multivariate CUSUM-Chart // Journal of Quality Technology. 1990, 22(3), pp.173-186.
- [5].Lowry C.A., Woodal W.H., Champ C.W., Rigdon S.E. A multivariate exponencially weighted moving average control chart // Technometrics, 1992, 34, pp.46-53.
- [6].Zimmerman S.M., Icenogle M.L. Statistical Quality Control using Excel. – N.Y., 1999. – 346 p.
- [7].Клячкин В.Н. Компьютерные технологии контроля качества в пакете Statistica. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 48 с.
- [8].Клячкин В.Н. Оценка эффективности многомерного контроля качества технологического процесса // Вестник УлГТУ. Информационные технологии. 1999, №2, с.59-62