

УДК 621.382

Г.Ю. Щербакова

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина
Galina_onpu@mail.ru

Оценка параметров DN-распределения с помощью помехоустойчивой кластеризации для автоматизированных систем технической диагностики

Разработан метод оценки параметров DN-распределения при отбраковочных испытаниях изделий электронной техники и процедура реализации этого метода. Повышение помехоустойчивости и снижение погрешности процедуры отбраковки достигается за счет применения мультистартового субградиентного итеративного метода адаптивной кластеризации в пространстве вейвлет-преобразования.

Автоматизированные системы технической диагностики (АСТД) при производстве изделий электронной техники (ИЭТ) используются для решения различных задач, в том числе и для оценки параметров надежности. Поскольку современное состояние электроники характеризуется увеличением многофункциональности и микроминиатюризации ИЭТ, информация в таких системах представлена в виде многомерных массивов коррелированных между собой параметров, применение АСТД для оценки параметров надежности сложных ИЭТ не имеет альтернатив. При производстве ИЭТ часто необходимо отобрать для особо важной аппаратуры более надежные ИЭТ, для чего необходимо выбрать модель оценки надежности и оценить ее параметры. В случае если планируется оценить влияние внезапных отказов, чаще всего ограничиваются оценкой одного параметра – интенсивности отказов экспоненциального распределения λ . Снижают погрешность оценки параметров надежности, применяя двухпараметрическое распределение, в частности, двухпараметрическое DN-распределение [1-4].

Длительность ускоренных испытаний значительно меньше реальной долговечности ИЭТ. В связи с высокой надежностью ИЭТ эти испытания проводятся до отказа малой части выборки и поэтому сопровождаются значительной погрешностью. Источником погрешности является высокая дисперсия оценки параметров DN-распределения, которая еще и увеличивается за счет зашумленности данных о надежности (объективных и субъективных ошибок при их сборе и учете).

При таких исследованиях, например, в процессе ускоренных испытаний интегральных схем (ИС) на долговечность выявлено, что их интенсивность отказов имеет бимодальный характер (первый пик характеризует отказы аномальных ИС, а второй – отказы основной части выборки); при этом среднее время безотказной работы для этих групп ИС может отличаться на четыре порядка [5]. В подобной ситуации для повышения помехоустойчивости и понижения погрешности оценки параметров надежности при отбраковке потенциально ненадежных ИЭТ необходимо повысить помехоустойчивость и понизить погрешность разделения партии ИЭТ на две группы.

Состояние ИЭТ при отбраковке описывается значением их параметров, которые изменяются от объекта к объекту, а в процессе испытаний – и во времени. Когда этих параметров много и они коррелированы между собой, при разделении ИЭТ применяют автоматизированный подход, который реализуют с помощью одного из методов распознавания образов – статистической классификации. Такая классификация состоит из двух этапов – кластеризации и классификации. Методы кластеризации используются для разбиения ИЭТ на группы (кластеры), а методы статистической классификации – для принятия решения при оценке параметров надежности. В процессе кластеризации при отбраковке среди испытуемых ИЭТ нужно выделить две компактные подгруппы (кластеры) с общими свойствами и разной степенью монотонности зависимости контролируемых параметров от наработки [5]. Оценить скорость изменения параметров ИЭТ кластера возможно, применяя адаптивный подход, когда начальные параметры центров кластеров определяются из анализа в предыдущий момент времени.

ИЭТ разделяют на кластеры по признаку компактности параметров, посредством оптимизации функционала качества. Метод оптимизации выбирают с учетом свойств этого функционала качества, который может быть явно не известен, может обладать поверхностью многоэкстремальной, зашумленной, поскольку отбраковка может производиться по малым выборкам. Методы кластеризации, основанные на градиентном поиске, в этих условиях не обеспечивают достаточной помехоустойчивости, а субградиентные методы – достаточной точности. Для снижения влияния этих недостатков предлагается применить мультистартовый субградиентный итеративный метод адаптивной кластеризации в пространстве вейвлет-преобразования (ВП), позволяющий проводить кластеризацию с низкой погрешностью при высоком уровне помех в данных и малых объемах выборок [6].

Целью данной работы является разработка метода определения параметров DN-распределения для оценки надежности партии ИЭТ для повышения помехоустойчивости и снижения погрешности автоматизированной отбраковки в АСТД с помощью мультистартового субградиентного адаптивной кластеризации в пространстве ВП и процедуры реализации этого метода.

Создание и использование информационных технологий и автоматизированных систем технической диагностики (АСТД) при производстве изделий электронной техники (ИЭТ) в значительной степени определяется возможностями получения и обработки необходимой для диагностики информации, так и наличием методологических основ, позволяющих на основе этой информации принимать решения. АСТД в электронике используются для решения различных задач, в том числе и для оценки параметров надежности. Поскольку современное состояние электроники характеризуется увеличением многофункциональности и микроминиатюризации ИЭТ, информация в таких системах представлена в сложной форме, в виде многомерных массивов коррелированных между собой параметров, применение АСТД для сложных ИЭТ не имеет альтернатив. АСТД в процессе своего функционирования используют процедуры формирования и обработки информации, позволяющие принимать решение о степени соответствия параметров объекта требованиям нормативно-технической документации и сформировать при необходимости соответствующие управляющие воздействия в процессе производства. Именно поэтому снижение погрешности принятых решений в АСТД, особенно в случае выбора надежных ИЭТ для аппаратуры ответственного назначения, где велика цена неверного решения, является достаточно важной задачей.

Область применения таких систем при выборе надежных ИЭТ ограничена действием комплекса противоречий. С одной стороны, рост качественных характеристик

систем формирования и отображения информации АСТД обусловлен высокой стоимостью их аппаратной части (систем тестирования, точной механики и оптики). С другой стороны, быстрое совершенствование элементной базы и технологий монтажа является причиной роста количества организаций, ориентированных на мелкосерийное, опытное производство, производство прототипов, для которых применение таких АСТД ограничено экономическими причинами. Сокращение жизненного цикла продукции в электронике требует сокращения времени на контрольно-диагностические операции при выборе надежных ИЭТ, что обуславливает необходимость проведения таких операций по малым выборкам данных, увеличивая их зашумленность; зашумленность данных в АСТД растет также из-за помех в каналах связи, неравномерности изменения температуры объекта или датчиков и т.д., а процедуры принятия решений в АСТД на основе градиентных итеративных алгоритмов последовательного приближения отличаются низкой помехоустойчивостью. В связи с ростом сложности электронной аппаратуры для обеспечения систем безопасности различных производств растут требования к ее надежности, с другой стороны, процедуры принятия диагностических решений, разработанные на основе помехоустойчивых субградиентных итеративных алгоритмов последовательного приближения, отличаются высокой погрешностью. Кроме того, отсутствуют методологические основы, позволяющие на основе существующих методов выбора распределений надежности и оценки их параметров повысить степень автоматизации выбора надежных ИЭТ.

Чаще всего оценивают надежность ИЭТ и устройств на их основе с помощью экспоненциального распределения с одним параметром – интенсивностью отказов λ . При этом допущение о постоянстве λ во времени повышает погрешность оценки надежности по сравнению с двухпараметрическими распределениями. Экспоненциальное распределение применяют, когда преобладают внезапные отказы [1], но оно не подходит для описания наработки, если происходит много приработочных отказов или существенны явления старения, что приводит к изменению интенсивности отказов во времени [2]. Поэтому использование экспоненциальной модели отказа при оценке параметров надежности ИЭТ приводит к существенным погрешностям [1]. В связи с этим с помощью экспоненциального распределения рекомендуется проводить относительную оценку параметров надежности на этапе эскизного проектирования, когда необходимо оценить надежность различных вариантов, и на основании их анализа выбрать элементную базу [3].

Для выявления и удаления ИЭТ с действительными и потенциальными отказами из готовой партии до поставки потребителю проводят отбраковочные испытания при выходном контроле. Для оценки соответствия отобранных ИЭТ требованиям потребителя параметры их надежности оцениваются, как правило, в процессе ускоренных цензурированных испытаний. В процессе таких испытаний при анализе деградиационных процессов, приводящих к отказам ИЭТ, выявлено, что они имеют случайную природу, причем изменение этих процессов носит как монотонный, так и не монотонный характер. Так, например, сложные ИЭТ, такие как интегральные схемы (ИС), одновременно подвержены влиянию множества факторов. Эти факторы, некоррелированные и коррелированные между собой, формируют общий процесс деградации ИС. Параметры деградиационных процессов, превышение которыми определенных значений может вызвать отказ компонента ИС, имеют разную физическую природу: скопление дислокаций, пластические и упругие деформации, усталостное механическое разрушение, электролитическая коррозия, генерация и перемещение зарядов на поверхности кристалла полупроводника и т.д. [1], [3].

Сравнительный анализ вероятностно-физических распределений, учитывающих физические процессы, приводящие к отказу, изложен в [3]. Исходя из этого анализа, рассчитанные оценки надежности таких сложных ИЭТ, как ИС, по результатам ускоренных испытаний имеют погрешность не более 10%, если в качестве модели отказов используется двухпараметрическое диффузионное DN-распределение, соответствующее немонотонному марковскому процессу [1], [4]. В случае, когда не удается установить превалирующие процессы деградации, приводящие к отказам, также рекомендуется использовать это распределение для объектов, состоящих из ИЭТ [4].

Задача оценки параметров DN-распределения состоит в следующем. Пусть имеется N объектов (ИЭТ), каждый характеризующийся набором из k параметров. Вектор $x_j(t) = (x_j^1(t), x_j^2(t), \dots, x_j^k(t))$ характеризует состояние j -го объекта в момент времени t . Это означает, что взаимное расположение множества точек $x_1(t), \dots, x_N(t)$ в k -мерном пространстве параметров X отражает реальную классификацию (группировку по параметрам во времени) исследуемых объектов. Для выявления этой структуры используется мультистартовый метод кластеризации [6]. С его помощью при отбраковке в момент времени t_1 производится разделение n точек в пространстве X на 2 класса (кластера). Вводится понятие центра класса $a_i(t)$, $i = 1, \dots, r$. В момент времени t_2 каждая точка $x_j(t_2)$ с помощью классификации относится к тому или иному классу, полученному на первом шаге. Далее производится пересчет значений центров кластеров $a_i(t_2)$, $i = 1, \dots, r$, и подсчет для точек $x_j(t_2)$ расстояний до новых центров $i = 1, \dots, r$, $j = 1, \dots, n$. Такая процедура выполняется для всех m моментов времени. Далее для каждой из двух групп оцениваются параметры DN-распределения [4], [7]

$$F(t) = DN(t; \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right) + \exp(2\nu^{-2})\Phi\left(-\frac{t + \mu}{\nu\sqrt{\mu t}}\right), \quad (1)$$

где μ – параметр масштаба, совпадающий с математическим ожиданием случайной величины t ; ν – параметр формы, равный коэффициенту вариации распределения величины t .

Предлагаемый метод опробован на примере партии резисторов, предназначенных для аппаратуры ответственного назначения [8]. В качестве прогнозирующих параметров использованы уровень шума и математическое ожидание изменения сопротивления в группах. Данные первого контроля (через 24 часа работы в нагруженном режиме) разделены с помощью адаптивной кластеризации на 2 кластера, включившие: первый – группы с 1 по 8, второй – 9 группу по уровню шума [8], [9].

Далее по методике [10] были вычислены коэффициенты вариации диагностического параметра – математического ожидания изменения сопротивления для первого, второго кластера и всей партии резисторов без отбраковки по формуле

$$\nu_j = \frac{\sqrt{n}}{\sum_{i=1}^n \Delta x_{ji}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\Delta x_{ji} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji} \right)^2}, \quad (2)$$

где $\Delta x_{ji} = x_{j,i+1} - x_{ji}$, индекс j – соответствует номеру кластера $j = 1, 2$ или $j = 3$ для всей партии резисторов; индекс i соответствует моменту времени (наработки) t_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Интервалы между измерениями $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ приняты неравномерными (математическое ожидание изменения сопротивления определялось через 24, 168, 1 000, 5 000, 10 000 часов после начала измерений) [8]. Далее согласно методике [4], с учетом того, что значения ν_j составили соответственно $\nu_1 = 1,38$, $\nu_2 = 1,43$ и $\nu_3 = 1,55$, оцениваются параметры масштаба посредством решения уравнения

$$F_j(t_i, \mu_{ji}, \nu_j) = \tilde{F}_j(t_i), \quad (3)$$

где $\tilde{F}_j(t_i) = i/N$, ($i = 1, \dots, r$); i – номер отказа в соответствующем кластере ($i = 1, \dots, r$); t_i – наработка i -го отказавшего резистора, поскольку точная информация о моменте отказа отсутствует [8], при расчетах моментом отказа считалась правая граница временного интервала, в течение которого он отказал.

Усредненная оценка параметра $\bar{\mu}_j$ для каждой из трех групп резисторов определялась как

$$\bar{\mu}_j = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \bar{\mu}_{ji},$$

где $\bar{\mu}_{ji}$ – результаты решений уравнений (3) при ($i = 1, \dots, r$).

В результате рассчитанные значения средней наработки до отказа составили соответственно 4,8 лет при отсутствии отбраковки, 7,5 лет – для резисторов первого кластера и порядка 2 лет для резисторов второго кластера.

Разработан метод определения параметров для DN-распределения при отбраковочных испытаниях ИЭТ и процедура реализации этого метода. Метод опробован на примере отбраковки резисторов по уровню шума и стабильности. Повышение помехоустойчивости и снижение погрешности процедуры отбраковки достигается за счет применения в этом методе мультистартового субградиентного итеративного метода адаптивной кластеризации в пространстве ВП (относительная погрешность определения минимума тестовой функции при кластеризации с отношением сигнал/шум по амплитуде 1,17 составила 8,32% [6]). Этот результат позволяет рекомендовать разработанный метод при автоматизированном отборе ИЭТ, предназначенных для длительно работающей аппаратуры ответственного назначения.

Литература

1. Романов В. Количественная оценка надежности интегральных микросхем с учетом математической модели отказов / В. Романов // ЭКиС. – 2005. – № 4. – С. 4-7.
2. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен; пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
3. Стрельников В.П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры / В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2007. – № 3-4. – С. 227-238.
4. Серебровский А.Н. Об использовании вероятностно-физических моделей отказов для оценки вероятностей элементарных событий, порождающих техногенную опасность / А.Н. Серебровский, В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 137-143.
5. Строгонов А. Оценка долговечности БИС по результатам ускоренных испытаний [Электронный ресурс] / А. Строгонов // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 3. – Режим доступа к ресурсу : http://www.tech-e.ru/2007_3_90.php.
6. Щербакова Г.Ю. Адаптивная кластеризация в пространстве вейвлет-преобразования / Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2009. – № 6 (40). – С. 123-127.

7. Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники / В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2004. – № 2. – С. 186-195.
8. Неразрушающий контроль элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры / [Б.Е. Бердичевский, Л.Г. Дубицкий, Г.М. Сушинский, А.П. Агеев]; под ред. Б.Е. Бердичевского. – М. : Сов. радио, 1976. – 296 с.
9. Щербакова Г.Ю. Прогнозирование надежности при отбраковке с помощью помехоустойчивой кластеризации / Г.Ю. Щербакова, В.Н. Крылов // Материалы Международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта» ISDMCI'2010. – Херсон : ХНТУ, 2010. – Т. 2. – С. 509-511.
10. Стрельников В.П. Оценка остаточного ресурса на основе измерения диагностических параметров [Электронный ресурс] / В.П. Стрельников // Системотехника. – 2003. – № 1. – С. 1-7. – Режим доступа к ресурсу : <http://systech-miem.edu.ru/2003/n1/Strelnikov.htm>.

Г.Ю. Щербакова

Оцінка параметрів DN-розподілу за допомогою завадостійкої кластеризації для автоматизованих систем технічної діагностики

Розроблено метод визначення параметрів DN-розподілу для оцінки надійності під час відбраковування виробів електронної техніки. Запропоновано процедуру реалізації цього методу. Підвищення завадостійкості і достовірності процедури відбраковування досягається за рахунок використання мультистартового субградієнтного ітеративного методу адаптивної кластеризації в просторі вейвлет-перетворення.

G. Yu. Shcherbakova

DN-distribution Parameters Evaluation with Noise Stability Clustering for the Automated Systems of Technical Diagnostics

The DN-distribution parameters evaluation method and own implementation procedure for the reliability estimation in time of electronic components accelerated life test was carrying out. In that procedure multi starting sub gradient iterative clustering methods for electronic components division in two groups by reliability level is used. That division procedure noise immunity increasing and error decreasing by applying of this clustering method was achieved.

Статья поступила в редакцию 01.06.2010.