

КОММУНИКАЦИЯ В РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ КРИТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.Ю. Таранов¹

mailfortexas@mail.ru

Э.В. Мельник¹

evm17@mail.ru

В.В. Косьянчук²

vvk@gosniias.ru

Г.А. Платошин²

pga@gosniias.ru

¹ НИИ МВС ЮФУ, г. Таганрог, Ростовская обл., Российская Федерация

² ГосНИИАС, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены реконфигурируемые информационно-управляющие системы критического назначения. Перечислены актуальные проблемы обеспечения процессов коммуникации в рамках информационно-управляющих систем подобного рода, например, в силу строгих стандартов в области применения систем критического назначения (на примере авиационной промышленности). Подробно описаны варианты обеспечения процессов коммуникации при сбоях и отказах в работе реконфигурируемых информационно-управляющих систем. Показано, что существующие в настоящее время подходы в этой области имеют определенные недостатки и внедрение новых подходов может существенно улучшить характеристики надежности рассматриваемых систем. Предложен и описан общий алгоритм работы реконфигурируемого сетевого коммутатора, основанный на принципах мультиагентного взаимодействия. Рассмотрены особенности работы указанного алгоритма. Приведено описание достоинств, недостатков и специфики применения предлагаемого подхода. Показана перспективность проведения разработок в области проектирования и применения реконфигурируемых вычислительных сетей на базе реконфигурируемых сетевых коммутаторов для информационно-управляющих систем критического назначения

Ключевые слова

Информационно-управляющие системы, мультиагентные системы, реконфигурация, коммуникационное оборудование, вычислительные сети, ARINC, AFDX

Поступила 26.12.2023

Принята 09.07.2024

© Автор(ы), 2024

Введение. В классической теории управления все компоненты информационно-управляющих систем (ИУС) работают бесперебойно и корректно [1]. Но на практике этого добиться не удастся, поскольку достичь 100%-ной безотказности невозможно [2]. Информационно-управляющая система — это важная часть любого сложного технического устройства, на которую налагаются требования по надежности, стабильности, безопасности и непрерывного режима работы [3].

В связи с этим возникает вопрос, каким образом организовать работу ИУС с поддержанием соответствующего уровня безопасности и надежности [4].

Одним из решений служит принятие организационных мер в процессах проектирования, разработки и эксплуатации, минимизирующих вероятность возникновения отказов, но более действенным является внедрение в проект ИУС встроенных механизмов с высокими характеристиками надежности на уровне архитектуры.

В первую очередь к таким механизмам относится реконфигурация, т. е. подход, дающий возможность организовывать переналадку ИУС при ее полном или частичном отказе, что обеспечит приемлемый уровень безопасности и функциональность системы в некотором объеме (предположительно в полном) в случае отказа [5].

Реконфигурируемые системы вообще и ИУС в частности имеют существенно более высокий уровень надежности, что является их безусловным плюсом. Отметим, что такие системы имеют и недостатки: они сложнее и, соответственно, дороже при разработке и в обслуживании. Считается, что значительный рост надежности и безопасности более важны, чем неудобства при достижении указанных показателей [6, 7].

Основным подходом к обеспечению реконфигурации является резервирование за счет избыточности аппаратной части. При этом применяются три основных метода: общесистемное, поэлементное или скользящее резервирование [8]. Эти методы обеспечения резервирования известны давно, они зарекомендовали себя как эффективные для улучшения надежности реконфигурируемых систем. Следует отметить и их существенный недостаток — требуется увеличение объемов аппаратных ресурсов, что ведет к удорожанию самих ИУС и их эксплуатации.

Этот факт естественным образом привел к появлению еще одного метода достижения повышенной надежности реконфигурируемых систем — резервированию производительности, суть которого заключается в использовании всех вычислителей системы для решения функциональных задач системы и для обеспечения работоспособности ИУС [9]. Последнее

достигается за счет перераспределения подзадач, которые решаются на вычислителях ИУС, с аварийных вычислителей на работоспособные. Если общая нагрузка ИУС будет распределена по вычислителям равномерно, то это приведет к облегчению работы элементов ИУС в тепловых режимах и, как следствие, к уменьшению интенсивности отказов (положительный побочный эффект). Таким образом, будет достигнуто существенное повышение вероятности безотказной работы и гамма-процентной наработки на отказ [10–12].

Изложенное позволяет назвать реконфигурацию действенным методом достижения высокого уровня надежности, допускающим использование в ИУС критического назначения. Яркий пример применения такого метода — авиастроение [13]. Далее, как пример, будет рассмотрено применение приведенного подхода к обеспечению реконфигурации в авиастроении, хотя его можно применять и в других областях без существенных изменений или ограничений.

Общая проблематика. Использование ИУС критического назначения связано с рядом ограничений, являющихся следствием специфичности областей их применения. Во-первых, такие системы практически всегда работают в реальном времени. Во-вторых, проектирование таких ИУС ведется с расчетом, чтобы при возникновении нештатных ситуаций вопросы, связанные с такими событиями, разрешались системой быстро, корректно и без участия человека. Кроме этого, существует значительное число ограничений, которые вызваны использованием ряда отраслевых норм и стандартов, применение которых существенно ограничивает как аппаратное, так и программное обеспечение ИУС.

К таким ограничениям относится заблаговременное конфигурирование системы, при котором заранее определяются все необходимые для работы ИУС параметры, включая все вычислительные ресурсы и их потребителей. Несмотря на то, что ведутся работы в области динамической реконфигурации в системах критического назначения [14], подход еще не стал и, видимо, еще долгое время не станет обыденной практикой, регламентируемой соответствующими нормативными документами или опирающейся на стандарты де-факто.

В авиастроении к таким ограничителям можно отнести стандарты ARINC (Aeronautical Radio Incorporated), в которых, например, приведены интерфейс взаимодействия между программным обеспечением (ПО) прикладного уровня и операционной системой APEX (Application Executive), а также описаны вычислительные сети с заданной шириной полосы пропускания и гарантированным качеством обслуживания.

Такие документы требуют однозначного предстартового конфигурирования системы. Устанавливается неизменяемый список работающего прикладного ПО, дается описание всех ресурсов, перечисляются методы доступа к ним и т.д. Такой подход сильно ограничивает возможности по проектированию ИУС с возможностью реконфигурации. Тем не менее есть работы, которые позволяют разрабатывать ИУС такого рода [15].

Цель настоящей работы — изучение вопроса предоставления возможностей инфокоммуникации в реконфигурируемой ИУС. В связи с этим далее будут рассмотрены спецификация ARINC 664 Part 7 и ограничения, связанные с ее применением [16].

Указанный документ представляет собой спецификацию на вычислительную сеть для систем критического назначения. Ее материализацией стала коммутируемая авиационная полнодуплексная Ethernet-сеть AFDX (Avionics Full-Duplex Switched Ethernet), разработанная компанией Airbus и ставшая стандартом де-факто в авиастроении. В число базовых характеристик сети AFDX входят: улучшенные характеристики надежности за счет избыточности в виде физически дублированной среды передачи данных, полнодуплексный режим работы, коммутируемость соединений, а также детерминизм (предсказуемость).

В аспекте рассмотрения проектирования реконфигурируемых ИУС коммутируемость сетевых соединений и избыточность могли бы использоваться для повышения надежности, но при анализе ARINC 664 выявлен ряд проблем, связанных с разработкой таких систем.

Первая из них заключается в том, что коммутируемость соединений определяется жестко еще на стадии разработки ИУС, после начала работы системы перенастройка коммуникационного оборудования не предусмотрена. Вторая проблема — это невозможность использования избыточности работающими в системе прикладными ПО (работа с дублированными каналами реализуется на уровне аппаратного обеспечения).

Возникает необходимость в разработке подходов, позволяющих, максимально используя инфраструктуру уже существующих норм и стандартов, реализовать те преимущества, которые дает применение реконфигурации для обеспечения более высоких характеристик надежности ИУС критического назначения.

Анализ и оценка применимости существующих решений. Структура вычислительной AFDX-сети определяется заранее, поэтому необходимо обеспечить наличие сетевых соединений для всех возможных отказов, которые планируется парировать.

Очевидным вариантом является создание сети на основе полного графа. Основным плюсом такого решения является его абсолютная универсальность, так как изначальное наличие связей между любыми узлами системы полностью снимает проблему с перераспределением прикладного ПО при отказах. Решение простое для реализации, однако число ребер в графе растет стремительно с ростом числа узлов ИУС: в системе из N узлов потребуется создание не менее чем $(N - 1)N$ однонаправленных связей. Если учесть, что стандарт AFDX поддерживает только 64K связей на узел, связи по отдельности и в сумме имеют ограниченную пропускную способность и число необходимых для работы связей между узлами может быть больше одной, то получается, что такой вариант сети для реконфигурируемой ИУС возможен, но только для систем небольшого масштаба.

Еще одним решением проблемы обеспечения коммуникации в реконфигурируемой ИУС является создание сети не с полным, а с усеченным графом связей, в котором число ребер будет определяться исключительно фактической необходимостью в них.

Плюсом такого решения является уменьшение числа связей, что позволяет уложиться в ограничения ARINC 664 и улучшает характеристики надежности ИУС, упрощая ее структуру и уменьшая число элементов, являющихся потенциальными источниками отказов. К недостаткам можно отнести необходимость иметь предварительное представление о процессе реконфигурации для каждого аварийного исхода, что снижает универсальность системы и требует разработки методов создания и верификации конфигураций для каждого отказа. Недостатком также является невозможность создания усеченного графа в определенных случаях — он может вырождаться в полный граф, сводя на нет выгоды применения подхода.

Простой пример вариантов сети для реконфигурируемой ИУС, рассчитанной на один отказ, приведен на рис. 1. В нем задачи 1–4 ведут конвейерную обработку данных, последовательно передавая данные друг другу (штриховая кривая). На рис. 1, а показана сеть на основе полного графа: задачи могут перераспределяться произвольно, без ограничений, число отказов от 1 до 3 включительно. Сеть с усеченным графом приведена на рис. 1, б. Здесь перераспределение задач произвольным уже быть не может, а число отказов соответствует проектному (только один). В примерах связь задач обеспечена 12 однонаправленными связями (см. рис. 1, а, шесть двунаправленных связей) и только пятью однонаправленными (см. рис. 1, б). Сокращение числа связей в ИУС с более сложной структурой может быть более значимым.

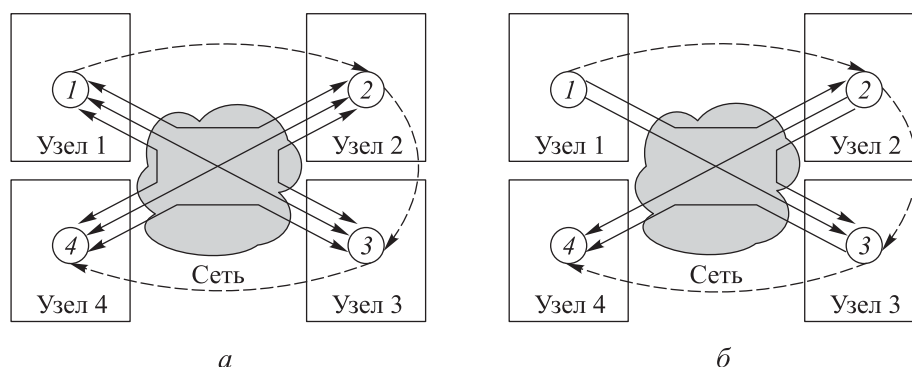


Рис. 1. Пример сети реконфигурируемой ИУС на основе полного (а) и усеченного (б) графов

При большом числе связей в сети, когда создание усеченного или полного графа становится затруднительным или невозможным, можно использовать другой подход к созданию реконфигурируемой коммуникационной среды — программно-реализуемый коммутатор. Он представляет собой ПО, агрегирующее данные от прикладного ПО и отправляющее их в сеть. Коммутатор также принимает данные и распределяет их по программам-абонентам.

Очевидное преимущество подхода — уменьшение числа связей (рис. 2), иногда радикальное. Такой подход не лишен недостатков, главным из которых является низкая производительность: программная реализация имеет малую скорость обработки данных в сравнении с аппаратными решениями, что сужает область применения. Подход допустим в мягких и твердых системах реального времени, где нет нужды в гарантировании минимального времени реакции [17]. Однако его использование именно в системах реального времени, характерного для ИУС критического назначения, вряд ли допустимо.

С учетом изложенного можно утверждать, что для полноценной работы реконфигурируемой системы требуется реконфигурируемая вычислительная сеть, обеспечивающая постоянную, не зависящую от отказов связь между узлами ИУС. Реализация такого подхода позволит справиться с ограничениями применяемых стандартов и получить мощный инструмент создания перспективных реконфигурируемых ИУС.

Предлагаемая реконфигурируемая сеть должна быть коммутируемой, что увеличит гибкость ее использования. Для обеспечения работы такой сети требуется создание соответствующего оборудования — реконфигурируемых коммутаторов, для которых нужна разработка алгоритмического обеспечения.

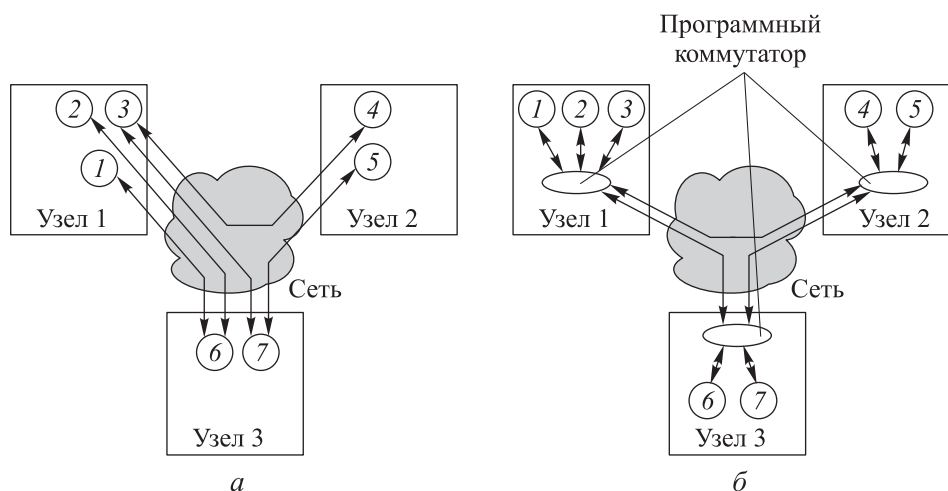


Рис. 2. Пример ИУС с обычной сетью (а) и с применением программного коммутатора (б)

Предлагаемое решение. Основным вопросом в создании предлагаемых коммутаторов является вопрос, каким образом управлять реконфигурируемыми коммутаторами в процессе реконфигурации всей системы. Существует необходимость в создании некоего подхода, который позволит определять необходимость реконфигурации коммутаторов и инициировать ее. Лучшим походом к реализации данного функционала, по мнению авторов, является применение принципов мультиагентного взаимодействия [18, 19].

При мультиагентном подходе в системе работает группа так называемых агентов (в виде специального ПО), задача которых — достижение желаемых целей, заданных дизайном системы [20]. В данном случае на всех узлах ИУС работают программы-агенты, ведущие совместный контроль состояния системы. При возникновении отказов агенты определяют вид отказа и вырабатывают совместное решение о необходимости реконфигурации, проводя перераспределение решаемых задач с отказавших узлов на работоспособные.

Предлагаемые к разработке сетевые коммутаторы с функцией поддержки реконфигурации фактически являются аналогами вычислительных узлов ИУС с единственным отличием — на них не размещены вычислительные задачи, решаемые ИУС, вместо них коммутатор оперирует набором маршрутных таблиц. Работа агента на борту коммутатора аналогична работе на вычислительном узле, при этом коммуникационное оборудование может стать полноправным участником при принятии решения о необходимости реконфигурации ИУС в случае отказа.

Алгоритм агента коммутатора должен позволять: вести контроль состояния ИУС, определять факты отказов, участвовать в выработке коллективного решения на начало реконфигурации, определять и реализовывать реакцию в случае необходимости реконфигурации, заключающуюся в смене маршрутных таблиц.

Приведем общий принцип функционирования агента. Агент, развернутый на коммутаторе, работает в режиме вечного цикла, в котором идет периодический обмен информацией между агентами: агенты с заданной частотой отправляют остальным агентам данные о себе и имеющиеся у них данные о других узлах системы (как агент представляет себе состояние ИУС). При отказе узлов в некий момент времени агенты перестают получать информацию от агентов, которые там находились. Это позволяет определить факт отказа и локализовать его. В этот момент агенты на работоспособных узлах должны принять коллективное решение:

- действительно ли произошел отказ;
- необходима ли реконфигурация;
- какая реакция необходима.

Решение строится на коллективном консенсусе, который должен гарантировать то, что агенты одинаково понимают проблему и что их реакция будет согласованной и адекватной ситуации. Достижение консенсуса является отдельным вопросом [21] с различными вариантами решения. В настоящей работе отдельно не рассматривается алгоритм его достижения. Предполагается, что разработчики ИУС реализуют алгоритм, который позволит агентам достигать состояния консенсуса, исходя из своих потребностей и области применения разрабатываемой системы управления. Алгоритм работы агента можно представить в виде приведенного следующего описания.

После инициализации копия агента (на каждом из узлов ИУС, включая коммутаторы) устанавливает сетевые соединения с другими агентами. На это отводится ограниченное время (тайм-аут). Далее формируется список рабочих (видимых агенту) узлов системы.

Агент циклически рассылает свой список работоспособных узлов другим агентам, параллельно принимая аналогичные данные с других узлов ИУС. Данные запоминаются и маркируются в соответствии с тем, от какого агента (узла) они были получены. Если тайм-аут для ответов других агентов истек, то узлы, агенты которых не прислали данные, маркируются как отказавшие.

Проводится попытка достижения консенсуса и, если его достичь не удалось, узлы, данные о которых разнятся по результатам сравнения

данных от всех агентов, маркируются как аварийные, а агент возвращается на этап рассылки своего списка узлов.

После достижения консенсуса агент ищет в базе данных конфигурацию, соответствующую обнаруженному отказу (определенной комбинации отказавших и рабочих узлов ИУС). Если такой конфигурации нет, агент сообщает об ошибке и завершает работу. Иначе агент проводит реконфигурирование своего узла согласно найденной конфигурации, что соответствует замене текущей маршрутной таблицы на новую.

Описанные действия повторяются циклически, вплоть до команды «Остановить работу».

Обсуждение полученных результатов. Предложенный подход реализован в виде программного имитатора сетевого коммутатора. Данная реализация показала работоспособность подхода и возможность создания на его базе ИУС, реконфигурируемых как на уровне вычислительных узлов, так и на уровне сети. Его применение позволяет получить ряд значимых преимуществ: существенно повысить показатели надежности системы (за счет возможности реконфигурирования большего числа ее элементов), улучшить и другие характеристики (массогабаритные параметры, стоимость обслуживания, уровень энергопотребления и пр.).

Отметим, что рассматриваемый способ обеспечения коммуникации в реконфигурируемых ИУС имеет определенные недостатки и особенности применения.

К недостаткам, безусловно, следует отнести увеличение затрат на разработку и производство таких систем. Однако необходимо учитывать, что при проектировании систем критического назначения основным приоритетом является обеспечение сохранности человеческой жизни и предотвращение материальных потерь. Затраты на создание таких систем существенно ниже, чем потенциальные потери от применения менее надежных ИУС, поэтому увеличение затрат на их разработку и внедрение более чем оправданно.

К особенностям применения необходимо отнести возможность появления так называемых «инцидентов ложной реконфигурации». Поскольку объекты физического мира существуют в континуальном времени, а вычислительная техника работает в дискретном режиме, может случиться так, что агенты достигают консенсуса и начинают реконфигурацию, но в этот момент происходит еще один отказ. Возникает ситуация, когда некоторое время ИУС будет иметь конфигурацию, не соответствующую ее (системы) фактическому состоянию. Это состояние мало чем отличается от предше-

ствовавшего ему аварийного состояния — система также может быть полностью или частично неработоспособной. Де-факто это лишь увеличивает время перехода системы в работоспособное состояние, так как на ближайшей итерации опроса статуса ИУС агенты обнаружат новый отказ и проведут повторную реконфигурацию. Однако разработчикам ПО в составе ИУС надо вести контроль за статусом системы и надлежаще обрабатывать такие ситуации.

Ввиду того что возникновение отказов недискретно (в отличие от процесса их локализации и парирования), отказы могут происходить в произвольное время. Поскольку повлиять на это возможности нет, остается лишь принимать меры по реализации адекватного поведения ИУС (т. е. активно- или пассивно-безопасного) в период «ложной реконфигурации» описанными ранее мерами со стороны разработчиков ПО.

Заключение. Отметим, что в настоящее время уже имеются разработки в области проектирования, и применения реконфигурируемых систем, основанных на мультиагентном подходе. Однако имеющиеся подходы пока предполагают реконфигурацию только на уровне вычислительных узлов. Методы коммуникации в рамках таких систем находятся на ранних стадиях разработки. Учитывая это, проведение работ в указанном направлении является перспективными.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abbaspour A., Mokhtari S., Sargolzaei A., et al. A survey on active fault-tolerant control systems. *Electronics*, 2020, vol. 9, no. 9, art. 1513.
DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics9091513>
- [2] Koren I., Krishna C.M. Fault-tolerant systems. San Francisco, Morgan Kaufmann, 2020.
- [3] Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Проектирование информационно-управляющих систем. М., Радио и связь, 1987.
- [4] Медведев А.Ю., Цебренок К.Н. Исследование методов и средств проектирования реконфигурируемых систем ввода–вывода. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 2022, № 10-2, с. 100–103.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-10-2-100-103>
- [5] Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов н/Д., ЮНЦ РАН, 2011.
- [6] Мельник Э.В., Таранов А.Ю., Сельвесюк Н.И. и др. Обзор существующих и перспективных методов обеспечения коммуникации в рамках реконфигурируемых информационно-управляющих систем. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2023, № 2, с. 91–97. EDN: ZAVWRW

- [7] Мельник Э.В., Таранов А.Ю., Сельвесюк Н.И. и др. Существующие и перспективные методы обеспечения коммуникации в РИУС критического назначения. *МКПУ-2023. Т. 2*. Волгоград, Изд-во ВГТУ, 2023, с. 153–156. EDN: HZLFIU
- [8] Мельник Э.В., Таранов А.Ю. Улучшение надежности характеристик бортовых вычислительных систем за счет применения реконфигурации. *МВУС-2022*. Ростов н/Д., Изд-во ЮФУ, 2022, с. 149–151. EDN: KGVTKU
- [9] Мельник Э.В., Клименко А.Б. Комплексный метод организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе много-агентного взаимодействия. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2017, № 9-1, с. 136–149. EDN: ZXOOC
- [10] Мельник Э.В., Горелова Г.В. Имитационное моделирование вариантов резервирования в распределенных информационно-управляющих системах с децентрализованной организацией. *Известия ЮФУ. Сер. Технические науки*, 2013, № 3, с. 184–193. EDN: PYMNB
- [11] Строгонов А.В. Долговечность интегральных схем и производственные методы ее прогнозирования. *Chip News: Инженерная микроэлектроника*, 2002, № 6, с. 44–49. EDN: TJAYMH
- [12] Мелентьев В.А. Моделирование систем, устойчивых к отказам заданной кратности. *Идентификация систем и задачи управления SICPRO'2008. Матер. VII Междунар. конф.* М., ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2008, с. 1210–1223. EDN: NKIBMB
- [13] Желтов С.Ю., Каляев И.А., Косьянчук В.В. и др. Реконфигурация систем управления воздушных судов. М., РАН, 2021.
- [14] Соловьев А.М., Семёнов М.Е., Сельвесюк Н.И. и др. Динамическая реконфигурация бортовой распределенной информационно-вычислительной среды на базе ОСРВ JetOS. *Информатика: проблемы, методы, технологии. Матер. XXII Междунар. науч.-практ. конф. им. Э.К. Алгазина*. Воронеж, Вэлборн, 2022, с. 494–502. EDN: LEYOKE
- [15] Сельвесюк Н.И., Мельник Э.В., Платошин Г.А. и др. Повышение надежности авиационных БИУС за счет реконфигурации. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2021, № 2, с. 204–212. EDN: DONSTK
- [16] Schaadt D. AFDX/ARINC 664. Concept, design, implementation and beyond. Mainz, SYSGO AG, 2007.
- [17] Erciyes K. Distributed real-time systems. Cham, Springer Nature, 2019.
- [18] Ковернинский И.В., Мельник Э.В., Погорелов К.В. и др. О проблемах организации вычислительного процесса в реконфигурируемой мультиагентной БИУС жесткого реального времени. *СКТ-2012*. Таганрог, Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012, с. 308–311.
- [19] Мельник Э.В., Погорелов К.В., Таранов А.Ю. и др. Организация вычислительного процесса в реконфигурируемой мультиагентной бортовой информационно-управляющей системе жесткого реального времени. *МКПУ-2023. Т. 4*. Ростов н/Д., Изд-во ЮФУ, 2013, с. 62–65.

[20] Arfat Ya., Eassa F.E. A survey on fault tolerant multi agent system. *IJITCS*, 2016, vol. 8, no. 9, pp. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.09.06>

[21] Амелина Н.О. Исследование консенсуса в мультиагентных системах в условиях стохастических неопределенностей. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*, 2013, № 1-3, с. 173–179. EDN: RGTACZ

Таранов Антон Юрьевич — младший научный сотрудник лаборатории 223 программного обеспечения МИУС НИИ МВС ЮФУ (Российская Федерация, 347922, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова, д. 2).

Мельник Эдуард Всеволодович — д-р техн. наук, заведующий лабораторией 223 программного обеспечения МИУС НИИ МВС ЮФУ (Российская Федерация, 347922, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. Чехова, д. 2).

Косьянчук Владислав Викторович — д-р техн. наук, профессор РАН, заместитель генерального директора ГосНИИАС (Российская Федерация, 125319, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

Платошин Георгий Александрович — начальник лаборатории, подразделение 2300 ГосНИИАС (Российская Федерация, 125319, Москва, ул. Викторенко, д. 7).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Таранов А.Ю., Мельник Э.В., Косьянчук В.В. и др. Коммуникация в реконфигурируемых информационно-управляющих системах критического назначения и перспективный способ ее обеспечения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2024, № 4 (149), с. 140–154. EDN: ZBMQRE

COMMUNICATION IN THE RECONFIGURABLE INFORMATION CONTROL SYSTEMS OF CRITICAL IMPORTANCE AND A PROMISING TECHNIQUE ENSURING ITS OPERATION

A.Yu. Taranov¹

mailfortexas@mail.ru

E.V. Melnik¹

evm17@mail.ru

V.V. Kosyanchuk²

vvk@gosniias.ru

G.A. Platoshin²

pga@gosniias.ru

¹ SRI MCS, SFEDU, Taganrog, Rostov Region, Russian Federation

² GosNIIAS, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper considers reconfigurable information and control systems of critical importance. It lists current problems in ensuring communication processes within the information and control systems of this kind, for example, those due to strict standards in the critical

Keywords

Information management systems, multi-agent systems, re-configuration, communication equipment, computer networks, ARINC, AFDX

system application (using aviation industry as the example). The paper describes in detail the existing and applied options in ensuring communication processes during failures and malfunctions in the reconfigurable information and control systems operation. It shows that the currently existing approaches in this area have a number of certain shortcomings, and introduction of the new approaches could significantly improve reliability characteristics of the systems under consideration. The paper proposes and describes a general algorithm for operation of a reconfigurable network switch based on the multi-agent interaction principle. Features of this algorithm are considered. Advantages, disadvantages and specifics of the proposed approach introduction are described. The paper shows prospects in design, development and application of the reconfigurable computer networks based on the reconfigurable network switches for introduction in the critical information management systems

Received 26.12.2023

Accepted 09.07.2024

© Author(s), 2024

REFERENCES

- [1] Abbaspour A., Mokhtari S., Sargolzaei A., et al. A survey on active fault-tolerant control systems. *Electronics*, 2020, vol. 9, no. 9, art. 1513. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics9091513>
- [2] Koren I., Krishna C.M. Fault-tolerant systems. San Francisco, Morgan Kaufmann, 2020.
- [3] Balashov E.P., Puzankov D.V. Proektirovanie informatsionno-upravlyayushchikh system [Design of information and control systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1987.
- [4] Medvedev A.Yu., Tsebrenko K.N. Study of design methods and tools for reconfigurable I/O systems. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2022, no. 10-2, pp. 100–103 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2022-10-2-100-103>
- [5] Kalyaev I.A., Melnik E.V. Detsentralizovannyye sistemy kompyuternogo upravleniya [Decentralized computer control systems]. Rostov-na-Donu, Yuzhnyy nauchnyy tsentr RAS Publ., 2011.
- [6] Melnik E.V., Taranov A.Yu., Selvesyuk N.I., et al. A review of existing and promising methods for ensuring communication in the context of reconfigurable information and control systems. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2023, no. 2, pp. 91–97 (in Russ.). EDN: ZAVWRW
- [7] Melnik E.V., Taranov A.Yu., Selvesyuk N.I., et al. [Existing and promising methods of ensuring communication in DICS for critical purposes]. *MKPU-2023. Vol. 2*. Volgograd, VSTU Publ., 2023, pp. 153–156 (in Russ.). EDN: HZLFIU

- [8] Melnik E.V., Taranov A.Yu. Improving the reliability characteristics of on-board computer systems through the use of reconfiguration. *MVUS-2022*. Rostov-na-Donu, SFEDU Publ., 2022, pp. 149–151 (in Russ.). EDN: KGVTKU
- [9] Melnik E.V., Klimenko A.B. Fault-tolerant information and control system multi-agent management technique. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2017, no. 9-1, pp. 136–149 (in Russ.). EDN: ZXOOCL
- [10] Melnik E.V., Gorelova G.V. Simulation modelind back-up options in distributed information-control system with a decentralized organization. *Izvestiya SFEDU. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences], 2013, no. 3, pp. 184–193 (in Russ.). EDN: PYMNB
- [11] Strogonov A.V. Durability of integrated circuits and manufacturing methods for its prediction. *Chip News: Inzhenernaya mikroelektronika*, 2002, no. 6, pp. 44–49 (in Russ.). EDN: TJAYMH
- [12] Melentyev V.A. [Modeling of systems resistant to failures of a given multiplicity]. *Identifikatsiya sistem i zadachi upravleniya SICPRO'2008. Mater. VII Mezhdunar. konf.* [Identification of Systems and Management Problems. SISC PRO'2008. Proc. VII Int. Conf.]. Moscow, IPU im. V.A. Trapeznikova RAS Publ., 2008, pp. 1210–1223 (in Russ.). EDN: NKIBMB
- [13] Zheltov S.Yu., Kalyaev I.A., Kosyanchuk V.V., et al. *Rekonfiguratsiya sistem upravleniya vozdushnykh sudov* [Reconfiguration of aircraft control systems]. Moscow, RAN Publ., 2021.
- [14] Solovyev A.M., Semenov M.E., Selvesyuk N.I., et al. [Dynamic reconfiguration of an on-board distributed information and computing environment based on the JetOS RTOS]. *Informatika: problemy, metody, tekhnologii. Mater. XXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. im. E.K. Algazinova* [Informatics: Problems, Methods, Technologies. Proc. XXII Int. Sc.-Pract. Conf. n. a. E.K. Algazinov]. Voronezh, Velborn Publ., 2022, pp. 494–502 (in Russ.). EDN: LEYOKE
- [15] Selvesyuk N.I., Melnik E.V., Platoshin G.A., et al. Increasing the reliability of aircraft onboard information and control systems through the reconfiguration. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2021, no. 2, pp. 204–212 (in Russ.). EDN: DONSTK
- [16] Schaadt D. AFDX/ARINC 664. Concept, design, implementation and beyond. Mainz, SYSGO AG, 2007.
- [17] Erciyes K. Distributed real-time systems. Cham, Springer Nature, 2019.
- [18] Koverninskiy I.V., Melnik E.V., Pogorelov K.V., et al. [On the problems of organization of computational process in reconfigurable multi-agent hard real-time BIUS]. *SKT-2012*. Taganrog, TTI SFEDU Publ., 2012, pp. 308–311 (in Russ.).
- [19] Melnik E.V., Pogorelov K.V., Taranov A.Yu., et al. [Organization of the computational process in a reconfigurable multi-agent on-board hard real time information and control system]. *MKPU-2023. Vol. 4*. Rostov-na-Donu, YuSU Publ., 2013, pp. 62–65 (in Russ.).

[20] Arfat Ya., Eassa F.E. A survey on fault tolerant multi agent system. *IJITCS*, 2016, vol. 8, no. 9, pp. 39–48. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2016.09.06>

[21] Amelina N.O. Consensus problem in multi-agent systems with stochastic uncertainties. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod], 2013, no. 1-3, pp. 173–179 (in Russ.).

EDN: RGTACZ

Taranov A.Yu. — Junior Research Assistant, Laboratory of MICS software, SRI MCS SFEDU (Chekhova ul. 2, Taganrog, Rostov Region, 347922 Russian Federation).

Melnik E.V. — Dr. Sc. (Eng.), Head of the Laboratory of MICS software, SRI MCS SFEDU (Chekhova ul. 2, Taganrog, Rostov Region, 347922 Russian Federation).

Kosyanchuk V.V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the RAS, Deputy General Director, GosNIIAS (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125319 Russian Federation).

Platoshin G.A. — Head of the Laboratory, Department 2300, GosNIIAS (Viktorenko ul. 7, Moscow, 125319 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Taranov A.Yu., Melnik E.V., Kosyanchuk V.V., et al. Communication in the reconfigurable information control systems of critical importance and a promising technique ensuring its operation. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2024, no. 4 (149), pp. 140–154 (in Russ.).

EDN: ZBMQRE