

УДК 004.415.23.

Алгоритмы анализа цифровой информации для оптимизации контроля систем управления

Бусурин В.И.¹, Медведев В.М.², Карабицкий А.С.^{1}, Гроппа Д.В.^{2***}**

¹*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Москва, Волоколамское шоссе, 4, А-80, ГСП-3, 125993, Россия.*

²*Государственный научно-исследовательский институт приборостроения, проспект Мира, 125, Москва, 129226, Россия*

*[*vbusurin@mai.ru](mailto:vbusurin@mai.ru)*

*[**karabox89@gmail.com](mailto:karabox89@gmail.com)*

*[***groppa_dumitru@mail.ru](mailto:groppa_dumitru@mail.ru)*

Аннотация

В статье описаны особенности построения алгоритма анализа цифровой информации, поступающей из системы управления по магистральному последовательному интерфейсу, с целью автоматизации формирования рабочей программы контрольно-проверочной аппаратуры. Приведены блок-схемы алгоритмов и результаты.

Ключевые слова: контрольно-проверочная аппаратура, модульная система, программное обеспечение, инерциальная система управления, контроль.

Введение

Постоянно растет спрос на системы автоматического управления, что вовлекает в их проектирование и производство все большее количество

предприятий. В связи с этим особое внимание выделяется методикам и подходам, позволяющим оптимально сформировать процесс проектирования и, с необходимой точностью и быстродействием, контролировать каждый этап производства с целью организации максимальной эффективности. Данное обуславливается еще необходимостью минимизации затрат на производство СУ, т.к. натурные испытания являются одним из наиболее трудоемких этапов, который связан с потерями испытываемых аппаратов, задержками и большим объемом доработок. Поэтому методики анализа в процессе проектирования и на этапах испытаний ИСУ, позволяющие упростить качественный и точный контроль аппаратуры и оперативно доработать СУ, особенно актуальны.

Особое внимание выделим процессам обработки и анализа телеметрической информации, для улучшения показателей контроля систем управления, которых на этапах разработки и производства назовем объектами диагностирования [1]. Техническую базу информационно-измерительных и систем контроля (контрольно-проверочная аппаратура, КПА) составляют электронные приборы и системы, предназначенные для сбора, обработки и отображения телеметрической информации [1]. Огромным достоинством правильно спроектированного и реализованного комплекса КПА является достоверный контроль функционирования, работоспособности и подтверждение правильности работы как объекта диагностирования, так и входящих в его состав отдельных модулей, что обосновывает временные и материальные затраты на разработку или доработку аппаратной и программной частей объектов диагностирования. Т.к. каждая разрабатываемая система управления обладает довольно высоким уровнем

индивидуальности возникает необходимость разработки таких КПА, аппаратные и программные части которых позволили бы с минимальными усилиями и уровнем затрат достичь максимальную универсальность.

Задачи анализа телеметрической информации

Универсальность КПА предполагается достичь определенным способом формирования рабочей программы контроля СУ. Предполагается наличие дополнительных программных модулей (ДПМ), отвечающих за уникальные для определенной ИСУ оборудование и функционал, и базового программного обеспечения (БПО), задающих распределение программных потоков и их приоритетов, запуск и контроль ДПМ [1]. Анализ телеметрической информации выделяется основная роль в определении необходимых БПО ДПМ.

Развитие методического аппарата автоматизированного анализа телеметрической информации систем управления позволяет улучшить показатели контроля, в частности оптимизацию времени, повышение качества и исключить ошибки в процессе контроля и имеет своей целью достижение следующих задач:

- 1) сокращение времени принятия решений и оценки качественных показателей исследуемых систем управления;
- 2) повышение объективности принятия решений при анализе телеметрической информации;
- 3) повышение функциональных возможностей и эффективности работы персонала;

- 4) накопление знаний по нештатным ситуациям и замечаний при проведении контроля.

Исходные данные

Для выполнения поставленных задач анализа телеметрической информации следует отметить, что исходные данные являются основными. От качества анализа зависит формирование ДПМ и в последствии рабочей программы КПА [1].

Анализ телеметрической информации основывается на глубоком понимании и владении основными процессами обмена информации между абонентами информационной магистрали СУ, взаимодействие которых определяется стандартом [ГОСТ Р 52070-2003](#) [2]. Одной из важнейших характеристик передачи информации по магистрали является формат сообщения. Содержание передаваемой информации может быть любым при условии совместимости с форматами сообщений и форматами слов, определенных в стандарте [2]. Таким образом, исходными данными анализа являются:

- 1) Формат сообщений;
- 2) Формат слов;
- 3) Командные слова (КС);
- 4) Ответные слова (ОС);
- 5) Слова данных (СД).

Исходные данные определяют структуру и формат двоичного файла-протокола конкретной СУ и, в последствии, алгоритм анализа телеметрических данных.

Одной из самых важных характеристик в процессе обработки информации, которая описывается форматом сообщений, является длина сообщения. От данной характеристики напрямую зависит качественный анализ телеметрической информации, а конкретнее правильное определение времени получения того или иного сообщения и необходимого КС, ОС и СД.

Формат слов предопределен стандартом [2] и в каждом из случаев – КС, ОС или СД, имеет свою смысловую нагрузку (см. таблицу 1).

Таблица 1.

Разрядная сетка	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Командное слово	Адрес оконченного устройства					К		Подадрес / Режим управления				Число СД / Код команды				
	4 – 8					9		10 – 14				15 – 19				
Слово данных	Данные															
	4 – 19															
Ответное слово	Адрес оконченного устройства					Признаки										
	4 – 8					9	10	11	12 – 14			15	16	17	18	19
						Ошибка в сообщении	Передача ОС	Запрос на обслуживание	Резерв			Принята групповая команда	Абонент занят	Неисправность абонента	Принято управление интерфейсом	Неисправность оконченного устройства

КС содержит следующую информацию: адрес принимающего абонента, команду на прием или передачу СД и код числа СД.

Ответное слово является словом состояния абонента, признаком достоверного КС принятым им. При детальном рассмотрении ОС может быть определен тип неисправности и его источник.

Формат слов данных определяет точность представления значения передаваемой величины (параметра).

Алгоритм анализа цифровой информации

Основная концепция работы БПО базируется на управлении ДПМ. Заранее определенные модули являются минимальными значимыми единицами, наделенными определенным функционалом и владеющими необходимыми ресурсами для выполнения задач на уровне объектно-ориентированного подхода [3]. Возможность использования абстракции повышает качество конечного программного обеспечения КПА и скорость выявления ошибок как в БПО так и в системном программном обеспечении СУ.

Необходимо отметить, что задача контроля СУ носит комплексный характер и не ограничивается однократной проверкой состояния аппаратной составляющей системы в какой-либо момент времени. Поэтому определение всех необходимых ДПМ позволит выполнить контроль используя одну из парадигм объектно-ориентированного программирования – повторное использование.

Аппаратная составляющая характеризует уникальность КПА на функциональном уровне, что, вкуче с довольно высокой степенью

индивидуальности разрабатываемых СУ, позволяет сформировать минимальный набор ДПМ. Этот набор формируется, в частности, путём определения конкретной СУ с помощью анализа цифровой информации.

Блок-схема общего алгоритма анализа цифровой информации представлена на рис.1.

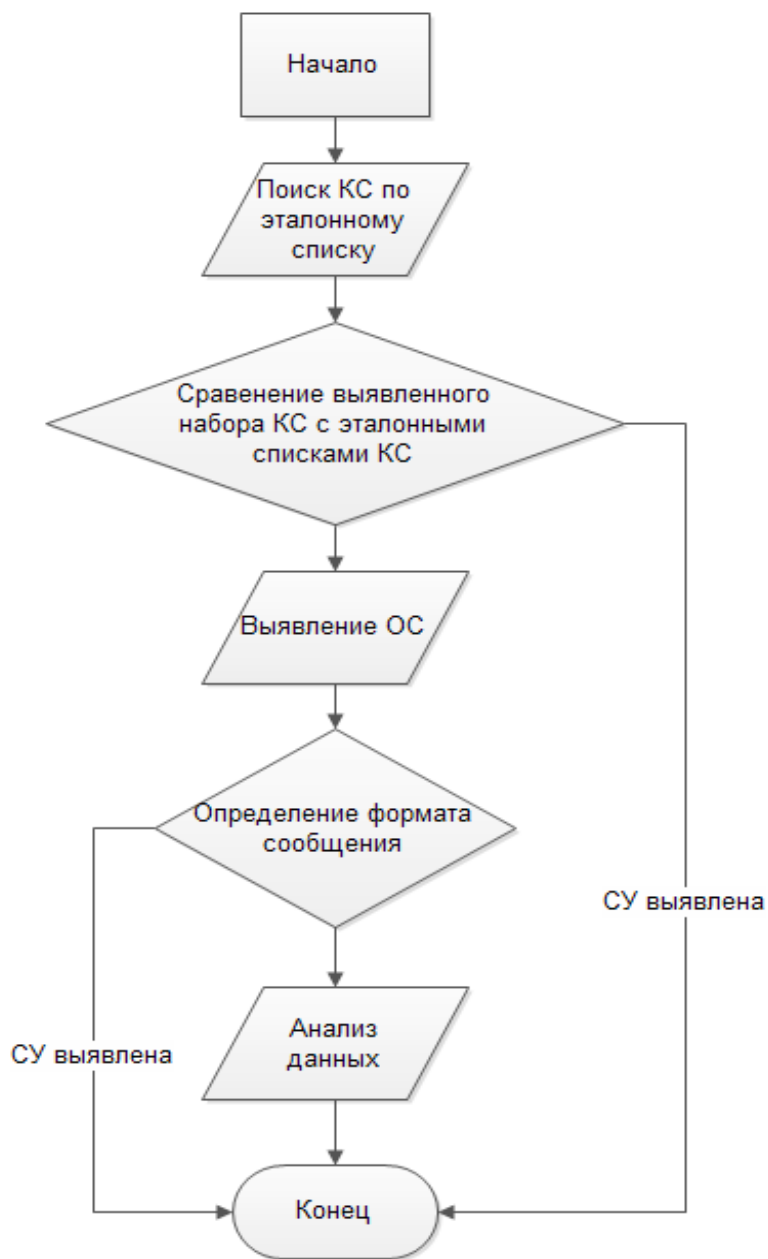


Рис. 1. Общий алгоритм анализа цифровой информации

Алгоритм построен на нескольких важных этапах.

1. Поиск КС по эталонному списку. На этом этапе проводится выявление набора всех командных слов, присутствующих в анализируемом бинарном файле. Это происходит путём сравнения каждого слова анализируемой информации со словами из эталонного набора КС.
2. Сравнение выявленного набора КС с эталонными списками КС. Каждой системе управления (или нескольким системам управления) соответствует эталонный набор командных слов, с которым сравнивается полученный на первом этапе набор выявленных командных слов. Если на данном этапе сравнение показывает уникальность набора выявленных командных слов, то можно говорить об однозначном определении искомой системы управления. В противном случае необходим дальнейший анализ данных.
3. Выявление ответных слов. Для обеспечения точности анализа цифровой информации необходимо выделить ответные слова в сообщении. Более подробно этот этап представлен в виде блок-схемы на рис. 2.

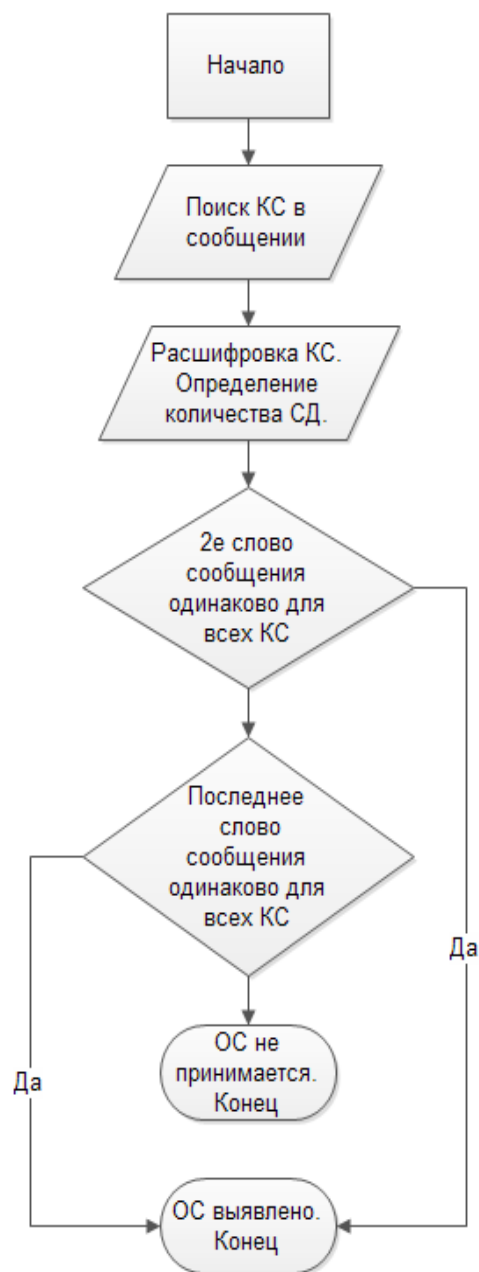


Рис. 2. Выявление ответных слов

Алгоритм поиска ответных слов основан на возможности определения количества слов данных путём расшифровки командных слов. Эта возможность позволяет сравнивать только вторые слова каждого сообщения [2]. Если они идентичны, то ответное слово находится в начале

сообщения, иначе – после слов данных. Если же последние слова сообщений не совпадают, то ответные слова отсутствуют.

4. Положение выявленных ответных слов позволяет определить формат сообщения [2].
5. Если на данном этапе всё ещё не хватает данных для определения СУ, то появляется необходимость дополнительного анализа данных. Осуществляется поиск такой информации, как код прошивки, количество кадров цифровой информации или других уникальных параметров.

Результаты анализа

Для определения работоспособности представленных алгоритмов было разработано программное обеспечение, анализирующее входящую цифровую информацию (приложение-анализатор). Также было разработано программное приложение-имитатор (ПИ), имитирующее СУ в части выдачи цифровой информации. Приложение-имитатор предоставляет возможность изменения формата, содержания и длины сообщений, указания адреса и подадреса целевого оконечного устройства.

В целях эксперимента были сформированы десять наборов эталонов командных слов, а также проработаны остальные параметры сообщений.

Также была организована линия МКИО, состоящая из контроллера канала и монитора шины, схема которой представлена на рис. 3.

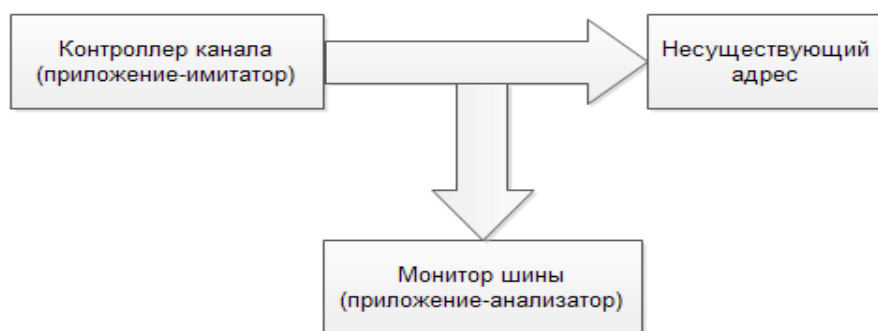


Рис. 3. Схема линии МКИО

С помощью приложения-имитатора по линии МКИО выдавались наборы сообщений, соответствующих теоретическим системам управления, а также наборы случайных данных. Приложение-анализатор принимало высланные сообщения в режиме монитора.

Вероятность выявления СУ из сформированного списка эталонов равняется

$$P(A) = 1 - P(\bar{A}) = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{11} = 0,90909$$

- где $P(\bar{A})$ – вероятность возникновения события «СУ не опознана»,

n – число всех возможных событий (10 эталонных наборов параметров составленных для данного эксперимента и событие «СУ не опознана»).

С целью доказательства состоятельности алгоритма необходимо было повысить вероятность события «СУ не опознана». Для этого каждый новый тест проводился с исключением одного из эталонных наборов. Таким образом поиск ошибки был разделен на несколько этапов:

1) 10 наборов.

$$P(\bar{A}) = 0,09091.$$

Результат: «СУ выявлена».

здесь и далее «СУ выявлена» – соответствие входного набора выходному, а не исключение события «СУ не опознана».

9 наборов.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,10000$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали исключенный набор: $P(\bar{A}) = 1,00000$.

Результат: «СУ не опознана».

8 наборов.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,11111$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

7 наборов.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,12500$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

6 наборов.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,14286$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

5 наборов.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,16667$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

4 набора.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,20000$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

3 набора.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,25000$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

2 набора.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,33333$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознано».

1 набор.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 0,50000$.

Результат: «СУ выявлена».

На входе выдали по очереди каждый из исключенных наборов:

$P(\bar{A}) = 1$. Результат: «СУ не опознана».

Ситуация, в которой приложение анализатор не имеет никаких данных о СУ.

На входе выдали набор из списка: $P(\bar{A}) = 1,00000$.

Результат: «СУ не опознана».

Эксперимент показал 100%-е выявление соответствия входных данных результатам работы приложения-анализатора.

Заключение

Проведённый эксперимент показал полную работоспособность алгоритма: выявление теоретических СУ по наборам эталонов и отбраковку случайных данных как неизвестных СУ.

Рассмотренный алгоритм открывает новые возможности для разработчиков программного обеспечения контрольно-проверочного и диагностического оборудования. Позволяет вывести на новый уровень работы по автоматизации формирования рабочих программ контрольно-проверочной аппаратуры.

Тем не менее для внедрения данного алгоритма требуется разработка дополнительного программного обеспечения, анализирующего аппаратную составляющую контрольно-проверочной аппаратуры и исследуемой системы управления.

Библиографический список

1. Бусурин В.И., Медведев В.М., Карабицкий А.С. Особенности модульного построения систем контроля и диагностики инерциальных систем управления // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=77107>
2. Интерфейс магистральный последовательный электронных модулей. ГОСТ Р 52070-2003.- М.: Изд-во стандартов, 2003. - 23 с.
3. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. - СПб.: Питер, 2007. - 366 с.

4. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. - СПб.: Питер, 2004. - 659 с.
5. Бьярне Страуструп. Программирование: принципы и практика использования C++. - М.: Вильямс, 2011. - 1248 с.
6. Бенджамин С. Пирс. Типы в языках программирования. – М.: Добросвет, 2012. - 680 с.
7. Иан Грэхем. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. - М.: Вильямс, 2004. - 880 с.
8. Куликов А.М. Применение шаблонов проектирования в программном обеспечении системы планирования полетных заданий // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57007>
9. Павлов П.В., Попов Ф.Н. Информационно-диагностический комплекс дефектоскопического контроля // Труды МАИ. 2017. № 92. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=76780>
10. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов – СПб.: Питер, 2005. - 479 с.
11. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб: СПбГПУ, 2003. – 520 с.
12. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1979. - 431 с.
13. Сахабетдинов И.У. Современные принципы построения имитационно-моделирующих комплексов для испытаний сложных технических объектов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012. № 11. С. 35 - 40.

14. Алексеев А.А., Солодовников А.И. Диагностика в технических системах управления.: учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Б. Яковлева. - СПб.: Политехника, 1997. - 188 с.
15. Техническая диагностика. Показатели диагностирования. ГОСТ 23664-79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. - 16 с.
16. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. - М.: Наука, 1990. - 126 с.
17. Грудинин В.С. Информационные и управляющие системы в технике: учеб. пособие. - Киров: Фирма Полекс, 2008. - 136 с.
18. Густав Оллсон, Джангуидо Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления. - СПб.: Невский Диалект, 2001. - 557 с.
19. Wu X., Chen J., Wang W., Zhou Y. Multi-index fusion based fault diagnosis theories and methods // Mechanical Systems and Signal Processing. 2001, no. 15 (5), pp. 995 - 1006.
20. Chow E.Y., Willsky A.S. Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems // IEEE Transactions on Automatic Control, 1984, no. 29 (7), p. 603 - 614.