

Модели и методы реконфигурации сложных технических объектов в различных условиях обстановки

Б. В. Соколов
СПИИРАН;
Университет ИТМО
sokol_boris@inbox.ru

В. А. Зеленцов¹, А. Ю. Кулаков²,
И. Ю. Пиманов³
СПИИРАН

¹v.a.zelentsov@gmail.com, ²russ69@bk.ru, ³pimen@list.ru

Аннотация. Для решения задач реконфигурации сложных технических объектов (СТО) в различных условиях обстановки с единых методологических и методических позиций в докладе предлагается новая модификация ранее разработанных иерархических вычислительных G-моделей представления и обработки данных, информации и знаний, которые обеспечат на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях детализации согласование математических (аналитико-имитационных) моделей управления реконфигурацией (в общем случае - структурной динамикой) СТО с их логико-алгебраическими и логико-лингвистическими аналогами (моделями), построенными на основе интеллектуальных информационных технологий. для описания человеко-машинного взаимодействия с разрабатываемым комплексом моделей. Предложенная методология и технология комплексного моделирования процессов реконфигурации СТО позволяет в рамках сервис-ориентированного подхода и соответствующей информационной архитектуры объединить разработанное ранее авторами доклада методическое и программное обеспечение наземного и бортового функциональных модулей СТО в единую систему.

Ключевые слова: реконфигурация; комплексное моделирование; проактивное управление; бортовая аппаратура; маломассогабаритные космические аппараты

1. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях для обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления состоянием такого сложного технического объекта как маломассоразмерных космический аппарат (МКА) и его бортовой аппаратурой (БА) необходимо решить следующие основные научно-технические проблемы. Во-первых, обеспечить модельно-алгоритмическое описание процессов смысловой

интерпретации всех возможных штатных и нештатных состояний их функционирования и, во-вторых, на этой основе решить основные задачи комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов мониторинга технического состояния и управления БА МКА в различных условиях обстановки. Однако, к сожалению, в подавляющем большинстве случаев на практике мониторинг, прогнозирование и управление состояниями элементов, подсистем и всей БА с точки зрения обеспечения требуемых уровней показателей надежности, живучести и эффективности функционирования МКА автоматизирован, в лучшем случае, лишь частично. Как правило, в современных системах мониторинга технического состояния и управления БА МКА операторам представляется смысловая информация только о состояниях их элементов, а не объектов контроля в целом. Указанные обстоятельства приводят к тому, что интегральную оценку и прогнозирование состояния БА МКА также, как и формирование необходимых управляющих воздействий выполняют операторы, в основном, вручную, базирываясь эвристических правилах [1–2].

Особую актуальность вопросы автономности и живучести приобретают при разработке и эксплуатации МКА наблюдения (дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ)) [1–2]. Для данных МКА важнейшим показателем качества их функционирования является показатель оперативности передачи и выполнения программ работы специальной и обеспечивающей БА МКА, так и получения целевой информации и телеметрии наземным комплексом управления (НКУ), а также возможности оперативного вмешательства в реализацию указанных программ в случае возникновения нештатной ситуации. Таким образом, для МКА наблюдения вопросы автономности и живучести тесно взаимосвязаны с вопросами эффективного функционирования как БА МКА, так и НКУ, и в целом АСУ МКА.

Проблема повышения уровня автономности, живучести, эффективности функционирования сложных технических объектов (СТО), к которым, в частности, относятся перечисленные классы космических средств (Кср), в научной литературе рассматривается в

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), грантов РФФИ (№№ 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073–2018–0003, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP.

совокупности с решением задач контроля, оценивания и технического диагностирования состояния СТО, проведения реконфигурации (структурной, функциональной, структурно-функциональной реконфигурации) структур СТО, управления ее резервами, альтернативного и многорежимного управления, анализа и синтеза отказоустойчивости и катастрофоустойчивости СТО [2-3]. Однако, к сожалению, все перечисленные исследования носят разрозненный и разобщенный. В связи с этим авторами статьи в выполненном проекте [4] было проведено дальнейшее развитие формируемой ими прикладной теории проактивного управления структурной динамикой СТО, в рамках которой удалось с единых системно-кибернетической позиции подойти к вопросам обеспечения надёжности, живучести, катастрофоустойчивости и отказоустойчивости СТО на основе конфигурации и реконфигурации их структур [2-4].

Под реконфигурацией структуры (структур) СТО (в том числе БА МКА, НКУ МКА) понимается целенаправленный процесс изменения его структуры (структур) в целях сохранения, восстановления, а в некоторых ситуациях и повышения уровней показателей надёжности, живучести, эффективности применения, либо обеспечения минимального снижения их требуемых значений при возможной деградации и/или выходе из строя элементов и подсистем СТО. Применительно к космической сфере в ходе выполнения проекта [5-6] были введены несколько задач и соответственно сценариев реконфигурации основных элементов и подсистем АСУ МКА, которые условно можно поделить на два больших класса: внутренняя реконфигурация, когда применительно к БА МКА задействуются только собственные аппаратно-программные средства (АПС), и внешняя реконфигурация, когда в условиях деградации БА МКА часть функций управления МКА перераспределяется между бортовым и наземным комплексами управления МКА.

II. ОСНОВЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате выполненных исследований был разработан взаимосвязанный комплекс моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающий решение следующих задач: автоматизированное моделирование процессов управления реконфигурацией БА МКА; автоматизированное формирование стратегий реконфигурации БА МКА; автоматический контроль и оценивание текущего состояния БА МКА; автоматическое (автоматизированное) планирование реконфигурации БА МКА; формирование и выдача команд на реконфигурацию бортовых систем и восстановление работоспособности БА мало-массогабитных КА.

Для решения всех перечисленных задач с единых методологических и методических позиций была предложена новая модификация ранее разработанных исполнителями проекта иерархических вычислительных G-моделей представления и обработки данных, информации и знаний, которые обеспечили на концептуальном, модельно-алгоритмическом, информационном и программном уровнях детализации

согласование математических (аналитико-имитационных) моделей управления реконфигурацией (в общем случае - структурной динамикой) БА МКА с их логико-алгебраическими и логико-лингвистическими аналогами (моделями), построенными на основе интеллектуальных информационных технологий.

Доработка иерархических вычислительных G-моделей представления и обработки данных, информации и знаний проводилась на основе предлагаемой исполнителями проекта динамической интерпретации сетей Петри (в частном случае асинхронных автоматов, используемых для решения задачи идентификации состояния БА МКА) и комбинирования указанного математического аппарата с логико-динамическими моделями программного управления комплексами операций, ресурсами и структурами БА МКА. В последние годы сети Петри завоевали широкое признание, прежде всего, как удобный и наглядный инструмент описания моделей многоуровневых процессов параллельного, потокового, пространственно-распределённого, асинхронного, преобразования информации. Ранее выполненные исследования показали, что, используя предлагаемую логико-динамическую интерпретацию сетей Петри, как динамических альтернативных системных графов с перестраиваемой структурой, можно на конструктивном уровне осуществить интеграцию таких важнейших классов моделей подготовки и принятия решений при реконфигурации БА МКА, как: вычислительные модели, используемые для описания алгоритмов оперативного планирования и управления реконфигурацией БА МКА; экспертные модели для описания моделей оценивания состояния БА МКА; а также диалоговые модели для описания человеко-машинного взаимодействия с разрабатываемым комплексом моделей.

Предложенная методология и технология комплексного моделирования процессов реконфигурации БА МКА позволили в рамках сервис-ориентированного подхода и соответствующей информационной архитектуры объединить ранее разработанное и предлагаемое методическое и программное обеспечение наземного и бортового функциональных модулей восстановления работоспособности БА МКА в единую систему. При этом были спроектированы и реализованы следующие конкретные модели, методы и алгоритмы: модели неуправляемого движения МКА; модели управления технологическими операциями, связанными с подготовкой и проведением реконфигурации БА МКА; модели программного управления ресурсами (электроэнергетическими, топливными, информационными); модели управления структурами (топологической, технической, функциональной) БА МКА и формирования стратегий (технологий) реконфигурации БА МКА; модели формирования сценариев возмущающих воздействий на БА МКА; модели оперативного контроля и оценивания состояния БА МКА; модели формирования и выдачи команд на реконфигурацию бортовых систем и восстановления работоспособности БА МКА; методы и алгоритмы комплексного (аналитико-имитационного) моделирования процессов управления реконфигурацией

БА МКА в динамически изменяющейся обстановке на основе языков сценарного моделирования, методы и алгоритмы формирования и выдачи команд на реконфигурацию БА МКА на основе логико-динамического описания данных процессов; методы и алгоритмы формирования и выдачи команд на реконфигурацию БА МКА на основе логико-динамического описания данных процессов.

Кроме того, были разработаны следующие прототипы программного обеспечения: прототип программного комплекса моделирования процессов управления реконфигурацией бортовых систем маломассогабаритных КА; прототип программного комплекса формирования стратегий (планов) реконфигурации бортовых систем маломассогабаритных КА методы и алгоритмы формирования и выдачи команд на реконфигурацию БА МКА на основе логико-динамического описания данных процессов; прототип программного комплекса автоматического контроля и оценивания текущего состояния бортовых систем КА; прототип программного комплекса автоматического планирования реконфигурации бортовых систем КА; прототип программного комплекса формирования и выдачи команд на реконфигурацию бортовых систем и восстановления работоспособности маломассогабаритных КА.

Для конкретизации исходных данных и сценариев моделирования проверка разработанного модельно-алгоритмического и программного обеспечения была проведена на примере бортовой аппаратуры системы управления движением (СУД) МКА, решающим задачи радиолокационного наблюдения Земной поверхности [3–4].

Проверка функциональности перечисленных прототипов программных комплексов проводилась для следующих сценариев выполнения реконфигурации БА МКА: 1) «стандартная» реконфигурация, которая проводится только по командам с НКУ в зонах радиовидимости МКА, 2) «стандартная» реконфигурация, проводимая автоматически СУД, кроме аварийной ситуации, когда необходим анализ нештатной ситуации в центре управления полетом на Земле, 3) структурно-функциональная реконфигурация, проводимая автоматически СУД МКА. Была проведена серия экспериментов, которая подтвердила преимущества структурно-функциональной реконфигурации СУД МКА по сравнению со «стандартной» реконфигурацией.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненного к настоящему моменту времени моделирования процессов управления реконфигурацией бортовых систем маломассогабаритных КА было установлено что применение предложенных алгоритмов структурно-функциональной реконфигурации показывают большую эффективность по сравнению

алгоритмами стандартной реконфигурации. Так число успешно проведенных сеансов увеличилось на ~50% по сравнению со «стандартной» реконфигурацией, проводимой с НКУ, и на ~30% по сравнению со «стандартной» реконфигурацией, проводимой в автоматическом режиме. При этом значения комплексных показателей надёжности увеличиваются для коэффициента технического использования и для коэффициента сохранения эффективности для проведенных сеансов на ~45% и ~25% соответственно для реконфигурации, проводимой с НКУ, и реконфигурации в автоматическом режиме.

В целом в результате выполненных исследований были получены следующие научные и практические результаты: во-первых, применительно к современным МКА реконфигурацию следует рассматривать не только как технологию управления структурами БА КА для компенсации отказов, но и как технологию управления, направленную на повышение эффективности функционирования БА МКА; во-вторых, для реализации указанной концепции реконфигурации БА МКА необходимо в дальнейшем разработать такие средства формализации (модели, методы, алгоритмы, прототипы специального программного обеспечения (СПО), которые позволили бы на конструктивной основе связывать процессы реконфигурации БА МКА с процессами её использования по целевому назначению на различных этапах жизненного цикла.

Разработанные прототипы СПО подтвердили преимущества применения предлагаемой авторами структурно-функциональной реконфигурации на борту МКА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ахметов Р.Н., Макаров В.П., Соллогуб А.В. Концепция автономного управления живучестью автоматических космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в аномальных ситуациях // Известия самарского научного центра РАН, 2009, №3-1, т.11, с. 165-176
- [2] Кирилин А.Н., Ахметов Р.Н., Соллогуб А.Н., Макаров В.П. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии. М.: Машиностроение, 2010. 384 с.
- [3] Кулаков А.Ю. Модель оценивания расхода топлива космического аппарата с учётом нештатных ситуаций // Известия ВУЗов. Приборостроение. 2014, т. 57, №11, с. 30-34.
- [4] Кулаков А.Ю., Павлов А.Н., Павлов Д.А. Функциональная реконфигурация чувствительных элементов системы управления движением космического аппарата / Труды СПИИРАН, 2013, выпуск 5(28), с. 169-181.
- [5] Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
- [6] Павлов А.Н. Комплексное моделирование структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов / А.Н. Павлов // Труды СПИИРАН. 2013. Выпуск № 5. С. 143–168.