

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ НЕРЕЗЕРВИРОВАННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

¹ Сарапулов А.В., ¹ Уманский А.Б., ¹ Зелизко Д.И.

¹ АО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ АВТОМАТИКИ им. Академика Н.А. Семихатова», г. Екатеринбург, Россия (620075, Екатеринбург, Мамина-Сибиряка, 145), aesee@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются особенности реализации системы контроля и функциональной защиты малогабаритной ЦВС беспилотного летательного аппарата. Ставится задача обеспечения функционирования в условиях возникновения сбоев и отказов малогабаритного летательного аппарата, неспособного нести на борту резервированную вычислительную систему. Описываются особенности структуры предлагаемой ЦВС. Предлагается система контроля, основанная на процедурах проверки достоверности передаваемой и обрабатываемой информации, исправности вычислительных элементов и активации системы спасения или резервной программы в случае сбоев и отказов. При этом за отказ принимается трехкратное непарируемый сбой.

Ключевые слова: система управления, беспилотный летательный аппарат, система контроля и функциональной защиты, бортовая цифровая вычислительная система, система спасения, алгоритмический контроль.

HARDWARE AND SOFTWARE FOR ENHANCED SURVIVABILITY NON- REDUNDANT CONTROL COMPUTER SYSTEM

¹ Sarapulov A.V., ¹ Umansky A.B., ¹ Zelizko D.I.

¹ SPA of Automatics named after Academician N.A. Semikhatov", Yekaterinburg, Russia (620075, Yekaterinburg, Mamina-Sibiryaka, 145), aesee@mail.ru

Abstract: The article considers the peculiarities of the implementation of control systems and functional protection of compact onboard computer system of UAV. The objective is to ensure the operation of the apparatus, which is not able to carry on board a redundant computer system. It describes the available onboard computer system. The control system is based on the procedures for validation of transmitted and processed information, regularly processing elements and activation of rescue or backup program in the case of faults and failures. Failure is considered to be a refusal, repeated three times.

Key words: friction control system, unmanned aerial vehicle, system of control and functional protection, on-board digital computer system, rescue system, algorithmic control.

1. Введение

В настоящее время становится актуальным использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных сферах жизнедеятельности человека, которые выполняют различные функции, такие как доставка посылок, организация телекоммуникационных сетей, мониторинг и фотографирование местности и т.д.

Современная тенденция к миниатюризации не снимает задачи обеспечения требований по надежности и зачастую требований по функционированию в условиях возникновения сбоев и отказов в системе управления. Однако небольшие по размерам летательные аппараты не имеют способности нести на борту полноценную резервированную систему управления, ввиду ограничений по габаритно-массовым характеристикам и энергопотреблению. Вследствие этого возникает необходимость искать иные подходы для выполнения предъявляемых требований.

2. Структура нерезервированной управляющей ЦВС

В данной работе предлагается применять нерезервированную управляющую цифровую вычислительную систему (ЦВС) с распределенными вычислительными мощностями (рис. 1). При этом надежность и работоспособность системы управления обеспечивается программно-алгоритмическими средствами самоконтроля с минимальной аппаратной поддержкой. Данная вычислительная система строится по магистрально-модульному принципу. Весь обмен осуществляется по резервированной системной магистрали, к которой, помимо системного модуля (СМ), подключены нерезервированные вычислительные модули (ВМ), каждый из которых решает собственную последовательность задач по отработке логической части алгоритмов функционирования системы управления (СУ), и интерфейсные модули связи (МС), обеспечивающие связь ЦВС с внешними абонентами.

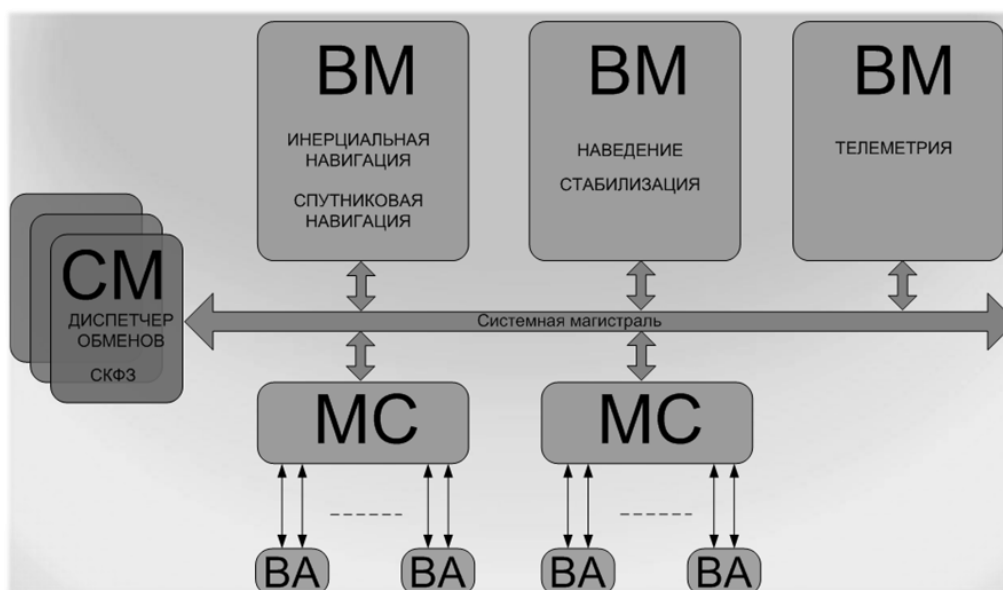


Рисунок 1. Структурная схема магистрально-модульной системы

В основе вычислительной системы лежит высоконадёжный трехканальный системный модуль, в котором содержится ПО для работы с аппаратурой и решения задач контроля и функциональной защиты. Высокая надежность этого модуля достигается снижением требований к быстродействию и разрядности, что обеспечивает малые аппаратурные затраты на его реализацию и позволяет обеспечить мажоритарацию (выборку «два из трех») всей перерабатываемой информации.

3. Особенности реализации системы контроля

Функционирование каждого вычислительного модуля контролируется системным модулем. СМ синхронизирует работу вычислительных модулей раз в цикл, с помощью одновременной записи в их триггеры прерываний. Вычислительные модули самостоятельно ведут счет выполненных циклов, который периодически списывается системным модулем для сравнения со своим счетчиком (рис.2).

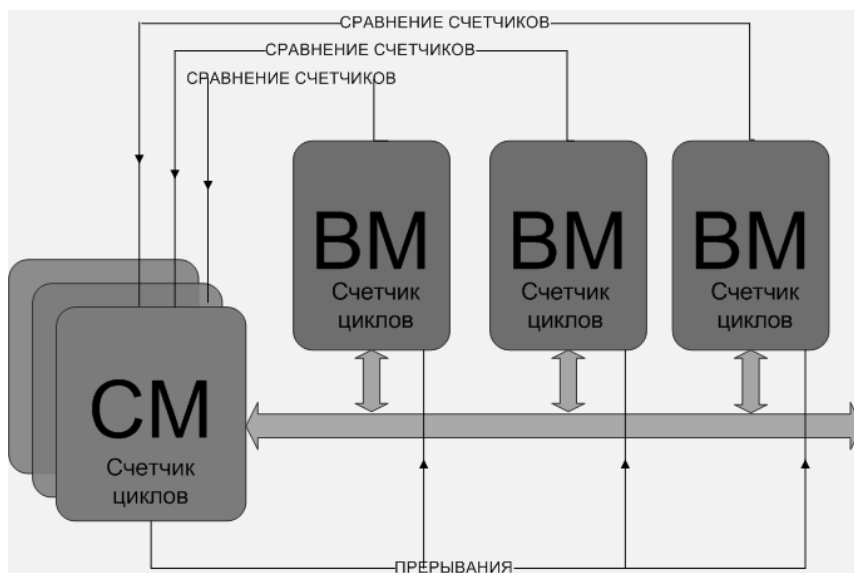


Рисунок 2. Сравнение счетчиков СМ со счетчиками ВМ.

Помимо этого в каждом вычислителе на основании выполнения функционального алгоритма формируется признак, подтверждающий работоспособность (рис.3). СМ считывает для анализа специальную ячейку с данным признаком и после этого обнуляет ее. Признаки работоспособности ВМ сравниваются в СМ с эталоном. Алгоритмический контроль основан на том, что каждый ВМ, выполняя расчеты, проверяет вхождение результатов в допустимые зоны. Также периодически ВМ выполняет тестовый пример, сравнивая результат с эталоном-константой, записанной в область постоянной памяти. Тестовыми примерами могут являться простейшие арифметические задачи, например, сложение целых чисел или с плавающей точкой, если позволяет установленное время цикла. Выход за расчетные границы или ошибки в тестовых примерах формируют признак, обозначающий возникновение сбоя в полетной программе.

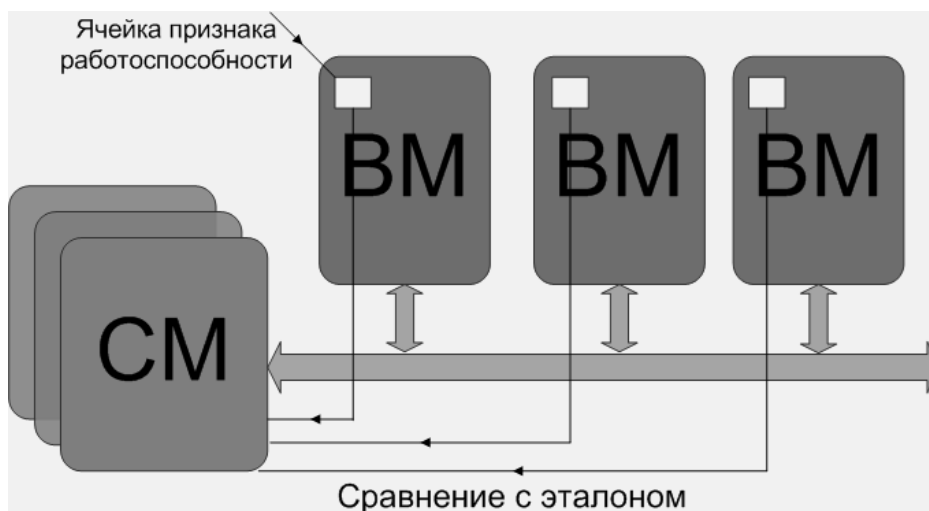


Рисунок 3. Контроль по признаку работоспособности.

Достоверность передаваемой информации при межмодульном обмене дополнительно обеспечивается проверкой контрольной суммы, которой сопровождается массив информации (рис.4).

Правильность выполнения процедуры обмена с внешней аппаратурой системы управления контролируется с помощью модулей связи. Перед запуском процедуры обмена, анализируется регистр состояния МС, который определяет результат завершения предыдущего обмена по кодовым линиям связи и занятость модуля.

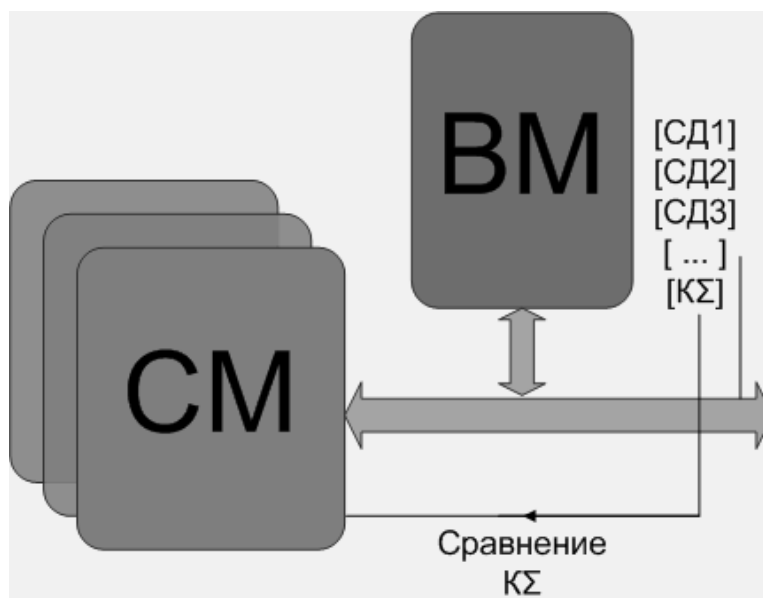


Рисунок 4. Контроль по контрольной сумме.

В совокупности программный контроль занимает в основном цикле работы ЦВС не более 15-20% машинного времени.

Для обеспечения функционирования в условиях сбоев и отказов выполняются следующие процедуры:

- контроль достоверности передаваемой информации между модулями.
- контроль исправности ВМ;
- формирование команд для отсрочки срабатывания системы аварийного спасения (САС) для обеспечения выпуска парашютов.

Нормально функционирующая программа должна каждый цикл отодвигать срабатывание системы спасения на 3 цикла. И в случае отсутствия взаимодействия на протяжении 3-х циклов система срабатывает автоматически. Поскольку в процессе работы существует вероятность появления случайных сбоев, то, для исключения непреднамеренного срабатывания САС, используется механизм троекратной проверки обнаруженной неисправности. При этом система спасения активируется в следующих случаях:

- несовпадение номера цикла в модулях;
- неустранимые ошибки в результатах вычислений;
- ошибки при решении тестовых примеров;
- передача недостоверной информации.

Для повышения надежности функционирования ЛА программы контроля находятся в заблокированной на запись части постоянной памяти для исключения возможности непреднамеренной коррекции или случайного искажения.

Помимо этого были заложены ситуации, учитывающие, что существуют задачи, которые не являются критичными для функционирования ЛА. Например, если неисправный модуль служил для упаковки телеметрической информации (ВМЗ на рис.1), достоверность которой не оказывает влияния на основные системы, то в этом случае ЛА продолжает процесс функционирования, переходя на программу, которую условно можно назвать «возвращение домой». При неисправности одного из ВМ, ответственного за решение задач навигации, наведения и стабилизации, его функции также может принять на себя модуль, обрабатывающий телеметрию.

Заключение

Разработанный программный комплекс контроля и функциональной защиты системы управления малогабаритного БЛА обеспечивает контроль функционирования и парирование сбоев в работе СУ, а при возникновении критических отказов – сохранность БЛА.

Список литературы

1. Антимиров В.М. Современные вычислительные комплексы двойного назначения систем управления нового поколения: монография / В.М. Антимиров, В.Е. Межов, В.К. Зольников // Воронеж. гос. ун-т. Воронеж, 2006. 246 с.
2. Сарапулов А.В., Уманский А.Б. Эффективность перераспределения задач бортовой вычислительной системы для повышения надежности систем автоматического управления подвижными объектами // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления». Сборник докладов. – Екатеринбург, 2015. – С.231-238.
3. Уманский А.Б. Бортовые цифровые вычислительные системы семейства «Малахит» для работы в экстремальных условиях / В.М. Антимиров, А.Б. Уманский, Л.Н. Шалимов // Вестник СГАУ. 2013. №4(42). С.19-27.
4. Антимиров В.М., Телицин В.В. Проектирование бортовой аппаратуры систем управления. Курс лекций. 2010, 146 с.
5. Агеев Ю.Н., Шабашов П.С., Борисов В.И. Разработка принципов и средств контроля резерва и защиты ЦВС от сбоев. Инженерная записка. 2010, 11 с.

References

1. Antimirov V.M. Sovremennye vychislitelnye komplekсы dvoynogo naznacheniya sistem upravleniya novogo pokoleniya: monografiya [Modern computing systems dual-purpose control systems of new generation: monograph] / V.M. Antimirov, V.E. Mezhov, V.K. Zolnikov // Voronezh. Univ. Voronezh, 2006. 246 p.
2. Sarapulov A.V., Umanskiy A.B. Effektivnost pererarspredeleniya zadach bortovoy vschislitelnoy sistemy dlya povysheniya nadezhnosti sistem avtomaticheskogo upravleniya podvizhnymi obyektami [The efficiency of the redistribution of tasks onboard computer system to improve the reliability of automatic control system of moving objects] // International conference of students, graduate students and young scientists "Information technology,

telecommunications and control systems." The collection of reports. – Ekaterinburg, 2015. – P.231-238.

3. Umanskiy A.B. Bortovye tsifrovye vychislitelnye sistemy semeystva «Malakhit» dlya raboty v ekstremalnykh usloviyakh [Onboard digital computer system family "Malachite" to work in extreme conditions]. Ekaterinburg, Herald of SGAU. 2013. №4(42). P.19-27.

4. Antimirov V.M., Telicyn V.V. Proektirovanie bortovoy apparatury system upravleniya. Kurs lekcyi. [Design of onboard equipment control systems. Lecture course]. 2010, 146 p.

5. Ageev Y.N., Shabashov P.S., Borisov V.I. Razrabotka principov i sredstv kontrolya rezerva i zatchity CVS ot sboev. Inzhenernaya zapiska. [Development of guidelines and controls the provision and protection of the Central Military Commission of the failures. Engineering note]. 2010, 18 p.