

Формализация подхода к управлению данными сложных систем

Л.А. Чижикова

Аннотация— Бортовые комплексы управления являются сложными киберфизическими системами с динамическими потоками данных между подсистемами. Существующие подходы к программно-алгоритмическому обеспечению неэффективны – как показывают исследования, многие аномалии и отказы бортовых комплексов управления представляют собой системные сбои (т.е. неправильное поведение системы), некоторые из них основаны на непонимании того, как должна работать система. Для их создания может быть применена многокритериальная оптимизация на основании критериев – характеристик создаваемой системы, ее функций и объема данных. В работе были проанализированы подходы для полуавтоматической генерации документов управления интерфейсами. Представлена часть программы, взаимодействующей с базой данных для автоматизации выработки критериев и упорядочивания, структурирования данных сложной системы, создания документов управления интерфейсами. Унификация создания документов управления интерфейсами сложной системы и автоматизация управления данными такой системы позволит сократить время разработки, минимизирует риски отказов.

Ключевые слова— Парето-оптимальность, системный анализ, разработка программно-алгоритмического обеспечения, LaTeX

I. ВВЕДЕНИЕ

Разработка сложных динамических систем управления в соответствии с принятыми методами происходит от определения массо-габаритных характеристик и облика ЛА, конструкторских спецификаций. Автоматизация происходит от проектирования аппаратного обеспечения. Вследствие того, что не все критерии при проектировании сложных систем учтены, статистика показывает многочисленные отказы систем и катастрофы [1, 2]

В настоящее время сложные динамические системы управления разрабатываются на основе уже готовых подсистем – весь процесс сводится к интеграции электронных цифровых подсистем в общую сеть обмена данными. При этом интеграция подсистем в киберфизическую систему актуальна, но чаще всего

подразумевает поиск подходов к конструктивным решениям [3]. В работе [4] также была проанализирована взаимосвязь между подходами к интеграции подсистем с точки зрения данных о системе.

Целью настоящего исследования для данной работы являлось посредством от общего к частному выявление структуры и информационного наполнения документов управления интерфейсами подсистем бортовой аппаратуры для лучшей интеграции, проектирования сложных систем управления и разработка программы, с помощью которой можно будет определить критерии по которым будет оптимизировать характеристики создаваемой сложной системы.

Как правило, подсистемы – чувствительные элементы сложной киберфизической системы (например, бортового комплекса управления) построены на основе программируемых микроконтроллеров. Проектирование и программирование таких микроконтроллеров должно осуществляться в соответствии со стандартом, определяющим синтаксис и семантику языков программирования программируемых контроллеров - МЭК 61131.

Данный стандарт определяет следующие основные языки программирования [5]:

- IL (instruction list) – ассемблероподобный язык списка инструкций;
- LD(ladder diagram) - язык релейно-контактных схем;
- ST(structured text) - язык структурированного текста;
- FBD(functional block diagram) – язык функционально-блоковых диаграмм;

Модель программирования микроконтроллеров может включать в себя элементы последовательных функциональных схем SFC (sequential function chart).

Практически же, низкоуровневое программирование и интеграция подсистем сложных систем управления, обмен данными по различным каналам связи, выполняется на языках ассемблера и С. Все функционирование и программирование как подсистем сложной системы управления, так и ее главного вычислителя строится на уже изготовленных микроконтроллерах и их вычислительных возможностях. В задаче интеграции аппаратных и программных подсистем выбор вычислительных возможностей и каналов обмена данными в соответствии с функциональными задачами сложной системы управления открыт. Поскольку в задачах системного проектирования как программно-алгоритмического обеспечения сложных систем, так и

Статья получена 11 апреля 2022 года. Работа выполнена как часть диссертации на соискание звания кандидата наук.

Л.А. Чижикова АО НПО Лавочкина (e-mail: ludmilachizhikova@yahoo.com).

интеграции физических систем важны критерии – условия достижения численной характеристики желательного значения, проанализируем возможные пути поиска критериев.

Анализ производимых микроконтроллеров показывает динамику увеличения вычислительных мощностей таких устройств [6,7], что способствует обработке больших данных и созданию сложных динамических систем на их основе [8]. При этом технологий интеграций систем с разнородными данными и каналами связи на сегодняшний день нет.

Проблематика подходов к разработке ПО и проектирования сложных систем управления и его последующего сопровождения заключается в недостаточной формализации задач разработки в целом, а также в том, что программная инженерия является развивающейся наукой, обладающей нишами для исследований и инноваций.

Как показывает анализ вторичных источников, требуется анализ и трансформация подходов к разработке программно-алгоритмического обеспечения сложных систем:

Многие аномалии и отказы бортовых комплексов управления представляют собой системные сбои (т.е. неправильное поведение системы), некоторые из них основаны на непонимании того, как должна работать система [24]. Из 520 программных ошибок, выявленных для всех 18 миссий, авторы [24] классифицировали 319 как ошибки Бора, 167 – как ошибки Мандела, не связанные со старением, и 23 – как ошибки, связанные со старением. Для 11 неисправностей тип определить не удалось; поэтому этим неисправностям был присвоен тип неисправности "неизвестный". Соответствующие доли типов неисправностей ВОН, NAM, ARB и UNK составляют 0,614, 0,321, 0,044 и 0,021, соответственно.

А задача интеграции подсистем сводится к задаче многокритериального анализа в соответствии с функциональным наполнением проектируемой системы управления – сложной киберфизической системы.

Для практического применения задача многокритериальной оптимизации применяется в построении компьютерных сетей, что показывает анализ работ [9,10]

Математическая модель создания сложной киберфизической системы управления при изначальных заданных параметрах – использования систем на микроконтроллерах, выполняющих свои функции измерения, обнаружения и пр. в качестве подсистем предполагает использование Парето-оптимального выбора вычислительных мощностей, каналов связи и пакетов данных в процессе создания таких систем. Проблемой Парето-оптимальности – сужения множества Парето занимались [13]

Автоматизация проектирования сложных систем на основе многокритериальной оптимизации не нова и применяется во многих задачах [11, 12]. Для проектирования сложных киберфизических систем, например, для аэрокосмической отрасли, в которой

дополнительно накладываются ограничения на вычислительные ресурсы, использование систем реального времени, отказоустойчивости и пр., немаловажным является правильное определение критериев, реализацию функциональности системы при ограничениях объема данных.

Задача многокритериальной оптимизации или выбора содержит множество допустимых вариантов $X \in R^n$ и заданные на этом множестве числовые функции f_1, f_2, \dots, f_m , составляющие векторный критерий $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$ [13].

Постановка задачи многокритериального выбора широко описана в [14]. Для описания предпочтений широко используются следующие бинарные отношения, вводимые на множестве A сравниваемых объектов

В рассматриваемой прикладной задаче множество решений будет непустым множеством и внешне устойчивым. Также, для данного случая создания сложной системы, верно рассматривать линейную многокритериальную задачу [15]:

$$f(x) = Cx \quad g(x) = b - Ax \quad D = E_{21}^n \quad (1)$$

Для того, чтобы применить этот метод для выбора оптимального набора подсистем для интеграции в систему управления, необходимо определить все критерии – обладать информацией о всех функциях и режимах работы системы, каналах связи, объемах данных такой системы. С целью обнаружения критериев была разработана программа, автоматизирующая поиск критериев, описывается в данной работе.

II. МЕТОДЫ

Для получения результатов был использован качественный метод, который позволяет изучить конкретное явление или процесс. На основе анализа и синтеза бортовых комплексов управления была реализована структура программы получения критериев и характеристик сложной системы.

Актуальность исследуемой области была подтверждена систематическим анализом вторичных источников. Для извлечения таких данных была использована техника, описанная Крузесом [16]. Также для дальнейшего исследования было применено математическое моделирование на основании метода многокритериальной оптимизации.

В целях унификации процессов управления разработкой и данными сложных систем были проанализированы вторичные источники данных – зарубежные стандарты космической тематики, работы по их применению в сложных системах, результаты возможной автоматизации процессов создания документов управления интерфейсами.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Для сложных систем, в том числе бортовых систем управления реального времени авторы предлагают различные решения создания таких систем, обработки данных и их программно-алгоритмического

обеспечения. [17, 18]

В целом, разработка интерфейсов космических аппаратов основывается на уникальных проектах, которые определяются и реализуются на основе каждого отдельного проекта. Любое повторное использование таких интерфейсов обычно является побочным продуктом повторного использования всей шины космического аппарата, при этом интерфейсы обработки данных не используются повторно. Унификация создания документов управления интерфейсами сложной системы и автоматизация управления данными такой системы позволит сократить время разработки, минимизирует риски отказов. Хотя отдельные разработчики могут иметь ограниченные собственные стандарты, они, как правило, закрыты и требуют значительной адаптации в разных миссиях. Аналогично, существует мало стандартизации интерфейсов, которые могут быть использованы отдельными поставщиками оборудования и приборов. [19]

Проведя теоретический анализ вторичных источников можно отметить, что стандарты разработки программного обеспечения и управления интерфейсами традиционно используемые в космической отрасли также используются в других отраслях.

Следует отметить, что управление интерфейсами – это не только техническая часть управления данными и каналами связи, также это менеджмент. Рассматривая управление интерфейсами с технической точки зрения, можно выделить следующие цели:

- распределение и спецификация информации, подлежащей обмену между группами взаимодействия, со ссылкой на документы по управлению взаимодействием, содержащие точные технические определения и требования к потокам данных и протоколам взаимодействия;
- анализ данных, объемов данных, циркулирующих в системе;
- техническая стратегия разработки, тестирования и развертывания интерфейсов, включая спецификацию требований, необходимую проектную и тестовую документацию;
- процедуры управления конфигурацией и управления качеством, относящиеся к разработке интерфейсов, включая определение основных обзоров;
- риски, связанные с разработкой интерфейсов, и стратегии управления рисками;
- стратегия управления функциональной безопасностью (если применимо), включая ссылки на анализ рисков интерфейса.

Важную роль интерфейсов в сложных системах отмечают многие зарубежные исследователи [25, 26, 27, 28, 29], в то же время они также отмечают сложность управления интерфейсами и данными в силу множества компонентов сложных систем, в силу контрактного и технического аспектов, а также сложности интеграции и отсутствия автоматизации во всех процессах.

Управление интерфейсами важно как для разработки сложных систем, так и для системного анализа

инженерной деятельности. Можно сказать, что управление интерфейсами несет миссию достижения функциональной и физической совместимости между всеми взаимосвязанными элементами системы, гарантируя, что различные компоненты будут интегрированы в рабочую систему.

В целом, в настоящее время существуют общие инструменты управления интерфейсами, одним из них является надстройка в Matlab – SysML, позволяющая в полуавтоматическом режиме создать документ управления интерфейсами, вернее, выгрузить уже из существующей модели системы с выбранными каналами связи и модулями.

В одной из работ был предложен метод, основанный на графическом языке моделирования систем – SysML и системного проектирования на основе моделей для эффективного управления информацией и генерирования документов управления интерфейсами на основе модели [30, 25].

В целом, данные работы были направлены на автоматическое формирование интерфейсов: «В текущей практике системной инженерии проверка соответствия интерфейсов в основном осуществляется вручную, включая инспекции, испытания и обзоры. TMT разработал базу данных ICD и систему управления, в которой интерфейсы хранятся в машиночитаемой форме. Имеется несколько инструментов для обработки и проверки спецификаций интерфейсов».

В работе [25] описана практика, когда команда системных инженеров разрабатывает модель в SysML. Эта модель системы содержит требования, спецификации поведения, структурные спецификации и отношения между этими аспектами. В разработанной авторами модели программные взаимодействия моделируются с помощью механизма обработки сигналов, в котором различные типы сигналов отправляются и принимаются компонентами, вызывая изменения в их состоянии. Основная гипотеза заключается в том, что достаточная информация содержится в модели системы и может быть извлечена из нее, чтобы воссоздать документ управления интерфейсами. Учитывая справедливость гипотезы, можно создать механизм для автоматического обновления документа управления интерфейсами на основе последних спецификаций поведения.

Анализ современного состояния выявил аналогичные подходы в проектах космической отрасли, большинство основаны на SysML. Однако авторы либо расширяли SysML с помощью профиля [31], язык был слишком общим для их нужд, либо фокусировались на программных интерфейсах [32].

В системной и программной инженерии, документы управления интерфейсами являются ключевыми артефактами, которые определяют взаимосвязи системы или подсистемы, и используются для их контроля и данных системы. Документы управления интерфейсами

позволяют независимым командам разрабатывать взаимосвязанные системы, использующие указанные интерфейсы.

В работе [25] на примере системы выравнивания и фазирования и рассмотрена генерация документа управления интерфейсами в SysML. Особенность представленной в [25] алгоритмической процедуры извлечения программных интерфейсов из поведенческих спецификаций компонентов в модели системы имеет оговорку, что она не может различать события телеметрии и командами. Это связано, прежде всего, с практически идентичным механизмом, используемым в SysML для моделирования любого из этих режимов коммуникации: Сигналы посылаются и принимаются различными компонентами. Это ограничение требует ручной постобработки извлеченной информации об интерфейсе.

Также в технологичном подходе в программном продукте MathWorks System Composer обеспечивает спецификацию и анализ архитектур для системной инженерии на основе моделей и моделирования архитектуры программного обеспечения. С помощью System Composer вы можете назначать требования по мере уточнения архитектурной модели, которую затем можно спроектировать и смоделировать в Simulink. Далее также возможно создать документ управления интерфейса, но все это применимо к уже готовым моделям системы/ ее подсистем.

Во всех рассмотренных примерах [25, 26,27,28] предполагается, что уже есть аппаратное наполнение системы, также уже смоделирована декомпозиция на модели, в том числе программные. Сами процессы системного подхода в работах [25, 26,27,28] освещают установление связей и формализацию данных, сигналов в системе, полуавтоматическое описание происходит уже, по сути, готовой системы в документах управления интерфейсов.

С практической точки зрения, основополагающими документами информационного обмена являются протоколы информационно-логического взаимодействия необходимых для корректного функционирования бортовой аппаратуры ЛА и его подсистем, но, часто такие документы не содержат информации технического характера для последующего создания и сопровождения бортового ПО. Данная проблема возникла ввиду отсутствия соответствующих нормативных и стандартизирующих документов в РФ. Также данная проблематика при работе со смежными организациями дает дополнительные расходы на доработку таких документов. Также нередко возникают ситуации доработки программного кода из-за неверного либо нечеткого определения логики функционирования подсистем, отсутствия необходимой информации в документах такого типа.

В силу всего вышесказанного можно сделать вывод, что полуавтоматическое генерирование документа управления интерфейсами с данными и командами в настоящее время возможно при уже готовой модели системы. Но также, в настоящий момент на территории

РФ не стандартизирована процедура отбора необходимых аспектов и содержания документов информационного обмена. Вследствие чего возникает неопределенность как на этапе проектирования программного обеспечения, так и на этапе разработки и сопровождения, что нередко приводит к дополнительным временным затратам, трудозатратам и финансовым затратам.

В целом, отказы бортового программного обеспечения сложных систем являются серьезной проблемой в аэрокосмической отрасли [24, 34]. Поэтому необходима трансформация подходов к разработке сложных систем.

При отборе критериев для создания сложной динамической системы можно применить метод - по конечному набору признаков при нечеткой исходной информации. Предлагается при проектировании моделировать именно логические связи и объем необходимых данных при определенных функциональных требованиях к системе. С этой целью применим математическое моделирование – многокритериальный выбор функций систем и объема данных.

А. Математическое моделирование

В задаче многокритериального выбора множество ее решений (множество выбираемых векторов) можно обозначить как обозначать $C(y), C(y) \in Y$ [20]

Характеристики каждой подсистемы могут быть описаны как нечеткие множества X и Y в V отношении включения, а также операции объединения и пересечения в терминах их функций, тогда их принадлежности определены стандартным образом:

$$X \subset Y \Leftrightarrow \lambda_x(x) \leq \lambda_y(x) \text{ для всех } x \in V, \quad (2)$$

$$\lambda_{X \cup Y}(V) = \max\{\lambda_x(x); \lambda_y(x)\} \text{ для всех } x \in V, \quad (3)$$

$$\lambda_{X \cap Y}(V) = \min\{\lambda_x(x); \lambda_y(x)\} \text{ для всех } x \in V \quad (4)$$

Поскольку каждая подсистема сложной системы управления (в том числе такая система как бортовой комплекс управления) обладает своими характеристиками и производит поток данных, тогда верны следующие равенства:

Пусть $a_{ij}^{z_i}$ – количество j -ых пакетов данных, производимое i -ой подсистемой, когда она функционирует с единичным уровнем интенсивности ($u_i = 1$) и применяется канал связи $\lambda_i \in \Lambda_i$ $a_{ij}^{z_i} \leq 0$, если $i \neq j$, но $a_{ii}^{z_i} > 0$. Тогда существует вектор $a_i^{z_i} = (a_{i1}^{z_i}, a_{i2}^{z_i}, \dots, a_{in}^{z_i})$ – вектор-процесс i -ой подсистемы. Каждому каналу связи λ_i соответствует свой вектор – процесс. Тогда выпуск всех пакетов данных всей системой равен задаче [15]

$$c_j = \sum_{i=1}^n u_i a_{ij}^{z_i} \quad (5)$$

Квадратную матрицу, строками которой являются вектор-процессы $a_i^{z_i}, i = 1, 2, \dots, n$ обозначим через A^z

При этом каждый вектор-процесс $\alpha_i^{z_i}$ рассматривается в критериальном Евклидовом пространстве E^n , где матрице A^z соответствует n таких точек

Тогда вектор

$$c = uA^z = \left(\sum_{i=1}^n u_i \alpha_{i1}^{z_i}, \dots, \sum_{i=1}^n u_i \alpha_{in}^{z_i} \right) = \sum_{i=1}^n u_i \alpha_i^{z_i} \quad (6)$$

Является точкой выпуклой оболочки вектор-процессов $\alpha_i^{z_i}$

Ввиду большого объема вычислений при многокритериальном анализе [21, 22] предлагается критерии выявлять посредством функциональных составляющих, объема данных, циркулирующих между подсистемами, для чего была разработана программа управления интерфейсами. В данной работе предлагается инструмент анализа и управления интерфейсами сложных динамических систем, разработанный на языках программирования Lua, LaTeX, R, программа взаимодействует с базами данных параметров и функций системы.

Выбранный язык программирования LaTeX позволяет не только форматировать текст, но и создавать функции, работать с подключаемыми базами данных, распространяется бесплатно, также как и его компилятор. Поскольку TEX является макроязыком, создание новых функций означает создание макросов. В момент использования функция заменяется текстом замены ("кодом"), в котором каждый параметр в коде (#1, #2 и т.д.) заменяется соответствующими аргументами, поглощаемыми функцией [23].

Структура программы и анализа данных построена на основе адаптации подходов, описанных в зарубежной стандартизирующей базе (ECSS-E-ST-10-24C Космическая инженерия. Менеджмент интерфейсов, ECSS – E-ST-40C Космическая инженерия. Программное обеспечение), адаптированной для нужд российских разработок. Программа содержит структуру и необходимое содержание документов для полноценной последующей реализации информационно-логического взаимодействия и подсистем сложных систем управления, а также для определения критериев и характеристик сложных систем управления для последующей оптимизации.

Документ управления интерфейсами, определяющий, по сути, критерии для проектирования сложных систем и их последующей оптимизации строится на критериях функционирования, проектирования внешних интерфейсов программного элемента (модуля), между программным модулем и другими программными модулями, интерфейсами между программным модулем и аппаратной платформой, требованиями к интерфейсам относительно человеко-машинного взаимодействия, Архитектуре физического сопряжения, Проектировании всех команд и потока данных телеметрии. Специфических требований к проектированию, которые должны быть применены в случае, если программное обеспечение спроектировано для повторного

использования (для использования в других системах). Также критерии и объем данных определяются по технологии, представленной в [33].

Определение каждого интерфейса должно включать, по крайней мере, предоставляемую услугу, описание (имя, тип, размерность), диапазон и начальное значение. Описание для каждого интерфейса, внешнего по отношению к программному обеспечению, которое описывается:

- элемент данных (*имя, описание, уникальный идентификатор, описание, источник, пункт назначения (прием/передача), единица измерения, предел / диапазон, точность, частота, скорость, проверки законности, тип данных, представление данных*)

- элемент сообщения

- протокол/канал связи

Состав документов управления интерфейсами в работах [25, 27, 28] практически идентичны с описаниями в стандартах ECSS-E-ST-10-24C Космическая инженерия. Менеджмент интерфейсов, ECSS – E-ST-40C Космическая инженерия. Программное обеспечение и содержат следующие элементы:

- Команды, передаваемые от А к В

- Команды, отправленные от В к А

- События телеметрии, публикуемые В, на которые подписывается А

- События телеметрии, опубликованные А, на которые подписывается В.

Для каждой команды указывается следующая информация:

- Имя команды

- Краткое описание

- Подробное описание

- Формат данных (возвращаемые параметры / тип возврата)

- Единицы данных (входные параметры команды)

Для каждого входного параметра (или "единицы данных"), а также для возвращаемых параметров / типа возврата (или "формата данных") предоставляется следующая информация:

- Аргумент (имя параметра)

- Формат данных (тип; например, float)

- Единицы измерения (физические единицы; например, м (метры))

- Диапазон (допустимый диапазон значений для входного параметра)

В программном коде в разработанном программном продукте каждый раздел имеет отдельный модуль, описанный в отдельном файле с расширением .tex, что позволяет независимо редактировать его содержание и делегировать работу в команде при разработке:

```
\begin{document}
...
\input{1_Introduction} % Введение
\input{2_Abbreviation} % Сокращения и
обозначения
```

```

\input{3_Software_description} %
Описание программного обеспечения
\input{4_Design} %
Проектирование каналов обмена данными и
интерфейсов
\input{5_Exchange} %
Описание и характеристики каналов обмена
данными
\input{6_Data_amount} % Расчет
количества данных
\input{7_Verification} % Проверка на
соответствие требованиям
\input{Reference_docs} % Ссылочные
документы, библиография
...
\end{document}

```

Модульная архитектура программы позволяет дополнительно добавлять разделы, не меняя архитектуру и общую логику работы программы. Программа поддерживает работу с базами данных, таблицами (`\usepackage{multitrow}`), корректным отображением кириллических символов (`\usepackage[russian,english]{babel}`).

Данные в таблицы обмена данными подсистем поступают автоматически из прикрепленных баз данных:

```

\begin{filecontents*}{data.csv}
...
\end{filecontents*}

```

Для этого в таблицах используются переменные :

```

\begin{table}[!ht]
\caption{Описание функций систем}
\centering
\vspace{5pt}

```

```

\newcolumnntype{P}[1]{>{\raggedright\arra
ybackslash}p{#1}}

```

```

\begin{tabular}{|P{3cm}|P{5cm}|P{4cm}|}
Система (устройство или
программный блок) & Функция (режим
работы, выполняемые алгоритмы) &
Постоянное/временное выполнение функции
\\

```

```

\hline
\emph{\A} & & \\
\hline
\emph{\Aa} & & \\
\hline
\emph{\AB} & & \\
\hline
\emph{\AC} & & \\
\hline

```

```

\end{tabular}
\label{tab:my_label}

```

(переменные в выбранном языке описаны как

```

\newcommand{\A}{\selectlanguage{russi
an} система 1}}
\newcommand{\Aa}{\selectlanguage{russ
ian} система 2}}
\newcommand{\T}{\selectlanguage{russia
n} термин 1}
\newcommand{\TA}{\selectlanguage{russi
an} расшифровка термина 1}

```

, где название термина или системы из базы данных

.csv будет записываться в \A, \T, \TA и т.д.)

Работа с базами данных подразумевает формализацию параметров и критериев системы управления и ее подсистем. Программа формирует отчет – документ управления интерфейсами, который содержит характеристики подсистем и системы в целом для последующей возможной оптимизации.

IV. ВЫВОДЫ. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование данного программного обеспечения помогает формировать полный цикл разработки сложной системы – от определения требований, формирования пакетов данных между подсистемами. Разработанная программа формализует основные критерии для ее оптимизации и выбору оптимальных подсистем. Данное программное обеспечение сокращает время на разработку документации, помогает управлять интеграцией подсистем в разработке сложных систем:

- Разработанная программа устанавливает правила описания, построения и вычисления количества данных для взаимодействия программно-аппаратных комплексов систем управления и обработки данных;

- Настоящая программа может распространяться на описание информационно-логического взаимодействия программных и аппаратных систем – их интерфейсов между программными блоками, между физическими подсистемами, правила обмена данными.

- Описанная разработка применима для описания всех процессов обработки данных в терминах ГОСТ 19781-90

Основываясь на функциональном подходе к проектированию сложных систем, таких как бортовые системы управления полетом, мы можем разделить всю величину данных в процентах для каждой подсистемы в соответствии с ее влиянием и влиянием на всю функциональность управления.

На практике подходы оценки оптимального количества информации решаются итеративно с применением принципа оптимальности. И на первом этапе нам необходимо знать состояния и режимы, чтобы применить принцип оптимальности Беллмана. Для этого мы применим Парето-анализ, чтобы понять, какой оптимальный объем данных мы должны передавать, какие режимы и состояния являются приоритетными и должны применяться для обмена данными между навигационными системами на борту.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Nancy G. Leveson The Role of Software in Spacecraft Accidents https://comp.anu.edu.au/courses/comp3530/readings/comp3530_w4_wed_tute.pdf дата обращения 07.04.2022
- [2] Systemic Factors in Software-Related Spacecraft Accidents Nancy G. Levenson Aeronautics and Adtronautics Massachusetts Institute of Technology <http://sunnyday.mit.edu/accidents/space2001.pdf> дата обращения 20.01.2021
- [3] J. Sztipanovits et al., "Toward a Science of Cyber-Physical System Integration," in Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 1, pp. 29-44, Jan. 2012, doi: 10.1109/JPROC.2011.2161529
- [4] Christopher S. Chapman, Lili-Anne Kihn, Information system integration, enabling control and performance, Accounting, Organizations and Society, Volume 34, Issue 2, 2009, Pages 151-169

- [5] ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 Национальный стандарт Российской Федерации Контроллеры Программируемые. Часть 3 Языки программирования Programmable controllers. Part 3. Programming languages
- [6] П. Павлов Тенденции развития микропроцессоров и микроконтроллеров СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА № 2 2007
- [7] В. Г. Кристовский, Анализ влияния линий связи на характеристики микропроцессоров / В. Г. Кристовский, Ю. И. Терентьев // Микроэлектроника. – 2005. – Т. 34. – № 1. – С. 72-76. – EDN HXXYJT
- [8] М. А. Сонькин, Е. Е. Слядников, С. А. Русановский Информационная технология интеграции компонентов многоуровневых систем с пакетной передачей данных // Известия ТПУ. 2006. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-tehnologiya-integratsii-komponentov-mnogourovnevnyh-sistem-s-paketnoy-peredachej-dannyh> (дата обращения: 08.04.2022)
- [9] А. В. Тимофеев, Д. П. Димитриченко, Модели и методы многокритериальной оптимизации альтернатив, Тр. СПИИРАН, 2008, выпуск 7, 182–194
- [10] А. Ю. Быков, Ф. А. Панфилов, С. А. Зенькович Модель и методы многокритериального выбора классов защищенности для объектов распределенной информационной системы и размещения баз данных по объектам // Вопросы кибербезопасности. 2016. №2 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-i-metody-mnogokriterialnogo-vybora-klassov-zaschischnosti-dlya-obektov-raspredelennoy-informatsionnoy-sistemy-i-razmescheniya> (дата обращения: 07.04.2022)
- [11] С.В. Семенihin, Л.А. Денисова Автоматизация информационного поиска на базе многокритериальной оптимизации и генетических алгоритмов // ОмГТУ. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-informatsionnogo-poiska-na-baze-mnogokriterialnoy-optimizatsii-i-geneticheskikh-algoritmov> (дата обращения: 07.04.2022)
- [12] Денисова, Л. А. Автоматизация синтеза нечеткой системы регулирования с использованием многокритериальной оптимизации и генетических алгоритмов / Л. А. Денисова // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 54-62. – EDN QDNUWS
- [13] Ногин В.Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 4. – С. 73-82
- [14] Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход (2-е издание). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005
- [15] В.В. Подиновский В.Д. Ногин Парето-оптимальные решения многокритериальных задач – М.: Наука . Главная редакция физико-математической литературы, 1982, 256 с.
- [16] Cruzes D.S., Mendonca M.G. Basili V.R. , Shull F. And Jino M. “Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers” Proc.SCCC’07 p.105-114, 2007
- [17] D.A. Gwaltney and J.M. Briscoe NASA/TM—2006–214431 Comparison of Communication Architectures for Spacecraft Modular Avionics Systems, 2006
- [18] Д. В. Пашенко, Д. А. Трокоз Проблемы построения многопоточной модели программного обеспечения экспертной системы авиационных радиолокационных комплексов Известия высших учебных заведений. Поволжский регион, № 2 (18), 2011
- [19] CSDS Spacecraft onboard interface services Informational report CCSDS 850.0-0-G-1, 2007
- [20] Ногин, В. Д. Многокритериальный выбор на основе нечеткой информации / В. Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2019. – № 2. – С. 50-61. – DOI 10.14357/20718594190205. – EDN ZCMZMZ
- [21] И.К. Романова Применение аналитических методов к исследованию Парето-оптимальных систем управления Наука и образование №4, апрель 2014
- [22] O.Kurasove, T. Petkus, Filatova E. Visualization of Pareto Front Points when Solving Multi-Objective Optimization Problems // Information Technology and Control, 2013, Vol. 42, no 4, p 353-361
- [23] The LATEX3 Interfaces The LATEX Project* Released 2022-02-24 <https://mirror.macomnet.net/pub/CTAN/macros/latex/contrib/l3kernel/interface3.pdf> дата обращения 06.04.2022
- [24] Grottke M., Nikora A. P., Trivedi K. S. An empirical investigation of fault types in space mission system software //2010 IEEE/IFIP international conference on dependable systems & networks (DSN). – IEEE, 2010. – С. 447-456
- [25] Herzig S. J. I. et al. Verifying Interfaces and generating interface control documents for the alignment and phasing subsystem of the Thirty Meter Telescope from a system model in SysML //Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VIII. – International Society for Optics and Photonics, 2018. – Т. 10705. – С. 107050V
- [26] Ricardo E. B. et al. Knowledge Tools to Organise Software Engineering Data: Development and Validation of an Ontology based on ECSS Standard //Advances in Space Research. – 2022
- [27] Ricardo Eito-Brun, Juan Miguel Gómez-Berbís, Antonio de Amescua Seco, Knowledge tools to organise software engineering Data: Development and validation of an ontology based on ECSS standard, Advances in Space Research, 2022, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.052>
- [28] Yasseri S. Interface management of subsea field development //Underwater Technology. – 2015. – Т. 33. – №. 1. – С. 41-57 <https://www.ingentaconnect.com/content/sut/unwt/2015/00000033/0000001/art00005?crawler=true> дата обращения 07.06.2022
- [29] G. T. Jesus and M. F. Chagas Junior, "Using Systems Architecture Views to Assess Integration Readiness Levels," in IEEE Transactions on Engineering Management, doi: 10.1109/TEM.2020.3035492
- [30] https://indico.esa.int/event/329/contributions/5516/attachments/3874/5482/0945_-_Abstract_-_Modelling_Avionics_Interfaces_and_Generating_Interface_Control_Documents_for_the_Propulsion_Subsystem_of_the_MPCV_ESM.pdf дата обращения 06.06.2022
- [31] Herzig S. J. I. et al. Analyzing the operational behavior of the alignment and phasing system of the thirty meter telescope using sysml. – 2017
- [32] Karban R. et al. Creating system engineering products with executable models in a model-based engineering environment //Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VII. – International Society for Optics and Photonics, 2016. – Т. 9911. – С. 99110B
- [33] Чижикова, Л. А. Исследование зависимости функций, режимов ЛА и математическое моделирование потоков данных БКУ / Л. А. Чижикова // Наука, технологии, общество - НТО-2021 : сборник научных статей по материалам Всероссийской научной конференции, Красноярск, 29–31 июля 2021 года. – Красноярск: Общественное учреждение "Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений", 2021. – С. 79-87. – DOI 10.47813/dnit-nto.2021.79-87. – EDN WKDPXN
- [34] Boeing <https://www.nytimes.com/2020/02/07/science/boeing-starliner-nasa.html> обращения 08.06.2022

Чижикова Л.А. закончила Московский технический университет связи и информатики по специальности «Управление и информатика в технических системах». С 2011 ведет свою профессиональную деятельность по специальности в авиакосмической отрасли. С 2020 года занимается написанием диссертационной работы по тематике бортовых комплексов управления и совершенствования методики разработки программно-алгоритмического обеспечения.

Formalizing the data management approach for complex systems

Liudmila Chizhikova

Abstract - Onboard control systems are complex cyber-physical systems with dynamic data flows between subsystems. As research shows, existing software-algorithmic approaches are inefficient - many anomalies and faults of onboard control complexes are system failures (i.e., improper system behavior), and they are based on a misunderstanding of how the system works. Multicriteria optimization can be applied for system creation. On this way the characteristics of the system should be created based on its functions and the amount of data. The paper analyzed approaches for semi-automated generation of interface management documents. Part of the program interacting with the database to automate the development of criteria and ordering, data structuring of a complex system, creation of interface management documents was presented. The unification of interface management and control documents creation of the complex system and automation of data management of such a system will reduce the development time, minimize the risks of failures.

Key words - Pareto-optimality, system analysis, software and algorithmic development, LaTeX

REFERENCES

- [1] Nancy G. Leveson The Role of Software in Spacecraft Accidents https://comp.anu.edu.au/courses/comp3530/readings/comp3530_w4_wed_tute.pdf data obrashcheniya 07.04.2022
- [2] Systemic Factors in Software-Related Spacecraft Accidents Nancy G. Levenson Aeronautics and Astronautics Massachusetts Institute of Technology <http://sunnyday.mit.edu/accidents/space2001.pdf> data obrashcheniya 20.01.2021
- [3] J. Sztipanovits et al., "Toward a Science of Cyber-Physical System Integration," in Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. 1, pp. 29-44, Jan. 2012, doi: 10.1109/JPROC.2011.2161529
- [4] Christopher S. Chapman, Lili-Anne Kihn, Information system integration, enabling control and performance, Accounting, Organizations and Society, Volume 34, Issue 2, 2009, Pages 151-169
- [5] GOST R MEK 61131-3-2016 Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii Kontrollery Programmiruemye. CHast' 3 YAzyki programirovaniya Programmable controllers. Part 3. Programming languages
- [6] P. Pavlov Tendencii razvitiya mikroprocessorov i mikrokontrollerov SOVREMENNAYA ELEKTRONIKA № 2 2007
- [7] V. G. Kristovskij, Analiz vliyaniya linij svyazi na karakteristiki mikroprocessorov / V. G. Kristovskij, YU. I. Terent'ev // Mikroelektronika. – 2005. – T. 34. – № 1. – S. 72-76. – EDN HRXYTJ
- [8] M. A. Son'kin, E. E. Slyadnikov, S. A. Rusanovskij Informacionnaya tekhnologiya integracii komponentov mnogourovnevnyh sistem s paketnoj peredachej dannyh // Izvestiya TPU. 2006. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-tehnologiya-integratsii-komponentov-mnogourovnevnyh-sistem-s-paketnoy-peredachej-dannyh> (data obrashcheniya: 08.04.2022)
- [9] A. V. Timofeev, D. P. Dimitrichenko, Modeli i metody mnogokriterial'noj optimizacii al'ternativ, Tr. SPIIRAN, 2008, vypusk 7, 182–194
- [10] A. YU. Bykov, F. A. Panfilov, S. A. Zen'kovich Model' i metody mnogokriterial'nogo vybora klassov zashchishchennosti dlya ob'ektov raspredelennoj informacionnoj sistemy i razmeshcheniya baz dannyh po ob'ektam // Voprosy kiberbezopasnosti. 2016. №2 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-i-metody-mnogokriterial'nogo-vybora-klassov-zaschishchennosti-dlya-obektov-raspredelennoj-informatsionnoj-sistemy-i-razmeshcheniya> (data obrashcheniya: 07.04.2022)
- [11] S.V. Semenihin, L.A. Denisova Avtomatizaciya informacionnogo poiska na baze mnogokriterial'noj optimizacii i geneticheskikh algoritmov // OmGTU. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-informatsionnogo-poiska-na-baze-mnogokriterial'noj-optimizatsii-i-geneticheskikh-algoritmov> (data obrashcheniya: 07.04.2022)
- [12] Denisova, L. A. Avtomatizaciya sinteza nechetkoj sistemy regulirovaniya s ispol'zovaniem mnogokriterial'noj optimizacii i geneticheskikh algoritmov / L. A. Denisova // Avtomatizaciya v promyshlennosti. – 2014. – № 3. – S. 54-62. – EDN QDNUWS
- [13] Nogin V.D. Linejnaya svertka kriteriev v mnogokriterial'noj optimizacii // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij. - 2014. - № 4. - S. 73-82
- [14] Nogin V.D. Prinyatie reshenij v mnogokriterial'noj srede: kolichestvennyj podhod (2-e izdanie). M.: FIZMATLIT, 2005
- [15] V.V. Podinovskij V.D. Nogin Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nyh zadach – M.: Nauka . Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1982, 256 s.
- [16] Cruzes D.S., Mendonca M.G. Basili V.R. , Shull F. And Jino M. "Extracting Information from Experimental Software Engineering Papers" Proc.SCCC'07 p.105-114, 2007
- [17] D.A. Gwaltney and J.M. Briscoe NASA/TM—2006–214431 Comparison of Communication Architectures for Spacecraft Modular Avionics Systems, 2006
- [18] D. V. Pashchenko, D. A. Trokoz Problemy postroeniya mnogopotchnoj modeli programmnoho obespecheniya ekspertnoj sistemy aviacionnyh radiolokacionnyh kompleksov Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region, № 2 (18), 2011
- [19] CSDS Spacecraft onboard interface services Informational report CCSDS 850.0-0-G-1, 2007
- [20] Nogin, V. D. Mnogokriterial'nyj vybor na osnove nechetkoj informacii / V. D. Nogin // Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij. – 2019. – № 2. – S. 50-61. – DOI 10.14357/20718594190205. – EDN ZCMZM
- [21] I.K. Romanova Primenenie analiticheskikh metodov k issledovaniyu Pareto-optimal'nyh sistem upravleniya Nauka i obrazovanie №4, april' 2014
- [22] O.Kurasove, T. Petkus, Filatova E. Visualization of Pareto Front Points when Solving Multi-Objective Optimization Problems // Information Technology and Control, 2013, Vol. 42, no 4, p 353-36
- [23] The LATEX3 Interfaces The LATEX Project* Released 2022-02-24 <https://mirror.macomnet.net/pub/CTAN/macros/latex/contrib/l3kernel/interface3.pdf> data obrashcheniya 06.04.2022
- [24] Grotke M., Nikora A. P., Trivedi K. S. An empirical investigation of fault types in space mission system software //2010 IEEE/IFIP international conference on dependable systems & networks (DSN). – IEEE, 2010. – C. 447-456
- [25] Herzig S. J. I. et al. Verifying Interfaces and generating interface control documents for the alignment and phasing subsystem of the Thirty Meter Telescope from a system model in SysML //Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VIII. – International Society for Optics and Photonics, 2018. – T. 10705. – C. 107050V
- [26] Ricardo E. B. et al. Knowledge Tools to Organise Software Engineering Data: Development and Validation of an Ontology based on ECSS Standard //Advances in Space Research. – 2022
- [27] Ricardo Eito-Brun, Juan Miguel Gómez-Berbís, Antonio de Amescua Seco, Knowledge tools to organise software engineering Data:

- Development and validation of an ontology based on ECSS standard, *Advances in Space Research*, 2022, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.052>
- [28] Yasser S. Interface management of subsea field development // *Underwater Technology*. – 2015. – Т. 33. – №. 1. – С. 41-57 <https://www.ingentaconnect.com/content/sut/unwt/2015/00000033/0000001/art00005?crawler=true> data obrashcheniya: 07.06.2022
- [29] G. T. Jesus and M. F. Chagas Junior, "Using Systems Architecture Views to Assess Integration Readiness Levels," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, doi: 10.1109/TEM.2020.3035492
- [30] https://indico.esa.int/event/329/contributions/5516/attachments/3874/5482/0945_-_Abstract_-_Modelling_Avionics_Interfaces_and_Generating_Interface_Control_Documents_for_the_Propulsion_Subsystem_of_the_MPCV_ESM.pdf дата обращения 06.06.2022
- [31] Herzig S. J. I. et al. Analyzing the operational behavior of the alignment and phasing system of the thirty meter telescope using sysml. – 2017
- [32] Karban R. et al. Creating system engineering products with executable models in a model-based engineering environment // *Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VII*. – International Society for Optics and Photonics, 2016. – Т. 9911. – С. 99110B
- [33] Chizhikova, L. A. Issledovanie zavisimosti funkcionirovaniya LA i matematicheskoe modelirovanie potokov dannykh BKU / L. A. Chizhikova // *Nauka, tehnologii, obshchestvo - NTO-2021 : sbornik nauchnykh statej po materialam Vserossijskoj nauchnoj konferencii, Krasnojarsk, 29–31 ijulja 2021 goda*. – Krasnojarsk: Obshchestvennoe uchrezhdenie "Krasnojarskij kraevoj Dom nauki i tehniki Rossijskogo sojuza nauchnyh i inzhenernyh obshchestvennyh ob#edinenij", 2021. – S. 79-87. – DOI 10.47813/dnit-nto.2021.79-87. – EDN WKDPXN
- [34] Boeing <https://www.nytimes.com/2020/02/07/science/boeing-starliner-nasa.html>