

А.Н. Соколовский, И.Н. Кошель, А.В. Калюжный

ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЖИВУЧЕСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОНФИГУРИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Раскрыто понятие живучих специализированных вычислительных систем, сформулированы принципы их построения. Рассмотрен подход к обеспечению предельно возможной результативности функционирования живучей специализированной вычислительной системы на основе ее превентивного конфигурирования.

Ключевые слова: вычислительная система, живучесть, предельно возможная результативность, превентивное конфигурирование.

A.N. Sokolovskij, I.N. Kosheľ, A.V. Kalyuzhnyj

APPROACH TO MAINTENANCE OF VIABILITY OF SPECIALIZED
COMPUTER SYSTEMS BASED ON CONFIGURING COMPUTING
PROCESSES

The concept of tenacious specialized computing systems is disclosed, the principles of their construction are formulated. An approach to ensuring the maximum possible performance of a tenacious specialized computing system based on its preventive configuration is considered.

Keywords: computing system, survivability, maximum possible effectiveness, preventive configuration.

Введение

В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы, связанные с обеспечением устойчивости функционирования специализированных вычислительных систем (СВС) при повышении сложности решаемых ими задач, что вызвано следующими причинами:

- надежность электронной компонентной базы не может являться абсолютной, и нельзя ожидать ее кардинального улучшения в обозримом будущем;
- усложняются информационные потоки в автоматизированных системах и растет вычислительная нагрузка на вычислительные средства;
- имеет место неопределенность условий функционирования аппаратуры при наличии дестабилизирующих факторов естественного и искусственного происхождения;
- большинство структур современных СВС предполагает наличие компонентов, отказ которых критичен для всей системы, т.е. являющихся «узким местом» в смысле надежности и живучести;
- требуется увеличить сроки службы СВС при стремлении снизить их стоимость;
- существуют объективные ограничения точности оценок показателей надежности сложных систем.

Соколовский А.Н., Кошель И.Н., Калюжный А.В. Подход к обеспечению...

Современные технологии, связанные с развитием элементной базы и коммуникационных стандартов, создают предпосылки к совершенствованию архитектуры СВС. Однако традиционные методы анализа и синтеза СВС не позволяют в полной мере реализовывать указанные преимущества. В условиях деструктивных внешних воздействий часто возникает ситуация, когда период функционирования СВС становится ограниченным в силу невозможности выполнять возложенные на СВС задачи. Этот «остаточный период жизни» СВС требует перестройки режимов ее функционирования и изменения состава решаемых задач. В ситуации неизбежной деградации СВС речь идет о необходимости обеспечить «остаточную результативность» ее функционирования [5].

Понятие живучести специализированной вычислительной системы

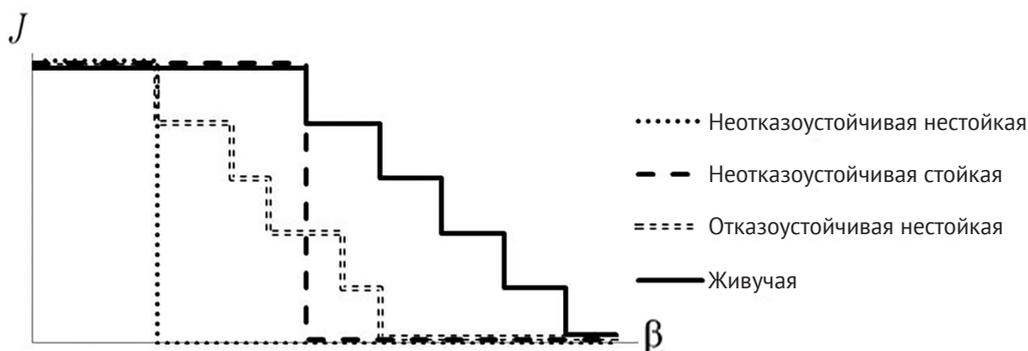
Перспективным направлением решения указанной проблемы представляется построение СВС, обладающих свойством живучести. Живучесть как внутреннее свойство системы, которым она обладает независимо от возникающих в данный момент времени условий функционирования, следует рассматривать в двух основных аспектах. Во-первых, она проявляется не только при штатных условиях функционирования, когда возникают отказы элементов из-за их ненадежности, но и при неблагоприятных воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации и трудно прогнозируемых как по периодичности, так и по последствиям.

Во-вторых, живучесть проявляется в том, что система в работоспособном состоянии сохраняет не все функции, которые она должна выполнять в исправном состоянии, а наиболее критичные, причем с возможным понижением качества их выполнения. Иначе говоря, живучая система обладает свойством постепенной деградации по мере увеличения тяжести последствий отказов с учетом возникающих ограничений [4].

Соответственно, основные функции системы и характеристики свойства живучести определяются применительно к любым последствиям неблагоприятных воздействий, влияющих на выполнение задачи: потери работоспособности элементов и связей между ними, ухудшения целевых характеристик элементов (например, производительности, точности, пропускной способности), перераспределения нагрузок, искажения алгоритмов функционирования, уменьшения структурной избыточности, ухудшения безотказности элементов и т.д.

Смысл, вкладываемый в термин «живучесть», и, соответственно, смысл показателей живучести можно проиллюстрировать следующим образом. Живучесть как комплексное свойство включает прежде всего надежность, стойкость и отказоустойчивость, понимаемую в данном контексте как способность к постепенной, а не катастрофической деградации при отказах. Отсюда вырожденными случаями живучести выступают стойкость при идеальной надежности и отсутствии отказоустойчивости, надежность при бинарной функции работоспособности и отсутствии неблагоприятных воздействий и устойчивость к отказам безотносительно к их природе. Также иллюстрацией могут послужить качественные графики (рис.), где ось абсцисс соответствует времени и (или) уровню воздействия β , ось ординат – целевому показателю качества функционирования системы J .

Для исследования живучести вычислительных систем могут использоваться различные логико-вероятностные, графовые, теоретико-игровые, матричные модели, а также количественные показатели живучести в зависимости от содержания и цели функционирования системы: оценки функциональной и структурной живучести, минимаксные и аддитивные показатели, показатели на основе энтропии состояний и т.д. [3].



Качественная иллюстрация свойства живучести системы

Принципы построения живучих специализированных вычислительных систем

Одним из наиболее перспективных путей выступает построение «живучих» СВС, характеризующихся отсутствием «слабых мест», вывод которых из строя препятствует решению целевой задачи метасистемы, а также отсутствием типовых физических или информационно-технических воздействий, наносящих неприемлемый ущерб системе [1; 7]. В основе таких систем лежит принцип функциональной взаимозаменяемости компонентов, который находит наиболее полное воплощение в реализации распределенных информационно-вычислительных систем, модули которых осуществляют адаптивное управление обработкой информации на всех этапах ее жизненного цикла, обладая для этого необходимой информационной, алгоритмической и аппаратной совместимостью [8; 12]. Данный подход предполагает широкое внедрение методов обеспечения живучести за счет адаптации СВС к отказам компонентов, а также к алгоритмам решаемых задач на основе интеллектуального управления ресурсами системы. Наряду с этим необходимо предоставить рациональный выбор способов обеспечения живучести отдельных модулей, поскольку живучесть системы в целом зависит как от ее построения, так и от живучести компонентов [1].

Решение задачи построения живучих СВС базируется на следующих основных принципах:

- распределенное автоматическое управление средствами системы;
- распределенные процессы обработки, хранения и передачи информации;
- обеспечение живучести информации;
- интеллектуальное управление обработкой информации на всех этапах ее добытия, обработки и использования;
- модульность структуры с обеспечением информационной, алгоритмической и аппаратной совместимости ее компонентов [11];
- адаптивное управление обработкой информации на основе учета состояния системы, параметров и ценности решаемых задач, характеристик внешних воздействий [2];
- рациональное управление ресурсами с учетом пропускной способности каналов, защищенности, затрат на резервирование информации и восстановление вычислительного процесса и т.д. [10];
- рационализация различных форм избыточности и защиты аппаратуры на всех уровнях архитектуры системы;

Соколовский А.Н., Кошель И.Н., Калюжный А.В. Подход к обеспечению...

- постепенная деградация характеристик системы при выходе компонентов из строя с полным или частичным сохранением функций за счет их перераспределения.

Обеспечение предельно возможной результативности функционирования живучей специализированной вычислительной системы

Деструктивные воздействия на СВС ограничивают период ее функционирования, а также сокращают объем и снижают качество решения целевых задач. С учетом данного факта актуальной становится проблема управления ресурсами СВС на остаточном интервале ее функционирования в интересах достижения ею предельно возможной результативности функционирования.

Результативность функционирования СВС – операционное свойство, характеризующее степень достижения СВС требуемых показателей качества решения целевых задач. *Показатель результативности функционирования СВС* – величина, соотносящая выполнение СВС на некотором интервале времени вычислительных задач с целевым эффектом применения СВС, определяемая степенью выполнения заданного комплекса вычислительных задач функционального режима и его параметрами. *Предельно возможная результативность функционирования СВС* – степень достижения СВС лучшего качества выполнения целевых задач при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, в том числе деструктивных внешних воздействиях, а также повреждениях и отказах компонентов.

Достижение предельно возможной результативности функционирования СВС обеспечивается ее функциональной реконфигурацией. Реконфигурация СВС – изменение состава решаемых вычислительных задач с полным или частичным сохранением функций СВС с учетом алгоритмической и информационной избыточности для компенсации ее отказов.

Реконфигурация может проводиться после обнаружения факта деструктивных воздействий и вызванной ими деградации элементов СВС. Но наиболее интересным представляется превентивное конфигурирование СВС – способ конфигурирования СВС, заключающийся в прогнозировании результативности функционирования СВС для множества сценариев воздействия и оперативном автономном выборе ее конфигурации на основе анализа условий функционирования с целью обеспечения качества выполнения целевых задач [6; 9]. Цель превентивного конфигурирования – создание отказоустойчивой конфигурации СВС, обеспечивающей при данном сценарии воздействия внешних факторов наибольшую результативность ее функционирования на заданном интервале времени.

Выводы

Исходя из изложенного, в целях повышения живучести СВС представляется целесообразным решение следующих основных задач:

- развитие теоретических основ оценивания живучести многоуровневых распределенных СВС;
- развитие теоретических основ и разработка инженерных методов синтеза архитектур, используемых для построения СВС, с обеспечением живучести за счет интеллектуального управления ресурсами на всех уровнях иерархии системы;
- разработка новых моделей, методов и алгоритмов адаптивного управления информационно-вычислительными ресурсами;

- проработка вариантов структур СВС для автоматизированных систем различного целевого назначения и разработка рекомендаций по их применению.

Применение полученных научно-практических результатов позволит синтезировать структуры СВС и их элементы, а также эффективно управлять информационно-вычислительными ресурсами сложных автоматизированных систем.

Литература

1. Басыров А.Г., Захаров И.В. Оценивание живучести бортовых вычислительных систем космических аппаратов // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. 2016. № 651. С. 136–145.
2. Борисов А.А., Краснов С.А., Нечай А.А. Технология блокчейн и проблемы ее применения в различных информационных системах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2. С. 63–67.
3. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. Киев: Наукова думка, 2011. 256 с.
4. Захаров И.В., Забузов В.С., Соколовский А.Н., Эсаулов К.А. Моделирование функционирования живучих бортовых вычислительных систем с учетом их структурно-параметрической деградации // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. № S1. С. 60–66.
5. Захаров И.В., Терехов В.Г., Соколовский А.Н. Превентивное конфигурирование бортовых вычислительных систем на основе прогнозирования их деградации // Естественные и технические науки. 2018. № 9 (123). С. 137–139.
6. Нечай А.А. Моделирование системы управления робототехническим комплексом ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе многомерных копула-функций // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 14–15 декабря 2016 г.). СПб., 2016. С. 287–292.
7. Нечай А.А., Борисов А.А., Борисова Ю.И. Точечный анализ данных дистанционного зондирования земли средствами языка программирования Python // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. № 1. С. 49–55.
8. Нечай А.А., Копьев А.И. Метод управляемого распределения ресурсов между ядрами процессора // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2. С. 101–107.
9. Нечай А.А., Котиков П.Е. Актуальные проблемы защиты информации в современных автоматических телефонных станциях // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2015. № 2. С. 65–69.
10. Свиначук А.А., Калиниченко С.В., Нечай А.А. Использование графического процессора для ускорения распределенных вычислений при прогнозе экстремальных значений температуры воздуха // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. № 4. С. 33–38.
11. Свиначук А.А., Нечай А.А. Использование квантовых вычислений при выборе управленческого решения // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2. С. 31–36.

12. Шаймарданов А.М., Нечай А.А., Лепехин С.В. Математические модели систем автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2019. № 2. С. 27–39.

Literatura

1. Basyrov A.G., Zakharov I.V. Otsenivanie zhivuchesti bortovykh vychislitel'nykh sistem kosmicheskikh apparatov // Trudy VKA im. A.F. Mozhajskogo. 2016. № 651. S. 136–145.
2. Borisov A.A., Krasnov S.A., Nechaj A.A. Tekhnologiya blokchejn i problemy ee primeneniya v razlichnykh informatsionnykh sistemakh // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 63–67.
3. Dodonov A.G., Lande D.V. Zhivuchest' informatsionnykh sistem. Kiev: Naukova dumka, 2011. 256 s.
4. Zakharov I.V., Zabuzov V.S., Sokolovskij A.N., Esaulov K.A. Modelirovanie funktsionirovaniya zhivuchikh bortovykh vychislitel'nykh sistem s uchetom ikh strukturno-parametricheskoy degradatsii // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2016. № S1. S. 60–66.
5. Zakharov I.V., Terekhov V.G., Sokolovskij A.N. Preventivnoe konfigurirovanie bortovykh vychislitel'nykh sistem na osnove prognozirovaniya ikh degradatsii // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2018. № 9 (123). S. 137–139.
6. Nechaj A.A. Modelirovanie sistemy upravleniya robototekhnicheskim kompleksom likvidatsii chrezvychajnykh situatsij na osnove mnogomernykh kopula-funksij // Sovremennye problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzheniya, voennoj i spetsial'noj tekhniki: sbornik statej III Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Sankt-Peterburg, 14–15 dekabrya 2016 g.). SPb., 2016. S. 287–292.
7. Nechaj A.A., Borisov A.A., Borisova Yu.I. Tochechnyj analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli sredstvami yazyka programmirovaniya Python // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. № 1. S. 49–55.
8. Nechaj A.A., Kop'ev A.I. Metod upravlyаемого raspredeleniya resursov mezhdru yadrami protsessora // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 101–107.
9. Nechaj A.A., Kotikov P.E. Aktual'nye problemy zashchity informatsii v sovremennykh avtomaticheskikh telefonnykh stantsiyakh // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2015. № 2. S. 65–69.
10. Svinarchuk A.A., Kalinichenko S.V., Nechaj A.A. Ispol'zovanie graficheskogo protsessora dlya uskoreniya raspredelennykh vychislenij pri prognoze ekstremal'nykh znachenij temperatury vozdukhа // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. № 4. S. 33–38.
11. Svinarchuk A.A., Nechaj A.A. Ispol'zovanie kvantovykh vychislenij pri vybore upravlencheskogo resheniya // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 31–36.
12. Shajmardanov A.M., Nechaj A.A., Lepexin S.V. Matematicheskie modeli sistem avtomaticheskogo upravleniya s shirotno-impul'snoj modulyatsiej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2019. № 2. S. 27–39.