

ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО НАДЕЖНОСТИ ВВОДА ИНФОРМАЦИИ В БОРТОВУЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ РАКЕТЫ НОСИТЕЛЯ "СОЮЗ-2"

С.А. Голованов, А.Б. Уманский

НПО Автоматики, г. Екатеринбург, Россия e-mail: botysan1@gmail.com

Рассмотрены предъявляемые требования по надежности к режиму ввода программного обеспечения в бортовую цифровую вычислительную систему ракеты-носителя «Союз-2». Произведен анализ существующих программно-алгоритмических средств обеспечения предъявленных требований по надежности. Из-за большого количества используемых элементов и возрастания объемов хранимой информации возникает ряд проблем связанных с реализацией надежного ввода. Основные проблемами в данном режиме это большая вероятность возникновения двух кратных искажений информации и внешнее воздействие на линии связи. В связи с этим представлены доработанные программно-алгоритмические средства обеспечения надежности режима ввода программного обеспечения, с учетом особенностей и возможностей бортовой цифровой вычислительной системы ракеты-носителя «Союз-2», существенно повысившие надежность режима ввода и системы в целом.

Ключевые слова: надежность, система автоматического управления, «Союз-2», цифровая вычислительная система, алгоритмы контроля.

ALGORITHMIC MEANS IMPLEMENTING REQUIREMENTS RELIABILITY ENTERING INFORMATION INTO THE ONBOARD CONTROL COMPUTING SYSTEM IN ROCKET "SOYUZ-2"

S.A. Golovanov, A.B. Umanskii

SPA of Automatics, Yekaterinburg, Russia e-mail: botysan1@gmail.com

Discussed requirements to in terms of reliability to the input mode software onboard digital computer system rocket "Soyuz-2". The analysis of existing software and algorithmic means to ensure demand under reliability. Due to the large number of elements used and increasing volumes of stored information, a number of problems associated with the implementation of a reliable input. The main problem in this mode is a large probability of two multiple misstatements and external influence on the link. In this regard, presented the modified software and algorithmic means of securing the input mode information, taking into account the characteristics and capabilities of the onboard digital computer system carrier rocket "Soyuz-2", will significantly increase the reliability of the input mode and the system as a whole.

Key words: reliability, automatic control system, "Soyuz-2", a digital computing system control algorithms.

Введение

В настоящее время основным элементом в современных системах автоматического управления (САУ) ракетно-космической техники (РКТ) является управляющая бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС).

На практике САУ для РКТ работают в экстремальных условиях, таких как широкий диапазон изменения температуры окружающей среды (от -60 до $+125$ °С), механические воздействия в виде ударов и широкополосной вибрации, а также обеспечение работы в импульсных и стационарных полях ионизирующих излучений космического пространства при вспышках на Солнце. Поэтому к данным системам предъявляются достаточно жесткие

требования по обеспечению надежности, что порождает ряд проблем при подготовке изделий к эксплуатации.

На сегодняшний день имеется комплекс проблем в малогабаритных БЦВС для САУ, работающих в экстремальных условиях, относящийся к обеспечению правильности записи и хранения бортового программного обеспечения (ПО).

Одной из таких проблем является обеспечение надежности и правильности ввода бортового ПО для ракеты-носителя (РН) «Союз-2». Данная проблема является актуальной, поскольку на практике ПО постоянно увеличивается в объемах и достаточно часто изменяется, что требует разработки специальных алгоритмов контроля и управления резервом для обеспечения надежного ввода и хранения информации [1].

В статье рассмотрены общие требования и разработанные на данный момент алгоритмические решения в части обеспечения надежности и правильности ввода бортового ПО.

Требования к надежности режима ввода программного обеспечения

Для систем управления разработки НПОА в настоящее время сформированы следующие критерии надежности для РН «Союз-2» в части ввода программного обеспечения:

1. Полетные программы необходимо хранить в защищенной от записи памяти;
2. Записываемое в память программное обеспечение должно быть целостно;
3. В случае обнаружения нарушения целостности (искажения) программ необходимо составлять исчерпывающую диагностическую информацию;
4. Информация и система управления должны быть приспособлены к диагностированию;
5. Должно обеспечиваться определение места неисправностей с точностью до сменной конструктивной единицы;
6. Необходимость обеспечения повтора проверок во всех задачах;
7. Возможность парирования искажения информации в ходе выполнения задач ввода;
8. Дублирование информации по возможности.

В связи с увеличением требований по надежности, возрастанием объемов ПО и усложнением структуры БЦВС появилась необходимость в использовании специальных алгоритмических средств, обеспечивающих надежный ввод полетных программ в режиме ввода информации.

Режим ввода программ

Данный режим является подготовительным и предназначен для конфигурирования ПЗУ ЦВС бортовой аппаратуры системы управления (БАСУ) РН «Союз-2».

В ходе режима в ОЗУ модулей БЦВС загружается из наземной аппаратуры системы управления (НАСУ) информация для ввода. После чего происходит запуск программы записи и контроля информации. При такой реализации данного режима микропроцессоры модулей системы выполняют программу загрузки информации из своего ОЗУ в ПЗУ. Данная реализация позволяет существенно разгрузить НАСУ, так как количество обменов минимально.

В связи со спецификой БЦВС возникает жесткая привязка к системе, для которой разрабатывается программа ввода и контроля информации. БЦВС для РН «Союз-2» строится по магистрально-модульному принципу.

Все модули объединены через дублированную системную магистраль, которая совместно с системным модулем составляет управляющее ядро комплекса.

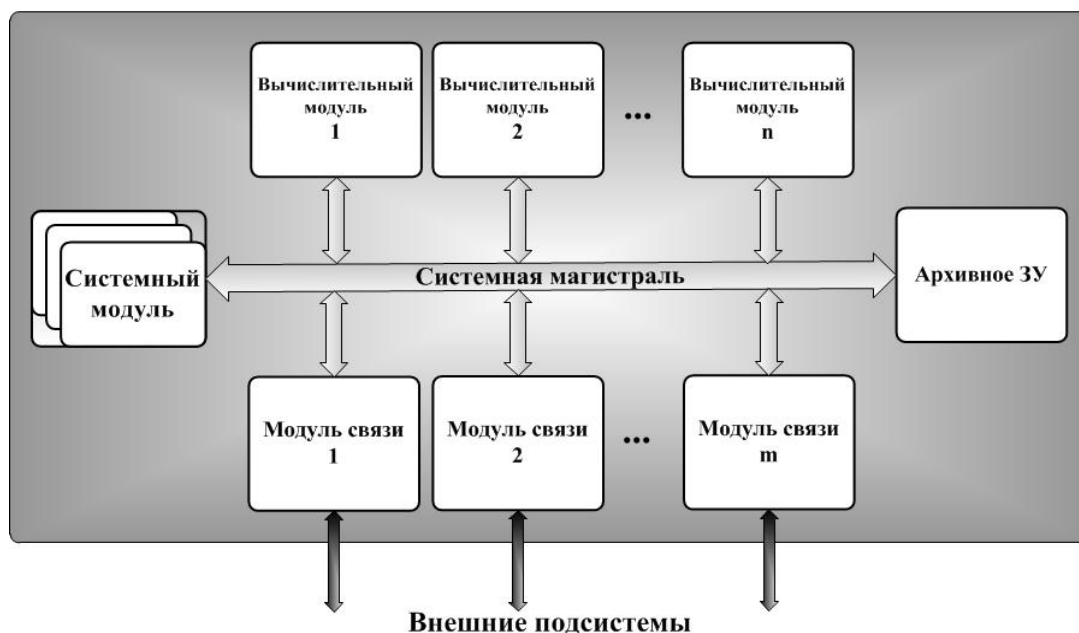


Рис.1. Структура ЦВС семейства «Малахит-7»

Основной особенностью ЦВС на базе модулей Малахит-7 от других вычислительных систем разработки НПОА (например, семейства вычислительных систем на базе модулей

Малахит-3), является то, что аппаратный контроль (мажоритария «два из трех») достоверности при приеме/передаче информации отсутствует.

При выполнении режима ввода задействовано большое количество элементов, следовательно возможно искажение информации:

1) НАСУ

На сегодняшний день полетные программы вводятся в ОЗУ НАСУ с внешнего носителя информации. После чего данная информация разбивается на пакеты для передачи в дальнейшие модули. Соответственно существует вероятность искажения ячейки информации ОЗУ и искажения информации при формировании пакетов.

2) Линия связи между НАСУ и модулем связи

При передаче информации через линию связи возможно искажение информации из-за внешних воздействий и переходных процессов.

3) Модуль связи

Модуль связи принимает пакеты информации, сохраняя их в буферном ОЗУ, после чего происходит передача в другие модули. Здесь так же существует вероятность искажения ячейки информации при записи.

4) Системная магистраль

Пересылка пакетов модулем связи проходит по системной магистрали, в которой возможно искажение информации из-за внешних (по отношению к магистрали) воздействий.

5) Модули ЦВС

После приема информации в модулях БЦВС происходит запись информации в ОЗУ, а затем в ПЗУ с использованием ресурсов микропроцессора. Что соответственно приводит к увеличению общей вероятности искажения информации.

Как видно из предыдущих пунктов при выполнении режима ввода вероятность искажения довольно «высока», а из-за отсутствия аппаратного контроля контроль должен обеспечиваться программными средствами модулей.

По этой причине при реализации задачи прошивки модулей необходимо использовать специальные алгоритмы контроля исправности, которые также реализуются и для режима полета.

Существующие программно-алгоритмические средства обеспечения надежности, алгоритмы контроля правильности информации

Рассмотрим разработанные алгоритмы контроля правильности ввода информации:

1. НАСУ, линия связи между НАСУ и модулем связи

На сегодняшний день информация, вводимая в НАСУ, сопровождается контрольной суммой (КС), рассчитанной по алгоритму CRC32, которая позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, возникающие при приеме информации.

После происходит разбиение полученной информации на сегменты с расчетом на каждый сегмент КС CRC16 и включением ее в состав сегмента средствами НАСУ. Затем происходит пакетная передача данных по линии связи с использованием интерфейса ГОСТ Р 52070-2003, данные поступают в модуль связи где так же проходят проверку на корректность с использованием проверки по биту четности и расчета КС.

В случае отрицательного результата контроля информации на корректность происходит ее повторная передача по резервной линии связи. Что позволяет повысить надежность при получении информации модулем связи.

Преимущества алгоритма:

- 1) Совместное использование интерфейса ГОСТ Р 52070-2003 в дополнение КС CRC32 позволяет обнаружить ряд ошибок возникающих при передаче, которые при использовании CRC32 обнаружить не удастся (Так, например, при передаче может возникнуть ошибка, при которой CRC 32 рассчитается и сравнится, а бит четности нет, тем самым исключается формирование ложного положительного результата).
- 2) При такой реализации осуществляется трехкратный контроль при поступлении информации из НАСУ в БАСУ. Причем использование CRC32 и CRC16 на данном этапе позволяет оперативно восстанавливать информацию в случае сбоя;

Недостатки алгоритма:

- 1) Необходимость хранения порождающего полинома;
- 2) Достаточно долгое время расчёта CRC32;
- 3) Необходимость «отсечения» КС CRC32 при передачи в другие модули.

Таким образом, данный алгоритм является затратным по времени и дополнительной информации. Однако на данном этапе удовлетворяет требованиям по надежности и в коррекции не нуждается.

2. Обмены по системной магистрали

При обменах по системной магистрали на сегодняшний момент используется однократная запись пакета информации в обменную зону ОЗУ с проверкой по биту четности и КС, рассчитанной по модулю 2^{16} с инверсией. В случае отрицательного контроля по КС происходит запрет использования (бракование) текущей магистрали и переключение на резервную магистраль с повтором передачи пакета информации.

Преимущества алгоритма:

- 1) Достаточно быстрые обмены;
- 2) Малые затраты на расчет и проверку информации;
- 3) Увеличение надежности при передаче пакетов малых объемов, чем меньше передаваемый объем, тем меньше вероятность возникновения ошибки.

Недостатки алгоритма:

- 1) Возможно ложное бракование магистрали при возникновении ошибки записи в обменную зону ОЗУ при отсутствии аппаратного контроля (мажоритации два из трех);
- 2) При обменах малыми пакетами увеличивается время передачи информации вследствие увеличения операций на расчет и сравнение КС информации.

Таким образом, данный алгоритм не удовлетворяет текущим требованиям по надежности и требует доработки.

3. Прошивка ПЗУ информацией из ОЗУ

На сегодняшний день при прошивке информации в ПЗУ используется контроль только по КС, рассчитанной по модулю 2^{32} с инверсией, всего файла прошивки (КС входит в состав служебной информации ПО).

Преимущества алгоритма:

- 1) Малые временные затраты на контроль;
- 2) Позволяет контролировать целостность информации после прохождения режима ввода ПО т.к. КС входит в состав служебной информации ПО и соответственно хранится в ПЗУ;

Недостатки алгоритма:

- 1) Возможен ложный положительный результат, при двукратной ошибке в одинаковых разрядах разных слов информации;
- 2) Отсутствует возможность повтора ввода отдельной части ПО из-за того что КС рассчитана на весь файл.

3) Не позволяет определить место и количество (в какой именно ячейке памяти и сколько) неисправностей;

Таким образом, данный алгоритм, ранее удовлетворявший требованиям по надежности сейчас недостаточен из-за роста объемов ПО и требований в части определения места неисправности.

Доработанные программно-алгоритмические средства обеспечения надежности

На сегодняшний день была произведена доработка алгоритмов не отвечающим требованиям по надежности. Рассмотрим разработанные алгоритмы контроля правильности информации:

1. Обмены по системной магистрали

Для увеличения надежности и исключения вероятности ложного бракования магистрали было принято решение о дублировании передаваемых данных, в результате доработки информация передается одновременно в две обменные зоны ОЗУ модуля по обеим магистралям с КС, рассчитанной по модулю 2^{32} с инверсией. Затем происходит контроль данной информации и перезапись данных в необходимую область ОЗУ с последующим пословным сравнением информации.

Данный способ контроля позволяет определить возникновение сбоя при записи информации в ОЗУ и снизить вероятность возникновения сбоя при обмене информации из-за нахождения резервной магистрали в горячем резерве.

2. Прошивка ПЗУ информацией из ОЗУ

При прошивке информации в ПЗУ существует вероятность возникновения двух ошибок в одинаковых разрядах слов информации, что существующим методом контроля не представляется возможным обнаружить, при возрастании объемов ПО данная ситуация становится еще более «губительной». Так же в данном случае не возможно определить место возникновения сбоя. Однако при хранении ПО в ПЗУ модуля на практике зачастую появляется необходимость проверки целостности информации в этом случае контрольная сумма необходима в его составе. Таким образом, было принято решение об использовании пословного сравнения после записи одной страницы памяти, по ходу решения задачи ввода информации, и сравнения контрольной суммы рассчитанной и хранимой (эталонной) полного файла прошивки по завершении данной задачи. Что позволит просто и существенно повысить надежность ввода ПО.

Данный алгоритм контроля позволяет исключить возникновение сбоя при записи информации в ПЗУ и обнаружить место возникновения неисправности при много кратном

сбое записи. А так же при включении пословного сравнения появляется возможность повторить ввод данной части файла прошивки, что значительно увеличивает надежность ввода ПО. Но данный алгоритм требует специальных требований при подготовке файла прошивки, в плане расчёта и включения в состав ПО эталонной контрольной суммы, а так же значительных затрат времени на пословное сравнение информации.

Заключение

Обеспечение надежности хранения и передачи информации является одной из актуальных проблем при выполнении целевых функций САУ.

Разработанные средства контроля для БЦВС на базе семейства модулей «Малахит-7» позволяют обеспечить высокую надежность режима ввода ПО в модули. А благодаря резервированной структуре БЦВС и работе системы управления резервов и восстановления повышается вероятность сохранности и получения достоверной информации.

Данная технология организации ввода программ показала свою работоспособность при испытании РН Союз 2-1в и будет развиваться в дальнейшем при модернизации САУ РН Союз 2 для космодрома «Восточный».

Список литературы

1. Ханевский Д.А. Особенности организации режима ввода программ для бортовой аппаратуры системы управления ракеты-носителя Союз-2 на базе цифровой вычислительной системы Малахит-7 / Д.А. Ханевский, А.Б. Уманский, Г.Е. Яцук, С.А. Голованов // XXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: сб. науч. тр. 2014. С.30-32.
2. 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.