

УДК 004.2 (045)

Жуков И.А., д-р техн. наук,
Синельников А.А.,
Антипов А.А.

МЕТОД И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ АВИАЦИОННОЙ НАВИГАЦИИ

Институт компьютерных технологий
Национального авиационного университета

Рассматривается проблема обеспечения точной и надежной навигации воздушных судов. Предложен метод получения полного набора навигационно-пилотажных параметров и организация высокопроизводительной вычислительной структуры для решения задач самолетовождения с целью повышения точности и надежности зависимого наблюдения воздушных судов в любых районах полета.

Введение

Расширение сфер применения технологии спутниковой навигации за последние годы побуждает к созданию специализированных устройств, на базе которых возможно построение различных видов аппаратуры, имеющей в своем составе вычислительные устройства. В рамках Глобальной навигационной спутниковой системы GNSS по мере внедрения необходимых наземных дополнительных систем и оснащения воздушных судов аппаратурой спутниковой навигации и посадки, традиционные средства будут вытесняться, операции навигации, взлета, определения местоположения, захода на посадку будут выполняться на основе совместной или спутниковой навигационной информации.

Создание унифицированных космических платформ позволит минимизировать количество типов, а значит, снизить единовременные материальные затраты на их создание. Спутниковая связь существенно отличается от других видов радиосвязи – радиорелейной, тропосферной, ионосферной, сотовой или транкинговой. В системах спутниковой связи основными показателями, определяющими размеры зоны покрытия, качество обслуживания и энергетику радиолиний, являются тип орбиты и ее характеристики.

В условиях высокой интенсивности воздушного движения обеспечение необходимой пропускной способности навигационной аппаратуры при решении задач

воздушного движения требует повышенной точности их решения. При моделировании структур, входящих в основу функционирования этой аппаратуры, требуются еще более производительные специализированные вычислительные структуры [1-3]. Для этого недостаточно автоматизировать решение информационных задач сбора, передачи, представления информации при разработке специализированных вычислительных структур. Необходимо в основу проектирования структур закладывать решение вычислительных задач с использованием математических методов, например, задач оценки текущей и прогнозируемой воздушной обстановки, для решения которых на разных этапах функционирования вычислительных структур применяются методы, обеспечивающие требуемую точность решения при ограниченной производительности самих структур [1-3].

В связи с этим актуальными являются вопросы создания высокопроизводительных вычислительных навигационных структур. Одним из путей существенного расширения возможностей компьютерного моделирования полета является разработка и использование высокопроизводительных специализированных структур и вычислительных систем с параллельной организацией вычислений для повышения производительности и надежности систем управления, а также для упрощения компьютерного обеспечения бортовых вычислителей.

Развитие современной авиации, характеризуется применением цифровых вычислителей в системах управления полетом и силовой установкой самолета, позволяет применять законы управления с интегральной составляющей и поновому решать вопросы обеспечения требований устойчивости, управляемости и автоматического выполнения ограниченных при высоком быстродействии и требуемой надежности. Применение компьютерного моделирования позволяет реально реализовать адаптивное оптимальное управление. Однако при этом требуется большая вычислительная мощность для реализации алгоритмов оценивания и адаптации на борту самолета. Например, для случая, когда воздушное судно осуществляет взлет и выход на заданный курс число обращений к элементарным и специальным функциям составляет от 80 до 100 тысяч раз. Если принять в качестве исследуемого варианта тяжелый самолет с системой подавления упругих колебаний при полете в атмосферной турбулентности, то требуемые порядок системы уравнений, решаемой бортовой вычислительной машиной, составляет 72, а быстродействие – 1,8 млн. оп./с [2].

Работа бортового комплекса управления связана с постоянным пересчетом координат из одной системы координат в другую, с использованием тригонометрических функций. Организация специализированных структур, ориентированных на выполнение операций в автономном режиме вычислений, позволяет сократить число внешних выводов, а как следствие – улучшить технологичность, снизить стоимость, повысить надежность и степень интеграции сверхбольших интегральных схем.

Анализ исследований

Основным принципом построения вычислительных структур аппаратуры самолетовождения является создание много-функциональной аппаратуры самолетовождения на базе аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS.

Получение полного набора навигационно-пилотажных параметров, необхо-

димых для выполнения полетов во всех режимах от взлета до посадки (без наземного обеспечения), возможно при использовании набора измерителей, таких как, ГЛОНАСС/GPS, радиовысотомер, датчики аэротрической информации, курсо-вертикаль, метеонавигационная радиолокационная станция и системы инструментальной посадки. Для повышения производительности вычислительных структур за счет внедрения в память вычислителей соответствующих уравнений и функциональных зависимостей, описывающих движение воздушного судна в пространстве.

Исследования показывают [1-3], что комплексную обработку информации в навигационном вычислителе целесообразно осуществлять, используя схему компенсации, структурная схема которой представлена на рис. 1.

Целесообразность использования метода компенсации при обработке информации в спутниковых системах навигации объясняется тем, что в данном случае измерения навигационных параметров осуществляются измерителями, которые основаны на разных физических принципах, и при этом ошибки этих измерителей лежат в разных частотных диапазонах.

Достоинствами структурно-функциональной организации вычислительных структур для решения навигационных задач являются:

- непрерывное автоматическое определение и индикация текущих координат местоположения самолета в географической и частно-ортодромической системах координат при полете на маршруте и маневрировании в зоне аэродрома, а также скорости полета в режиме обработки информации от спутниковых навигационных систем и режиме счисления;
- обеспечение позиционирования самолета при помощи систем навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС, с использованием сигналов перспективных подсистем WAAS, LAAS, EGNOS;
- комплексная обработка информации, обнаружение и изоляция «оши-

бочных» навигационных данных, коррекция курса, скорости и путевого угла по результатам комплексной обработки информации.

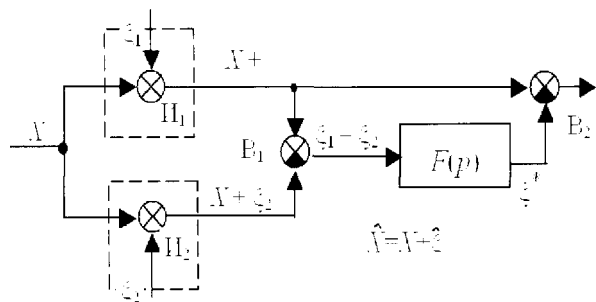


Рис. 1. Структурная схема компенсации

Предложенная вычислительная структура навигационной аппаратуры позволяет выполнить все функции предъявляемые к аппаратуре самолетовождения в том числе и функции:

- вычислительной системы самолетовождения;
- многорежимного пульта управления и индикации;
- комплексного пульта управления радиотехническими системами;
- системы контроля общесамолетного оборудования;
- системы загрузки и хранения бортовой базы данных и программ;
- системы предупреждения критических режимов;
- системы полетного и наземного контроля бортового радиоэлектронного оборудования;
- системы сбора и локализации информации и системы технического обслуживания;
- библиотеки технической документации по самолету и справочной информации;
- компьютера для автоматизированного планирования полета с отображением результатов в текстовом, графическом и картографическом виде.

Структура самолетовождения в целом представляет собой многопроцессорную вычислительную систему с различной степенью междупроцессорной интеграции.

Для устранения пиковых вычислительных нагрузок использовано следую-

щее разделение вычислительных задач между блоками вычислительной структуры:

- задачи навигации, комплексной обработки информации, приема, обработки информации от самолетных систем, выдача информации в самолетные системы (кроме системы экранной индикации) выполняется вычислительным блоком;

- задачи управления, индикации, задачи ввода, хранения и работы с базами данных, задачи планирования полетов, все вспомогательные вычисления и выдача информации в систему экранной индикации выполняются многофункциональным пультом управления и индикации. Для выполнения задач хранения баз данных структура в своем составе имеет постоянную перепрограммируемую память объемом до 512 Мбайт. Постоянная память такого объема позволяет загружать и хранить следующие базы данных:

- всемирная навигационная база данных на два цикла AIRAC – текущий и следующий;
- пользовательская база данных, включающая в себя до 200 маршрутов по 100 поворотных точек каждый и до 5000 определяемых экипажем поворотных пунктов маршрута;
- база данных, включающая информацию по летно-техническим характеристикам самолета;
- справочная база данных по оборудованию самолета.

Основная цель работы

Основной целью работы является повышение производительности вычислительных структур для решения задач навигации.

Совокупность навигационных вычислителей различного функционального назначения для решения задач навигации и управления с высокой точностью в реальном времени занимает центральное место в системах управления, средства обработки информации, принятия решений и формирования команд управления, которые определяют специфику работы управляющей системы.

Особенности реализации вычислительной структуры

Эффективным средством повышения быстродействия вычислителей, предназначенных для решения навигационных задач, является использование параллельных модулей с системой команд типа "MIPS1". Основные характеристики вычислительного процесса непосредственно зависят от основания используемой системы счисления и числа верных цифр результата. Поскольку при обработке навигационных данных специализированными вычислителями одна из основных проблем связана в первую очередь с обеспечением высокой точности самолетовождения, которая обеспечивает точную и надежную четырехмерную навигацию во всех районах и на всех высотах полета воздушных судов.

Разработанная структура для обеспечения надежной навигации включает в себя многофункциональный пульт управления и индикации и вычислительный блок.

Многофункциональный пульт управления и индикации состоит из следующих устройств: модуль центрального процессора, модуль периферийных устройств, накопитель информации, контроллер «Ethernet» (USB), контроллер последовательных портов RS232, дисплей, клавиатура, модуль ввода-вывода, контроллер последовательных портов и разовых команд (ARINC 429), и внешний источник питания.

Модуль центрального процессора, структурная схема которого изображена на рис. 2., предназначенный для управления работой всех узлов МПУИ, состоит из CPU R3081 параллельного асинхронного, с обработкой информации в форме с фиксированной и плавающей запятой с разрядностью АЛУ – 32, системой команд "MIPS1", производительностью 13 MFLOPS для 50 МГц, с объемом ОЗУ SDRAM (синхронное динамическое) 90 Мбайт, ОЗУ SRAM (статическое) объемом 4 Мбайт, ПЗУ объемом 4 Мбайт, системного контроллера, ПЗУ DATA FLASH объемом 64 Мбайт, буфера системной шины и системной шины.

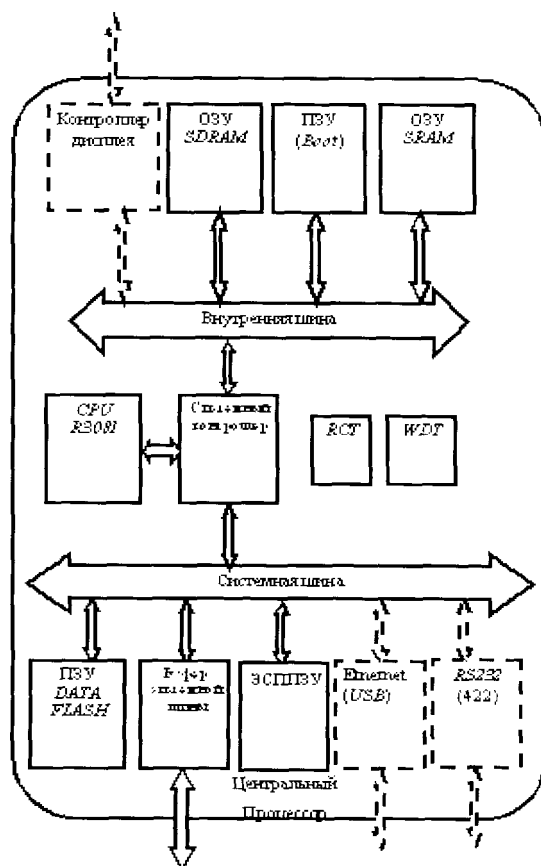


Рис. 2. Модуль центрального процессора

Модуль ввода-вывода (рис. 3.) предназначен для решения следующих задач:

- 1) прием и передача информации по каналам связи двуполярным последовательным кодом согласно ГОСТ18977-79 и PTM 1495 (ARINC 429);
- 2) прием и выдачу разовых команд;
- 3) обработку информации;
- 4) выдачу и прием информации на и с системной шины.

Для обеспечения выполнения требований по отказоустойчивости в структуре самолетовождения реализовано:

- двукратное резервирование. В структуру входят два многофункциональных пульта управления и индикации, два блока преобразования аналоговых, два блока вычислительных и две антенны. Соединение БВ и МПУИ осуществляется по ARINC 429;

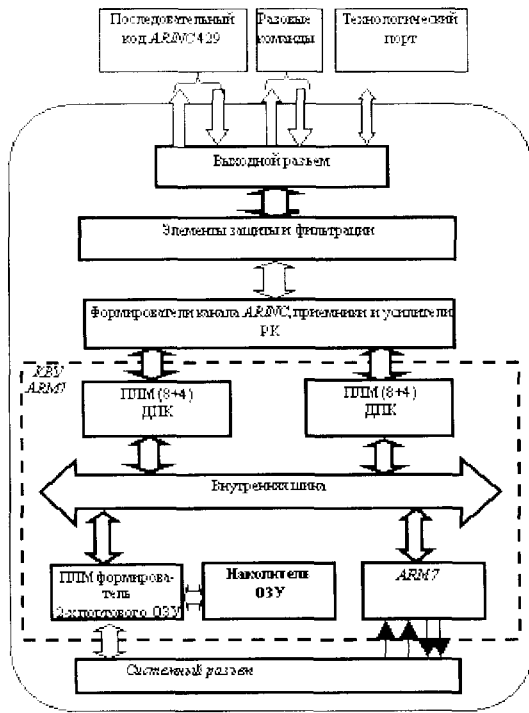


Рис. 3. Модуль ввода-вывода

- независимый ввод избыточной информации в каждый вычислитель и ее комплексную обработку. Одновременная параллельная работа вычислителей и постоянный взаимный контроль работоспособности, путем сравнения результатов вычислений.

В структуре реализовано системное и прикладное ПО, обеспечивающее отказоустойчивость системы, т.е. способность выполнять за счет аппаратурной и программной избыточности полный объем функций в условиях отказов и сбоев аппаратуры и ПО путем:

- защиты маскированием недостоверной информации;
- диагностического контроля и локализации отказов;
- отключение от контуров управления при исчерпании избыточности (деградации в не отказоустойчивую структуру) с необходимой экипажу сигнализацией (дальнейшее использование бортового оборудования в не отказоустойчивой структуре для автоматического управления – прерогатива экипажа);
- реабилитацию (при пропадании отказа) и восстановление соответствующего уровня структурно-функциональной избыточности.

Разработанная архитектура структуры самолетовождения позволяет производить модернизацию или получать новые модификации аппаратуры без доработок и изменения существующей аппаратуры. Реализация архитектуры обеспечивается за счет следующих технических решений:

- разделение ПО на прикладное и системное;
- использование модульной конструкции;
- использование стандартного интерфейса (ARINC 429) для связи между блоками ACM;
- изменение конфигурации блоков структуры путем замены модулей входящих в блоки без программных и аппаратных доработок тех модулей, которые остаются без изменений;
- использование устройств ввода-вывода имеющих в своем составе вычислительных структур, которые производят первичную обработку принимаемой информации;
- распределение задач между вычислительными структурами для снижения пиковых нагрузок;
- наличие избыточной вычислительной мощности и пропускной способности интерфейсов.

Вычислительный блок предназначен для решения следующих задач:

- определение текущего местоположения самолета и характеристик движения самолета;
- решение задач полета по маршруту;
- расчет и выдача в самолетные системы сигналов управления самолетом;
- прием информации от самолетных систем;
- выдача сигналов управления РТС самолета.

Вычислительный блок (рис. 4.) состоит из следующих узлов:

- приемник спутниковых навигационных систем;
- центральный процессор;
- модуль ввода-вывода – 2 шт.;
- вторичный источник питания.

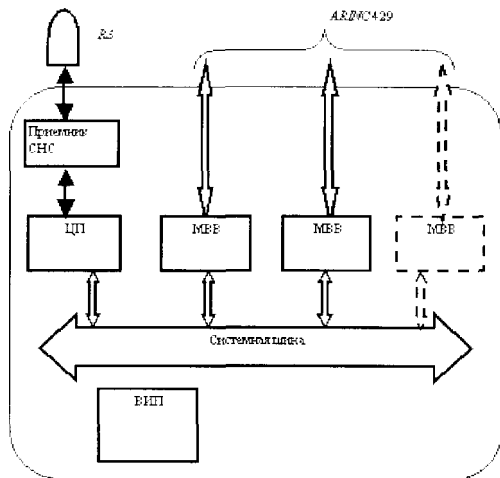


Рис. 4. Структурная схема вычислительного блока

В процессе работы проводится постоянный взаимный мониторинг расчетов результатов получаемых в вычислительных блоках №1 и №2, по результатам которого определяется работоспособность системы в целом. Информация, выдаваемая одноименными устройствами правого и левого бортов воздушного судна, сравнивается друг с другом и с расчетным значением. По результатам анализа полученной информации принимается решения о пригодности полученной информации для использования в расчетах.

Моделирование работы системы навигации ГЛОНАСС в сравнении с разработанной структурой самолетовождения с использованием вычислительных структур производилось при наборе высоты и выхода на заданный курс самолета АН-74 (рис. 5.).

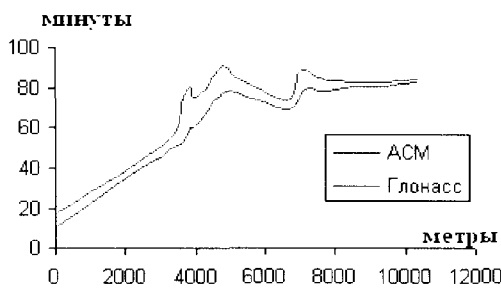


Рис. 5. График работы систем

По точности определения местоположения предлагаемая структура превосходит аналог в 1,5 раза.

Выводы

Полученные результаты позволяют утверждать, что разработанные спутни-

ковые навигационные вычислительные структуры обладают рядом преимуществ по сравнению с действующими средствами навигации в авиации. К основным преимуществам разработанной вычислительной структуры спутниковой навигации следует отнести обеспечение точной и надежной четырехмерной навигации (три координаты и время) во всех районах и на всех высотах полета воздушных судов и, как следствие, снижение риска катастроф, связанного с неточностью информации о местоположении воздушного судна, особенно в тех районах полета, где использование традиционных средств невозможно или экономически нецелесообразно.

Предложенный метод и вычислительная структура позволяет повысить точность вычислений за счет введения высокоскоростных спутниковых средств зависимого наблюдения, обеспечивающие высокую точность самолетовождения и надежную навигацию во всех районах и на всех высотах полета воздушных судов.

Список литературы

1. V.B. Larin. Attitude-determination problems for a rigid body // Int. App. Mechanics, 2001. № 7. – P. 870 – 898.
2. V.B. Larin, A.A. Tunik. Algorithms of Low Cost INS and INS/GPS Integrated Systems for Short Range Navigation // 9th Saint Petersburg Intern. Conference on Integrated Navigation Systems. 27 - 29 May, 2002. – P. 137 – 139.
3. Grewall M.S., Weill L.P., Andrews A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. Publishing: A John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2001. – 392 p.
4. Жуков И.А., Дровозов В.И., Рудюк Г.И. Организация высокопроизводительных специализированных вычислителей для имитаторов авиационных тренажеров // Проблемы информатизации и управления. – Вип.13. – К.: НАУ, 2005. – С. 43 – 52.
5. Рогожин В.А., Синсглазов В.М. Фляшкін М.К. Пiлотажно-навігаційні комплекси повітряних суден”. – К.: НАУ, 2004. – 191 с.