выбрана оптимальная полоса объезда препятствия. По этой модели уже можно оценить по какому маршруту будет направлен поток, в отличие от макромоделей.

С точки зрения микромоделей (модели клеточных автоматов) трасса представляет собой трехмерную решетку, в которой количество ячеек в поперечном направлении соответствует числу полос трассы. Препятствие в виде ДТП можно представить в виде «битой ячейки», движение по которой невозможно. Смена состояний автомата (положения автомобилей) происходит за один временной шаг. Таким образом, можно рассмотреть движение каждого отдельно взятого автомобиля.

Разные задачи требуют разной степени точности, поэтому выбор модели транспортного потока зависит от требуемой детализации процесса.

***

1. Потапова, И.А. Методы моделирования транспортного потока / И.А. Потапова, И.Н. Бояршинова, Т.Р. Исмагилов // *Fundamental Research*. – 2016. – № 10. – С. 338-342.
2. Ильясов, Э.Э. Расчет матрицы корреспонденций с использованием параллельных вычислительных технологий / Э.Э. Ильясов, А.М. Амиров // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2014. – № 2(33). – С. 42-46.
3. Раевская, А.П. Методы оценки матрицы корреспонденций в загруженных транспортных сетях / А.П. Раевская, А.Ю. Крылатов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ* – 2016. – № 1(236). – С. 31-40.
4. Селиверстов, Я.А. Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ* – 2015. – № 2(217). – С. 49-70.
5. Бабичева, Т.С. Двухстадийная модель равновесного распределения транспортных потоков / Т.С. Бабичева, А.В. Гасников, А.А. Лагуновская, М.А. Мендель // *Труды МФТИ* – 2015. – Том 7, №3. – С. 31-41.
6. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. *Proc. Institution of Civil Engineers*, 1952, vol. 2, pp. 325–378.
7. Урыков В.А., Зеленина Л.И. Математические модели транспортных потоков // *Современная техника и технологии*. 2015. № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <http://technology.snauka.ru/2015/06/6051> (дата обращения: 10.11.2019).
8. Пинянский, А.И. Качественные и численные методы исследования математической модели следования за лидером / А.И. Пинянский, А.П. Буслаев // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт* – 2017 – Том 11. №8 – С. 27-31.
9. Нейман, Джон фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. Закончено и отред. [предисловие и введ., с. 40-48, написаны] А.В. Бёрксом, Пер. с англ. В.Л. Стефанюка. Под ред. В.И. Варшавского. М. “Мир”, 1971. – 384 с.
10. Омарова, Г.А. Применение клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков / Г.А. Омарова, Г.Ю. Казанцев // *Проблемы информатики* – 2015. – С. 1-7.

Халявина А.А.

Исследование методов автоматизированного контроля сложных электронных систем

*МАИ (Московский Авиационный Институт)
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-04-2020-26

idsp: sciencerrussia-10-04-2020-26

Аннотация

В статье рассмотрены основные методы, применяемые при проектировании систем автоматизированного контроля и диагностирования сложных электронных систем, а так же проведен анализ их применения на современном этапе развития радиоэлектронной аппаратуры. В результате проведенного анализа сделаны выводы, что выбор метода зависит от глубины контроля объекта и степени унификации системы контроля.

Ключевые слова: автоматизированные системы контроля, диагностирование, методы, унификация, алгоритмы контроля.

При оценке параметров сложных технических систем с помощью методов математического моделирования перед разработчиками нередко возникает ряд проблем, основными из которых является сложность, а в некоторых случаях и невозможность полного математического описания, ограниченное число регистрируемых состояний, большая размерность решаемых задач, параллельность структуры, неполнота описания свойств.

Контроль технических устройств – один из важных этапов их подготовки к применению. Операции контроля входят во все виды обслуживания техники и по мере ее усложнения становятся все более трудоемкими.

Автоматическое слежение за аварийными параметрами и своевременное диагностирование неисправности позволяет предупреждать крупные повреждения и разрушение техники[1].

Под техническим состоянием понимается совокупность свойств системы, подверженных изменению в процессе производства, хранения и эксплуатации. Следовательно, технические требования определяют группу параметров, характеризующую техническое состояние системы.

Несмотря на значительную степень автоматизации процессов контроля и диагностирования подобных объектов, использование различных подходов, остается актуальной проблема поиска решений, которые позволят повысить эффективность, надежность и качество контроля и диагностирования.

В ряде случаев имеющихся параметров объектов недостаточно для обеспечения заданной глубины диагностики.

По назначению системы диагностики можно разделить на специализированные и универсальные. Специализированные системы предназначены для диагностики объектов одного типа с жестко заданным числом контролируемых параметров и алгоритмами контроля.

Универсальные системы диагностики обеспечивают оценку технического состояния различных объектов, контроля большого количества параметров и применения гибких алгоритмов [2].

При этом контролируемые параметры описываются следующими характеристиками [2]:

- номинальным значением и границами допусков;
- требуемой точностью измерения;
- функциональными зависимостями при вычислении параметров по результатам измерений косвенных величин, учитывая внешние воздействия;
- зависимость номинального и предельного значений от условий окружающей среды (температуры, влажности, атмосферного давления и т.д.);
- закономерностью изменения во времени при эксплуатации (относится только к прогнозирующим параметрам).

К основным методам относятся:

— методы функциональной (рабочей) диагностики, используются в процессе работы ОК. Они ориентированы на анализ процессов формирования стимулирующих рабочих воздействий и реакций ОК на них без учета искажений во время следования. При этом все воздействия последовательно выполняются в соответствии с циклограммами рабочих режимов. Поэтому для автоматизированных средств применяемых при функциональном контроле часто применяется встроенный контроль. Использование встроенного контроля позволяют своевременно среагировать на отказ оборудования и в зависимости от конструкции остановить процесс контроля с отключением всех питающих цепей, заменить отказавшие узлы резервными или

перейти на другие режимы работы, на работу которых отказавшие узлы не влияют, т.е. использование встроенного контроля позволяет строить адаптивные системы контроля.

Методы функционального диагностирования используются на этапе оценки функционирования ОК, при техническом обслуживании, перед или после применения объекта, а так же после выполнения ремонтных работ.

Системы функционального диагностирования в большинстве позволяют обнаружить отказ любого элемента с точностью до блока, поскольку в схемах инженерных систем каждый блок выполняет свою функцию. Но бывают ситуации, когда отказ вызван неисправностью возникающей при совместной работе нескольких блоков, при определенных условиях. В такой ситуации может потребоваться имитация режима функционирования ОК (например имитация рабочего режима). Недостатком функционального контроля являются необходимость дополнительные аппаратные затраты и невысокая точность локализации отказов.

— методы тестового контроля, требуют прерывания работы устройства для подачи на вход определенных тестовых воздействий (тестов). В большинстве случаев позволяет более точно локализовать отказ и не требует дополнительных аппаратных затрат. Однако невозможность контроля при функционировании является недостатком.

Общей проблемой технического диагностирования является достижение адекватной оценки распознавания истинного состояния объекта и классификации этого состояния (нормального или аномального)[3].

Многообразие систем функциональной диагностики определяется лишь сочетанием используемых технологий.

В задачах автоматизации контроля выделяют, как наиболее важные, «технологические» признаки, определяемые методами получения и обработки информации о параметрах, так и «тактические» – уточняющие цели контроля и измерения параметров [4].

По «технологическим» признакам все параметры можно разделить на следующие группы:

1. параметры, выраженные электрическими величинами и не требующие дополнительных преобразований (например, напряжения, разовые команды и т.д.);
2. параметры, выраженные электрическими величинами, нуждающимися в дополнительном преобразовании, и параметры, измеряемые косвенным путем (например, сопротивление нагрузки, сопротивление цепи заземления, наличие электрической связи между цепями питания и корпусом объекта и т.д.);
3. параметры, выраженные неэлектрическими величинами и требующие предварительного первичного преобразования (например, углы поворота рамок гироскопов и т.д.);

Значительная часть параметров объекта может быть проконтролирована непосредственными измерениями. Но некоторые параметры требуют измерения косвенных величин с последующим преобразованием или вообще являются обобщенными и характеризуются рядом признаков.

В общем случае процесс комплексного контроля объекта представляет собой циклограммы, состоящие из стимулов и реакций. Электрические параметры стимулов и реакций определяют выходные и входные сигналы.

При проектировании АСК процесс контроля, в основном, представляется последовательностью входных и выходных сигналов, привязанных ко времени.

Выбор методов построения алгоритма значительно влияет на эффективность процесса контроля и диагностики[5]. Перед разработкой алгоритма необходимо решить следующие задачи:

- определение оптимального набора контролируемых параметров;
- выбор наиболее информативной последовательности измерения контролируемых параметров.

К тому же при разработке алгоритма контроля и поиска отказов необходимо учитывать такие факторы, как:

- особенности применения объекта;
- приоритет диагностического параметра по критерию информативности;
- трудоемкости процесса;
- экономического критерия.

Рассмотрим наиболее распространенные способы построения алгоритмов поиска неисправностей (таблица 1).

Таблица 1

Способы построение алгоритмов поиска неисправностей

Способ	Достоинства	Недостатки
последовательного функционального анализа	прост, нагляден, требует минимум информации от диагностируемой аппаратуры	алгоритм поиска неисправностей не оптимален ни по времени, ни по средним затратам
половинного разбиения	- применим и для случаев, когда в диагностируемой аппаратуре неисправно несколько элементов - используется для последовательно соединенных функциональных блоков	сложность применения когда вероятности состояний для всех элементов неодинаковы
"время—вероятность"	- алгоритм, построенный по такому способу, обладает минимальным средним временем поиска любого неисправного элемента - подходит для систем, в которых функциональные элементы соединены произвольно	-
на основе иерархического принципа	поиск неисправного первичного функционального элемента по приведенной схеме позволяет значительно сократить время поиска по сравнению с поиском среди N элементов	целесообразно использовать для РЭА со встроенными устройствами контроля
построение матриц поиска неисправностей	дает наилучшие результаты при контроле аналоговых цепей	сложность формализации параметров для сложных многокомпонентных систем
Инженерный метод	основан на вычислении функции предпочтения	исходными данными являются функциональная модель ОД и таблица неисправностей
Метод ветвей и границ	- используется в РЭА, функциональная модель, которой представляет собой произвольную структуру - позволяет определить наилучшую последовательность поиска среди возможных	- целесообразен, когда основным критерием является минимальной средней стоимостью при поиске любого неисправного элемента

При выборе методов обычно учитывают такие факторы как обеспечение:

- достоверности измерений;
- надежности;
- технологичности;
- экономичности.

Эти факторы тесно связаны и зависят от назначения и характеристик объекта. По этой причине методы диагностирования оценивают комплексно с целью сравнения и выбора оптимального - по техническим свойствам: метрологическим, технологическим, надежности и по экономическому критерию.

Наиболее простым, является инженерный метод. Он не требует предварительной подготовки.

По критерию эффективности приоритет у метода на основе информационного критерия, поскольку он позволяет получить он дает количественную оценку информации об объекте после контроля очередного параметра.

Метод ветвей и границ наиболее оптимален по времени, количеству и последовательному контролю параметров. Он учитывает вероятность отказа отдельных блоков или узлов. Однако при этом значительных вычислений, которые не всегда возможно выполнить при контроле сложных устройств.

Таким образом при недостатке формализованных признаков эти методы оказываются низкоэффективными, в противном случае повышается размерность, одновременно снижается эффективность, что в свою очередь обусловлено пересечением областей изменения параметров для ряда отказов.

При диагностировании контроле сложных объектов с использованием систем автоматизированного контроля часто наиболее трудоемким является процесс выявления скрытых отказов аппаратуры и программного обеспечения.

Поиск места отказа в процессе диагностирования характеризуется глубиной поиска дефекта. Количественно глубину поиска дефекта можно оценить с помощью вычисления коэффициента глубины поиска дефекта (1).

$$K_{г.п} = F/R, \quad (1)$$

где F– число однозначно различимых составных частей объекта на принятом уровне деления, с точностью до которых определяется место дефекта;

R– общее число составных частей объекта, с точностью до которых требуется определить место дефекта (отказа)[5].

Существенной частью процесса распознавания отказов является выбор параметров, описывающих состояние системы и правила принятия решений. Они должны быть достаточно информативны, чтобы при выбранном числе параметров процесс контроля мог быть осуществлен с максимальной точностью распознавания отказов. Необходимо также оценивать достоверность принятого решения и степень риска ошибочного решения.

В последние годы большое распространение получили методы в основе которых:

- принцип резервирования,
- нейронные сети;
- динамическое программирование;
- нечеткая логика;
- имитационного моделирование.

Использование автоматизированных контрольно-диагностических систем на данном этапе развития не отменяет применения стационарных диагностических средств, но существенно снижает их количество. А используемые методы позволяют снизить риски и повысить эффективность.

При этом под автоматизированной системой контроля понимается комплекс программно-аппаратных средств, которые используют для контроля функционирования циклограммы представляющие последовательность реакций диагностируемого объекта на определенные входные воздействия, результаты этих воздействий сравниваются с формализованными признаками, характеризующими состояние ОК.

Несмотря на различные методы диагностирования объекта общей характеристикой является поиск решений, позволяющей расширить базу диагностических признаков для повышения эффективности диагностики и разработка методики выделения групп признаков, позволяющих выявлять те или иные виды неисправностей (отказов), не увеличивая чрезмерно размерность диагностической системы

При использовании любого метода предполагается конечное число возможных неисправностей (отказов) и ограниченное количество сочетаний.

Постоянно ведутся работы связанные с поиском методик повышающих достоверность контроля и снижающих трудоемкость

Все большую актуальность приобретают вопросы построения имитационных моделей объекта, наиболее точно воспроизводящих наблюдаемый процесс на выходе объекта. Параметры таких моделей служат дополнительными признаками, используемыми для повышения эффективности при функциональном диагностировании.

В настоящее время, в силу объективных причин, связанных с трудностями создания имитационных дорогостоящих стендов полунатурного моделирования, возможности полномасштабного контроля функционирования сложных объектов до проведения натурных испытаний ограничены. Однако выход из создавшегося положения можно найти в совместном использовании автоматизированных систем контроля, имеющей возможности имитации изменения линейных и угловых параметров через цепи обратной связи датчиков первичной информации реально не перемещающегося объекта, и различного рода поворотных установок, воссоздающих физические процессы изменений пространственно-углового положения объекта. Такой подход к организации процесса контроля (контрольных задач) позволяет отрабатывать основные алгоритмы и достоверно оценивать степень готовности объекта к выполнению задач.

Все направления развития электронных устройств контроля и диагностики (системы встроенных датчиков и контрольных точек, бортовые и комбинированные контрольно-диагностические системы) не исключают, а взаимно дополняют друг друга. Вместе с тем, как отмечено в [6-7], достаточную эффективность могут иметь лишь автоматизированные средства диагностического контроля с интегральной оценкой состояния системы и выдачей рекомендаций оператору.

Проведенный анализ показал, что выбор метода контроля сложных технических систем специализированного назначения во многом зависит от назначения объекта и структуры системы контроля. От грамотного выбора методов зависит эффективность процесса контроля. Таким образом, корректный выбор методов, с учетом основных параметров объекта и системы контроля можно обеспечить унификацию, снизить количество ошибок и повысить эффективность контроля.

***

1. Лоскутов А.И., Вечеркин В.Б., Шестопалова О.Л. Автоматизация контроля состояния сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур // Информационно-управляющие системы. , 2012. , № 2. ,С. 74- 81.
2. Раннев Г.Г., Тарасенко А. П, Методы и средства измерений, Москва, АСАДЕМА, 2004 г., 230с.
3. Ерёменко В.Т. , Техническая диагностика электронных средств: учебник для высшего профессионального образования /– Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2012., 157 с.
4. Заведеев А. И., Ковалев А. Ю., Диагностика состояния и принципы повышения отказоустойчивости бортовой системы управления космического аппарата Электронный журнал «Труды МАИ» Выпуск №54, с 1-9.
5. Обносков Б.В., Данеко А.И., Захаров И.В., Трубников А.А., Решетников Д.А. Методы и средства повышения эффективности испытаний унифицированных систем, Электронный журнал «Труды МАИ» Выпуск №62, с 1-7.
6. Емельянова Ю.Г. и др. Нейросетевой метод обнаружения неисправностей в космических подсистемах // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения». , 2009. , Т. 1. , С. 133-143.
7. Сускин В.В., Дубов А.В., Капранов А.П. Обзор современных средств автоматизации поиска неисправностей в электронных устройствах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010, №2.