

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе
по курсу «Сетевые технологии и сигнализация
в системах телекоммуникаций»
для студентов специальностей I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
и I-45 01 05 «Системы распределения мультимедийной информации»
всех форм обучения

Минск 2007

УДК 629.05
ББК 39.57
М 34

Составители:
И. И. Астровский, А. Л. Земляков

Математическое обеспечение бортовой аппаратуры потребителей :
М 34 метод. указ. к лаб. работе по курсу «Сетевые технологии и сигнализация в системах телекоммуникаций» для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» и I-45 01 05 «Системы распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / сост. И. И. Астровский, А. Л. Земляков. – Минск : БГУИР, 2007. – 28 с. : ил.

Рассматриваются процедуры и алгоритмы вторичной обработки информации, предназначенные для решения навигационно-временной задачи и входящие в состав математического обеспечения бортовой аппаратуры потребителей.

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ в диалоговом режиме. Программа составлена в соответствии с современными требованиями к программному продукту и обеспечивает необходимый сервис и защиту от неправильных действий пользователя.

Методические указания могут быть использованы студентами при изучении курсов, связанных с цифровой обработкой сигналов в системах подвижной связи.

УДК 629.05
ББК 39.57

© Астровский И. И., Земляков А. Л.,
составление, 2007
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиозлектроники», 2007

ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучить основы математического обеспечения и входящие в его состав алгоритмы; ознакомиться с процедурой вторичной обработки информации. Рассмотреть управляющий алгоритм обработки информации; изучить цикл проектирования аппаратуры и программного обеспечения.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И ШТУРМАНСКИХ РАСЧЕТОВ

Требования точности и оперативности обсерваций, предъявляемые к спутниковым радионавигационным системам, могут удовлетворяться только путем автоматизации процесса навигационных определений.

Навигационное определение – определение параметров движения (или соответствующих координат) подвижных объектов представляет собой основное содержание навигационных задач. Задачи определения параметров движения могут ставиться в двух планах:

- 1) в плане первичного определения параметров;
- 2) в плане уточнения их значений путем отыскания поправок к ним.

Штурманские расчеты – это расчеты по обеспечению полного использования летно-технических возможностей авиационной техники при выполнении полетного задания. В инженерно-штурманский расчет входят: расчет и построение профиля пути, определение режимов полета на этапах, расход топлива, дальность и продолжительность полета, расчет на перехват истребителями, определение полетного веса самолета при вылете и необходимой полезной нагрузке.

Автоматизации подлежат все основные операции:

- 1) поиск и обнаружение сигналов выбранного созвездия низкоорбитальных искусственных спутников Земли;
- 2) слежение за сигналами и измерение радионавигационных параметров;
- 3) прием и декодирование служебной информации;

- 4) решение навигационных и дополнительных (сервисных) задач;
- 5) контроль работоспособности аппаратуры;
- 6) индикация и регистрация результатов решений.

Наметились два направления автоматизации бортовой аппаратуры потребителей. Первое из них связано с использованием в комплекте бортовой аппаратуры потребителей специализированной, но единой ЭВМ. Второе – с применением рассредоточенных вычислителей.

Применение ЭВМ в бортовой аппаратуре потребителей значительно расширяет возможности навигационного комплекса и позволяет решать ряд дополнительных штурманских (сервисных) задач, состав которых зависит от назначения аппаратуры. Так, для самолетной аппаратуры к числу таких задач в первую очередь относятся: хранение координат поворотных пунктов маршрута и промежуточных аэродромов, расчет и хранение параметров линии заданного пути, вычисление координат, определение времени полета до очередного поворотного пункта маршрута и т. д.

Расширение круга задач, решаемых радионавигационной аппаратурой, в значительной мере облегчает работу штурмана, повышает эффективность использования навигационных средств и способствует их более широкому внедрению в практику. Более того, создание навигационных комплексов на базе ЭВМ открывает определенные перспективы для реализации автоматизированных систем управления движением объектов.

Тщательная отработка математического обеспечения позволяет при ограниченных вычислительных возможностях микропроцессора обеспечить решение навигационно-временной и сервисных задач за наименьшее время. Одной из важных особенностей аппаратуры, способствующей ее высоконадежной работе, является автоматическая проверка работоспособности и поиск неисправностей.

Навигационно-временная задача состоит в определении пространственных координат и составляющих вектора скорости потребителя, а также поправок к шкале времени и частоте, задаваемых его бортовым генератором.

Внедрение микропроцессоров и больших интегральных схем наряду с со-

вершенствованием математического обеспечения позволяет построить простую, надежную и недорогую аппаратуру.

1.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Математическое обеспечение – система формализованных алгоритмов и машинных программ, описаний и инструкций по их применению, предназначенная для решения целевых задач управления космическим аппаратом и средствами наземного автоматизированного комплекса управления.

По своему функциональному назначению математическое обеспечение подразделяется на:

- 1) общее математическое обеспечение;
- 2) общесистемное математическое обеспечение;
- 3) специальное математическое обеспечение.

Общее математическое обеспечение предназначено для организации вычислительных процессов непосредственно в машинах и представляет собой совокупность алгоритмов и программ ЭВМ. Включает операционную систему, пакеты стандартных программ, испытательные программы и систему программирования (алгоритмы и программные языки).

Общесистемное математическое обеспечение – совокупность алгоритмов и программ, обеспечивающих требуемую организацию информационно-вычислительных процессов в автоматизированных системах управления космическим аппаратом, а также взаимодействие оператора с информационно-вычислительным комплексом и управляющих комплексов автоматизированных систем управления с другими функциональными комплексами космических систем. В его состав входят алгоритмы:

- 1) взаимодействия операторов с информационно-вычислительным комплексом;
- 2) обмена информацией между подсистемами и элементами автоматизированных систем управления космическим аппаратом.

Специальное математическое обеспечение – совокупность алгоритмов и

программ, предназначенных для непосредственного решения задач управления данным типом космического аппарата. В состав типового специального математического обеспечения для управления космическим аппаратом входят алгоритмы расчета и прогнозирования орбит полета и спуска, обработка телеметрической информации о состоянии космического аппарата, сверки и коррекции бортовой шкалы времени, клонирования и управления работой средств наземного комплекса управления, а также специальных бортовых и обеспечивающих систем космического аппарата.

Математическое обеспечение аппаратуры потребителей сетевой спутниковой радионавигационной системы распадается на две части: первичную и вторичную обработку информации. Первичная обработка – решает задачи поиска и обнаружения сигналов, слежения за ними, измерения радионавигационных параметров, приема и декодирования служебной информации. Вторичная обработка предназначена для решения навигационно-временной задачи и на этой основе – для решения набора сервисных задач, а также для управления первичной обработкой и для управления вводом и выводом необходимой информации при реализации каждого из используемых режимов.

Навигационно-временная задача решается в результате обработки информации, подготовленной системой первичной обработки: измеренных радионавигационных параметров (временная задержка сигнала и доплеровское смещение его частоты) и служебной информации (эфемериды низкоорбитальных искусственных спутников Земли, поправки к шкалам времени и частоты его бортового генератора).

Бортовая аппаратура потребителя решает навигационно-временную задачу в основном, рабочем режиме, кроме которого предусматривается ряд вспомогательных режимов, обеспечивающих подготовку к основному. Это – ввод альманаха (из таблиц или из сигналов низкоорбитального искусственного спутника Земли), контроль работоспособности аппаратуры и калибровка радиотракта, ввод исходных данных для реализации сервисных задач и т. п.

Алгоритм вторичной обработки представляет собой последовательный набор алгоритмов отдельных режимов, а также так называемый управляющий ал-

горитм организации этих режимов. Управляющий алгоритм в соответствии со своей функцией именуется также главным диспетчером.

По своей структуре алгоритм режима может быть представлен совокупностью алгоритмов задач, а также управляющим алгоритмом режима (диспетчером режима). Алгоритмы отдельных задач в качестве самостоятельных единиц привлекаются к обеспечению различных режимов.

Каждая задача решается в результате выполнения совокупности процедур – логических и вычислительных; в пределах отдельной задачи процедуры могут образовывать блоки процедур. Каждая процедура реализуется тем или иным оператором.

Управляющие алгоритмы организуют последовательность вычислений и обмен информацией между аппаратной и программной частями устройства. Блочный принцип построения математического обеспечения предоставляет широкие возможности для совершенствования алгоритмов в процессе их отладки по результатам испытаний и эксплуатации путем замены или добавления отдельных процедур при соответствующем расширении логики управляющего алгоритма. Управляющие алгоритмы – главный диспетчер и диспетчеры отдельных режимов – можно представлять в виде формально-математических операторов, что требует использования соответствующего языка.

Алгоритм первичной или вторичной обработки в том или ином режиме задается набором алгоритмов отдельных задач первичной или вторичной обработки, последние реализуются соответствующим набором процедур. Набор процедур и их последовательность зависят не только от установленного режима, но и от подрежима. При реализации отдельных режимов возможны их варианты, связанные с тем, как ведется работа: на стоянке или в движении, по реальному сигналу или от имитатора сигналов, какой вид сигнала используется (С/А или Р), как работает бортовая аппаратура потребителей (самостоятельно или с другими бортовыми навигационными приборами) и т.п.

Передающая аппаратура спутника излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: $L1 = 1575,42$ МГц и $L2 = 1227,6$ МГц. Перед этим сиг-

налы модулируются так называемыми псевдослучайными цифровыми последовательностями (точнее, эта процедура называется фазовой манипуляцией). Причем частота L1 модулируется двумя видами кодов: C/A-кодом (код свободного доступа) и P-кодом (код санкционированного доступа), а частота L2 – только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах искусственных спутников Земли, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени.

Код свободного доступа C/A (Coarse Acquisition) имеет частоту следования импульсов 1,023 МГц и период повторения 0,001 с, поэтому его декодирование в приемнике осуществляется достаточно просто. Однако точность автономных измерений расстояний с его помощью невысока.

Защищенный код P (Protected) характеризуется частотой следования импульсов 10,23 МГц и периодом повторения 7 суток. Кроме того, раз в неделю происходит смена этого кода на всех спутниках. Для дополнительной защиты P-кода в любой момент без предупреждения может быть включен режим AS (Anti Spoofing). При этом выполняется дополнительное кодирование P-кода, и он превращается в Y-код. Расшифровка Y-кода возможна только аппаратно, с использованием специальной микросхемы (криптографического ключа), которая устанавливается в GPS-приемнике. Кроме того, для снижения точности определения координат несанкционированными пользователями предусмотрен так называемый «режим выборочного доступа» SA (Selective Availability). При включении этого режима в навигационное сообщение намеренно вводится ложная информация о поправках к системному времени и орбитах ИСЗ, что приводит к снижению точности навигационных определений примерно в 3 раза.

Поскольку P-код передается на двух частотах (L1 и L2), а C/A-код – на одной (L1), в GPS-приемниках, работающих по P-коду, частично компенсируется ошибка задержки сигнала в ионосфере, которая зависит от частоты сигнала. Точность автономного определения расстояния по P-коду примерно на порядок выше, чем по C/A-коду.

Выбор подрежима первичной или вторичной обработки зависит от целевой задачи, определяемой оператором бортовой аппаратуры потребителей, условий работы аппаратуры, имеющейся априорной информации и особенностей информационно-вычислительного процесса, обусловленных текущим режимом аппаратуры.

Режим работы выбирает оператор с помощью пульта управления бортовой аппаратуры потребителей, подрежим – с помощью признаков, хранимых в памяти и вводимых дополнительно при обращении оператора к пульту управления.

Вместе с организацией стандартных вариантов функционирования бортовой аппаратуры потребителей, которые полностью определяются заданными режимом и подрежимом работы, математическое обеспечение должно обеспечивать адаптацию к условиям использования аппаратуры. Такая адаптация должна проявляться во многих направлениях.

Прежде всего алгоритмическими средствами выбирается та группа радиовидимых низкоорбитальных искусственных спутников Земли, которая по принятому критерию окажется оптимальной. С изменением взаимоположения потребителя и используемых низкоорбитальных искусственных спутников Земли средства математического обеспечения определяют необходимость в привлечении дополнительных спутников или в формировании рабочего созвездия вновь. Математическое обеспечение оценивает качество априорной навигационной информации и в соответствии с этим назначает ту или иную схему поиска сигналов. В зависимости от текущей потребности в уточнении определенных составляющих оцениваемого вектора состояния принимается решение об использовании того или иного числа низкоорбитальных искусственных спутников Земли.

Математическое обеспечение предусматривает адаптацию алгоритмов вторичной обработки к маневрам (динамике) потребителя, к изменению поля помех и к иным изменениям условий применения аппаратуры.

1.3. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Процедуры вторичной обработки представляют собой следующий набор задач (рис. 1), включение которых регулируется управляющим алгоритмом.

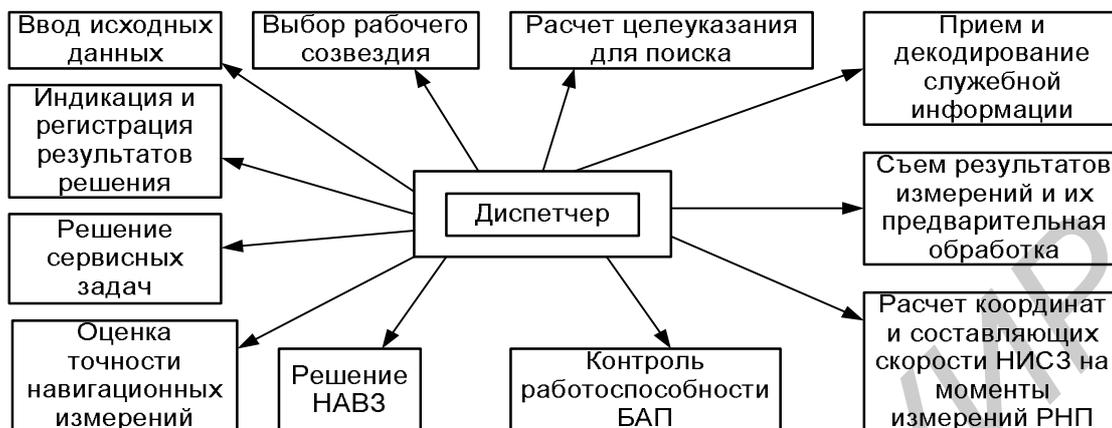


Рис. 1. Взаимодействие управляющего алгоритма (диспетчера) вторичной обработки информации с блоками программного обеспечения:

НАВЗ – навигационно-временная задача; БАП – бортовая аппаратура потребителей;

НИСЗ – навигационный искусственный спутник Земли;

РНП – радионавигационный параметр

Говоря о задачах вторичной обработки информации, имеют в виду те частные алгоритмы, имеющие самостоятельную формулировку, которые используются для организации различных видов функционирования аппаратуры.

Сеть низкоорбитальных спутников Земли типа «Глонасс» или «Навстар» обеспечивает непрерывную наблюдаемость (при 24-спутниковом комплекте) в любой приземной точке от 5 до 11 низкоорбитальных спутников Земли.

Для решения пространственной навигационно-временной задачи по результатам измерений псевдодальностей и радиальных псевдоскоростей требуются минимум четыре спутника, которые выбираются по определенному правилу.

В каждом канале аппаратуры потребителей в режиме слежения за узкополосным навигационным радиосигналом каждую секунду измеряются два навигационных параметра – псевдодальность и радиальная псевдоскорость.

Псевдодальность от объекта до навигационного космического аппарата измеряется в аппаратуре потребителей посредством измерения сдвига принимаемой псевдослучайной последовательности относительно опорного сигнала в

навигационной аппаратуре потребителей. Радиальная псевдоскорость объекта относительно космического аппарата определяется посредством измерения сдвига несущей частоты принимаемого навигационного радиосигнала относительно частоты опорного сигнала в аппаратуре потребителей. Опорный сигнал в навигационной аппаратуре потребителей формируется с использованием кварцевого генератора.

Предполагается, что бортовая аппаратура потребителей позволяет проводить либо одновременные измерения по четырем низкоорбитальным спутникам Земли (многоканальный вариант), либо последовательные (одноканальный вариант). До измерений необходимо организовать поиск сигналов, для ускорения которого используются априорные данные о положении объекта и низкоорбитальном спутнике Земли, захват сигналов и слежение за ними, а параллельно с измерениями – провести прием и декодирование служебной информации.

Для компенсации ионосферной и тропосферной рефракции следует использовать результаты измерения на двух частотах, а также соответствующие поправки. Результаты измерений надлежит также скорректировать в соответствии со значениями поправок к штурманским расчетам и к частоте генератора каждого низкоорбитального спутника Земли, передаваемыми в кадре сигнала. Переданные в кадре значения альманаха позволяют рассчитать координаты спутников, что используется как при выборе рабочего созвездия, так и при формировании указаний на поиск сигналов. Координаты и составляющие скорости низкоорбитального спутника Земли на моменты снятия результатов измерений вычисляются по принятым в составе служебной информации эфемеридам в результате краткосрочного прогноза движения низкоорбитального спутника Земли. Для решения собственно навигационной задачи можно применять процедуры обработки как по полным выборкам, так и по выборкам нарастающего объема. Для определения надежности навигационного сеанса следует оценить точность навигационных определений.

Выбор рабочего созвездия преследует цель определения номеров тех спутников, с которыми целесообразна работа в течение ближайшего интервала времени.

В качестве исходных данных используется информация обо всех спутниках из альманаха, а также о местоположении (априорном) потребителя и текущем времени. Альманах при этом может вводиться в память ЭВМ автоматически из внешнего запоминающего устройства или вручную оператором с пульта. Текущие параметры движения спутников находятся путем пересчета данных альманаха на текущий момент времени. В результате выбираются четыре наиболее приемлемых основных спутника и несколько запасных.

При прогнозе радионавигационного параметра вычисляются ожидаемые (прогнозируемые) значения радионавигационных параметров по имеющимся (априорным) координатам потребителя и по прогнозируемому положению навигационного спутника. Решение задачи подготавливает указания для поиска сигнала, причем в зависимости от точности указаний поиск может проводиться различными путями.

При приеме и декодировании служебной информации обеспечивается помехоустойчивый прием, обработка и перемасштабирование служебной информации, а также дальнейшая передача ее в соответствующие массивы памяти ЭВМ. При приеме служебной информации можно сформировать альманах и выделить эфемериды (а также поправки, передаваемые в кадре) обрабатываемого спутника по любой компоненте радиосигнала.

Краткосрочный прогноз эфемерид предназначен для расчета предельно точных значений координат и составляющих вектора скорости соответствующего спутника на моменты измерений. Исходными для решения этой задачи являются данные о номере спутника и заданном моменте времени, а также извлеченные из служебной информации координаты и составляющие скорости данного спутника (эфемериды) на ближайший узловой момент времени.

Формирование массива измерений проводится в процессе съема результатов измерений псевдодальности и радиальной псевдоскорости (или приращения дальности) с соответствующих цепей слежения за параметрами радиосигнала. При этом измеренные значения корректируются сообразно переданным в кадре сигнала частотным поправкам и поправкам к бортовой шкале времени спутни-

ка, а также корректируются на приобретенные в процессе распространения радиосигнала сдвиги информативных параметров.

Для решения навигационно-временной задачи используются исходные данные в виде измеренных радионавигационных параметров (уточненных с использованием поправок, извлекаемых из служебной информации, и алгоритмов учета ионосферной и тропосферной рефракций), результатов краткосрочного прогноза эфемерид, данных от автономной навигационной системы, а также соответствующих управляющих логических и временных признаков. По существу навигационно-временная задача может распадаться на несколько самостоятельных задач. Например, когда АП используется совместно с АНС, корректируя результаты счисления пути на основе данных от АНС, задача радионавигационных определений решается независимо от задачи счисления, но результаты радиоопределений используются затем в задаче коррекции счисления.

При решении сервисных задач вычисляется совокупность навигационных величин для визуальной индикации на дисплей по указанию оператора. Содержание визуальной информации определяется назначением АП и зависит от особенностей использования носителя. Исходными данными для решения сервисной задачи являются пространственные координаты, составляющие вектора скорости, фиксируемые в преимущественной системе координат, поправка к бортовой шкале времени, а также координаты поворотных пунктов маршрута. В результате решения этой задачи выдаются различные (в зависимости от необходимости) данные: вертикальная составляющая скорости, путевая скорость, путевой угол, азимут на поворотные пункты маршрута, расстояние до поворотных пунктов маршрута и время полета до него, боковое смещение от заданной трассы полета и т.п.

На рис. 1 показано, что диспетчер вторичной обработки информации (ВТО) управляет также решением задачи оценки точности определений, которая помогает оператору оценивать качество навигационно-временного обеспечения. Наряду с этим диспетчер обеспечивает ввод исходных данных, индикацию регистрируемых данных, а также организует контроль за работоспособностью соответствующей части аппаратуры потребителей.

Основной задачей, решаемой на этапе вторичной обработки, является задача навигационно-временного определения, т.е. определения на основании полученных на первом этапе оценок радионавигационных параметров и соответствующих навигационных функций вектора состояния потребителя. Кроме того, программа вторичной обработки содержит блоки управления первичной обработкой, вводом и выводом необходимой информации, а также программы для решения сервисных задач.

Перечислим основные этапы решения навигационно-временной задачи.

1. Выбор рабочих навигационных космических аппаратов, т.е. определение номеров радиовидимых в течение ближайшего интервала времени навигационных космических аппаратов. В качестве исходных данных используется информация из альманаха спутниковой радионавигационной системы.

2. Прогноз ожидаемых значений радионавигационных параметров и подготовка указания для поиска сигналов навигационных космических аппаратов (НКА). В качестве исходных данных используют результаты прогноза положения навигационных космических аппаратов, а также априорную информацию о положении потребителя (при наличии таковой).

3. Краткосрочный прогноз эфемерид для предельно точных расчетов значений координат и составляющих вектора скорости навигационного космического аппарата на момент измерений. Исходные данные для задачи – номера рабочих НКА и моменты времени измерений, а также оперативная служебная информация по НКА на ближайший узловой момент времени.

4. Формирование массива измерений. Проводится со скоростью считывания измерений псевдодальностей и радиальной псевдоскорости соответствующих схем слежения за параметрами радиосигнала. При решении этой задачи измеренные значения навигационных параметров корректируются с учетом поправок из служебной информации навигационного космического аппарата и данных двухчастотных измерений для компенсации ионосферной погрешности; могут использоваться также данные дифференциальной коррекции.

Дифференциальная коррекция – это метод, который значительно уве-

личивает точность собираемых GPS данных. В этом случае используется приёмник, расположенный в точке с известными координатами (базовая станция), а второй приёмник собирает данные в точках с неизвестными координатами (передвижной приёмник).

Данные, полученные в точке с известными координатами, используются для определения ошибок, содержащихся в спутниковом сигнале. Затем информация с базовой станции обрабатывается совместно с данными передвижного приёмника с учётом ошибок, содержащихся в спутниковом сигнале, что позволяет устранить ошибки в координатах, полученных на передвижном приёмнике. Точность, получаемая в результате дифференциальной коррекции, напрямую зависит от точности определения координат базовой станции.

5. Собственно задача навигационно-временного определения, т.е. расчет пространственных координат и составляющих вектора скорости, а также определение текущего времени в системах отсчета спутниковой радионавигационной системы и потребителя. Для решения этой задачи используются исходные данные в виде уточненных измеренных радионавигационных параметров, результатов краткосрочного прогноза эфемерид, данные других средств навигации.

6. Прием и обработка навигационной информации. Задача обеспечивает формирование и обновление данных альманаха, эфемерид и других поправок, передаваемых в кадре служебной информации за период сеанса для каждого рабочего навигационного космического аппарата.

1.4. УПРАВЛЯЮЩИЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Управляющий алгоритм обеспечивает совместное функционирование первичной и вторичной обработок. Он включает в определенной последовательности те или иные задачи обработки, регулирует обмен информацией между первичной, вторичной обработками и взаимодействующими системами и устанавливает подрежимы работы по сложившейся обстановке.

Представление о функциях управляющего алгоритма дает его обобщенная схема на рис. 2.

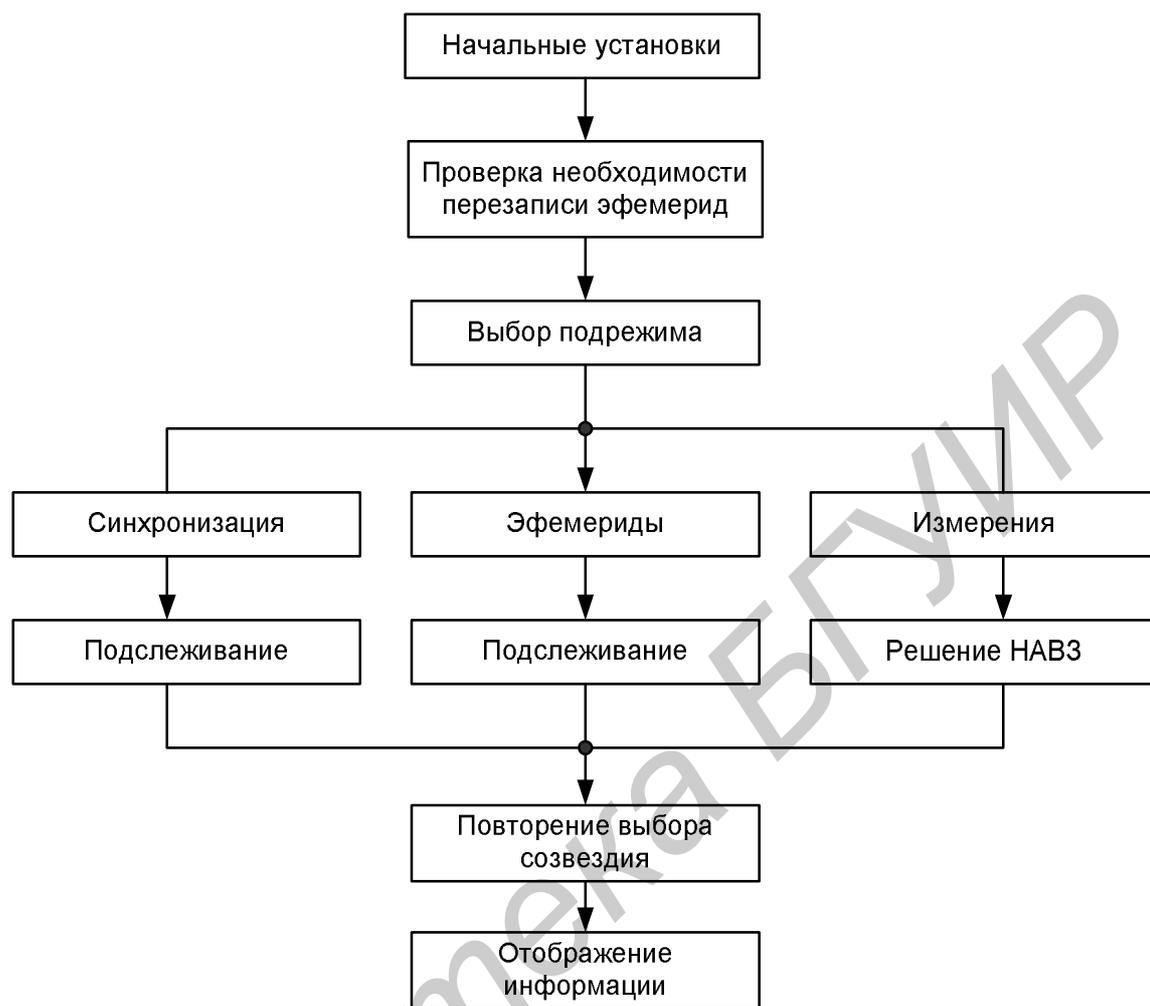


Рис. 2. Алгоритм, управляющий подрежимами

Блок «Начальные установки» предназначен для организации начального запуска рабочего режима. Он включается однократно при установке аппаратуры потребителей в данный режим. Управляющий алгоритм обращается к этому блоку для установки нужных признаков и массивов информации, а также для проверки полноты ввода начальных данных, в том числе альманаха. Если в результате анализа готовности обнаружился недостаток в исходных данных, дальнейшая программа не отработывается.

Необходимо отметить, что те задачи, которые решаются оперативно в каждом навигационном цикле, отработываются сосредоточенно во времени и с наименьшей его затратой. В то же время ряд задач, результаты которых

используются не в каждом навигационном цикле, могут решаться распределенно во времени, но частями, занимая в каждом навигационном цикле его небольшие свободные участки. Таким образом, первые задачи условно относят к оперативным, вторые – к фоновым.

В результате проверки полноты ввода начальных данных алгоритм формирует задачу выбора рабочего созвездия (с пересчетом альманаха на данный момент времени). Так как в дальнейшем такая проверка может производиться одновременно с установившимся режимом навигационных определений, то эта задача решается как фоновая. Решение завершается формированием массива данных о рабочих спутниках.

Следующий блок – «Проверка необходимости перезаписи эфемерид» предназначен для проверки необходимости перезаписи. В этом блоке анализируется текущее время, фиксируются моменты, кратные интервалу обновления эфемерид, и устанавливаются признаки обновления, в результате чего в процессе первичной обработки из кадра каждого используемого спутника будут выделены новые эфемеридные массивы.

Так как комплекты эфемеридных данных рассчитываются на некоторые узловые моменты времени и закладываются в кадр привязанными к этим моментам, то содержание их сменяется при наступлении очередных узловых моментов.

В сетевой спутниковой радионавигационной системе «Глонасс» эфемеридная информация оперативно обновляется каждые 30 мин. В моменты, кратные получасу, в кадре произойдет смена эфемерид и некоторой служебной информации. Значит, и в аппаратуре потребителей надлежит заменять ранее принятые эфемериды используемых спутников.

Блок «Выбор подрежима» анализирует состояние первичной обработки и по результатам этого анализа устанавливает один из подрежимов: «Синхронизация», «Эфемериды» или «Измерения».

Подрежим «Синхронизация» используется тогда, когда не все включенные в рабочее созвездие спутники засинхронизированы. При этом проводится поиск и захват сигнала спутника, после чего он регистрируется как «засинхронизированный».

Затем первичная обработка переводится в подрежим «Эфемериды», если только не проводилась синхронизация временно потерянного спутника, эфемериды которого уже имеются. На подрежим «Эфемериды» диспетчер выводит первичную обработку в двух случаях:

1) после синхронизации каждого нового спутника, привлекаемого к навигационной работе;

2) при наступлении очередного узлового момента смены эфемеридной информации. В этом случае перезаписывается эфемеридная информации по всей группе используемых спутников.

С завершением обновления эфемерид первичная обработка, как правило, переводится в подрежим измерений. Если же за это время какой-то спутник оказался потерянным, для возобновления режима слежения за его сигналом диспетчер включает вновь подрежим синхронизации.

Для одноканальной аппаратуры характерна последовательная циклическая обработка сигналов четырех спутников. В установившемся подрежиме «Измерения» следящие системы сохраняют сопровождение сигналов каждого из спутников. Однако в более продолжительных подрежимах («Синхронизация» и «Эфемериды») возникает опасность потери слежения за сигналами. Для предотвращения срыва синхронизации в этих подрежимах может применяться процедура «Подслеживание», состоящая в том, что после окончания работы с каждым последующим спутником проводится подслеживание всех ранее синхронизированных сигналов.

В подрежиме «Измерения» проводятся навигационные определения. Сначала анализируется число засинхронизированных спутников. При полном их наборе решается навигационно-временная задача (НАВЗ), а при недостатке диспетчер возвращает подрежим «Синхронизация». В зависимости от класса и назначения аппаратуры потребителей переход к решению навигационно-временной задачи происходит при наличии трех или четырех засинхронизированных спутников. Решение этой задачи может содержать только радионавига-

ционные определения или наряду с радионавигационными определениями также счисление и коррекцию координат.

Со временем возникает необходимость смены рассматриваемого созвездия. Блок «Повторение выбора созвездия» анализирует качество рабочего созвездия и при необходимости повторяет решение задачи.

Блок «Отображение информации» обеспечивает выдачу на дисплей той информации, которая должна отображаться для установленного режима использования аппаратуры потребителей.

Приоритетность выполнений отдельных операций устанавливается адресными прерываниями, которые имеют несколько временных уровней.

1.5. ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА УПРАВЛЯЮЩЕГО АЛГОРИТМА

Структура математического обеспечения бортовой аппаратуры потребителей включает типовой набор блоков, обеспечивающих процесс навигационных определений и решения сервисных задач. В принципе возможна такая схема вычислений, когда на каждом измерительном цикле включаются в работу все блоки алгоритмов. Однако далеко не все бортовые вычислители располагают требуемыми для этого возможностями, кроме того нет необходимости в задействовании всех блоков при каждом навигационном определении. Ввиду этого отдельные блоки математического обеспечения вводятся диспетчером в действие с различной периодичностью, причем расчеты по алгоритмам этих блоков могут выполняться как последовательно во времени, так и параллельно. Функционирование алгоритма во времени задается его временной диаграммой.

На временной диаграмме указывается последовательность выполнения операций: ввода исходных данных; приема и обработки служебной информации различных категорий; выбора рабочего созвездия; набора измерений; расчета координат и скорости низкоорбитального искусственного спутника Земли на моменты измерений; решения навигационно-временной задачи и сервисных задач; контроля работоспособности и оценки точности. Наряду с этим временная диаграмма распределяет блоки алгоритма и их части либо по параллель-

ным ветвям вычислений, либо по одной последовательной ветви. На каждой ветви блоки алгоритма и их части размещаются так, чтобы реализовать требуемую периодичность расчетов при условии наибольшего уплотнения временной оси и соблюдения приоритета отдельных вычислений.

Представление о принципе формирования временной диаграммы дает рис. 3, где в стилизованном виде показаны частные временные диаграммы, отражающие требуемую периодичность отработки наиболее важных блоков алгоритма: альманаха (а), оперативных эфемерид (б), выбора рабочего созвездия (в), обработки измерений (г), расчета координат и скоростей низкоорбитальных спутников Земли (д) и решения навигационно-временной задачи (е).

Переносом частных временных диаграмм на общую временную ось при учете технических характеристик вычислителя (число процессоров, разрядность, быстродействие, объем памяти), а также заданных приоритетов отработки блоков компонуют временную диаграмму функционирования алгоритма в целом.

Основной вариант временной диаграммы представляет собой программу жесткого типа. Однако диспетчер должен располагать возможностями гибкого оценивания содержания перерабатываемой информации и способностью адаптировать временную диаграмму к конкретным условиям навигационного сеанса.

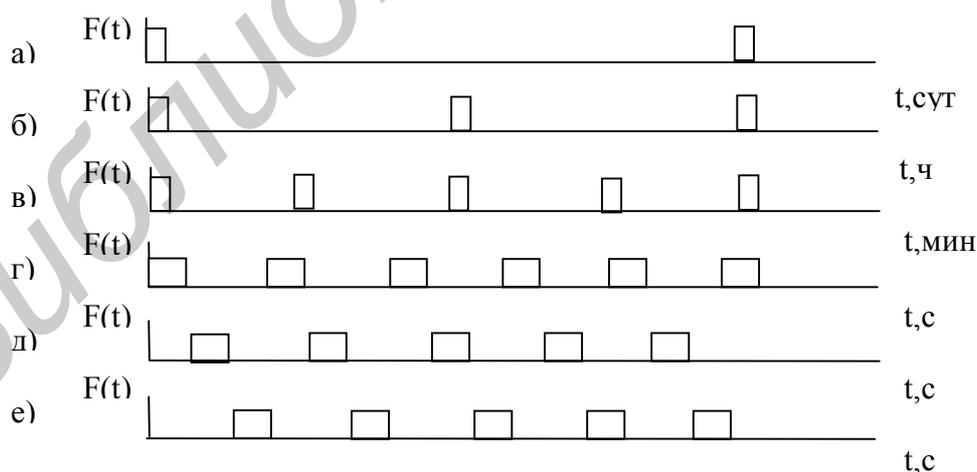


Рис. 3. Частные временные диаграммы

1.6. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Цикл проектирования аппаратуры, содержащей программное обеспечение и аппаратные средства, представлен на рис. 4. Проектирование навигационной аппаратуры потребителей начинается с определения набора требований и построения функциональных спецификаций, вытекающих из требований пользователей. До последнего времени создание спутниковых радионавигационных систем осуществлялось в соответствии с требованиями, определяемыми их первоначальным целевым значением. Общими при этом были качественные требования глобальности, независимости от гидрометеорологических условий, подстилающей поверхности, рельефа, окружающей растительности, застройки, времени суток и года, ограниченной пропускной способности канала, практической независимости от высоты над поверхностью земли, высокой помехозащищенности и других условий. Изучение потребностей гражданских пользователей тоже указывает на необходимость иметь эти свойства. Однако использование спутниковых радионавигационных систем в интересах местоопределения и навигации гражданских объектов выдвигает и новые требования, в ряде случаев более высокие количественные требования, вытекающие из необходимости обеспечения безопасности и экономичности движения.



Рис. 4. Схема создания программного обеспечения

Могут потребоваться также решения специальных задач: наблюдение, аэрофотосъемка, поиск полезных ископаемых, поиск и спасение терпящих бедствие транспортных средств и людей. Специфическими также являются требования к точностным характеристикам, например, к среднеквадратичным ошибкам определения некоторых параметров и к показателям надежности навигационного обеспечения. Под последними понимаются требования:

1) доступности (готовности), мерой которой являются вероятности работоспособности радионавигационных систем перед и в процессе выполнения той или иной задачи;

2) целостности, мерой которой является вероятность выявления отказа в течение времени, равного или менее заданного;

3) непрерывности обслуживания, мерой которой служит вероятность работоспособности системы в течение наиболее ответственных отрезков времени движения (выполнения задачи).

Требования к навигационному обеспечению различных гражданских объектов учитывают положения документов таких международных организаций, как Международная организация гражданской авиации, Международная морская организация, а также ряд национальных радионавигационных планов других стран, например России, США.

Требования к навигационному обеспечению воздушных судов определяются, в первую очередь, необходимостью обеспечения безопасности полетов воздушных судов в условиях сложившейся структуры деления воздушного пространства. В соответствии с этим рассматриваются различные этапы полета, такие, как полеты по трассам, воздушным линиям, вне трасс, в аэродромной и аэроузловой зоне, взлет, заход на посадку и посадка. Кроме того, рассматривается движение по взлетно-посадочной полосе.

Требования к навигационному обеспечению морских судов вытекают из необходимости обеспечения безопасности и экономичности плавания. Они зависят от районов и этапов судовождения: в открытом море (океане); в прибрежной зоне (на удалении менее 50 миль от берега); при входе в порты и гавани, в акваториях портов.

Международные требования к точности и надежности навигационного обеспечения морских судов в зависимости от района плавания определяются Международной морской организацией. Требования к навигационному определению судоходства при входах в порты, гавани, в акваториях портов определяются соответствующими национальными администрациями. Требования к навигационному обеспечению судов речного флота, к доступности радионавигационных систем зависят от района плавания.

Требования к навигационному обеспечению наземных объектов, к которым относятся автомобильные и железнодорожные транспортные объекты, определяются исходя из критериев решения тех или иных задач, реализуемых при использовании соответствующих технологий контроля и управления транспортными процессами.

Общие требования потребителей детализируются в ряде документов, издаваемых международными организациями.

Требования к частотно-временному обеспечению систем связи и других систем пока не обобщены соответствующими государственными органами, как и требования к обеспечению точности определения места. В то же время существует потребность в получении информации о точности времени, а также высоко стабильных частотных эталонов.

Системные спецификации определяют функции, которые может выполнить аппаратура. Они включают, в частности, описание форматов, как на входе, так и на выходе, а также внешние условия, управляющие ее действиями. Таким образом, функциональные спецификации уточняют, насколько проектируемая аппаратура соответствует предъявляемым требованиям.

Следующим шагом является проектирование аппаратуры на основании функциональных спецификаций. Для аппаратуры, содержащей вычислитель, требуются как программные, так и аппаратные средства. Разработку программного обеспечения целесообразно начинать на языке проектирования, который подобен естественному языку, и только затем – преобразовывать язык проектирования в язык программирования вычислителя.

Одним из основных факторов повышения надежности и снижения сложности программного обеспечения является применение методологии системного проектирования. Эта методология кроме применения языка проектирования предполагает использование методов нисходящего и модульного проектирования. Метод нисходящего проектирования состоит в разбиении программного обеспечения на функциональные модули, а модулей – на процедуры.

Использование этого метода приводит к построению функционально-модульной структурной схемы программного обеспечения. Определение уровня модуля в структурной схеме подчиняется двум правилам: любая процедура может быть вызвана либо процедурой, принадлежащей более высокому уровню, либо процедурой из того же самого модуля.

Разработка программного обеспечения с использованием модульной структуры облегчает написание программы, ее отладку, тестирование и модификацию. Основными недостатками модульного принципа являются дополнительные время расчетов и память вычислителя.

После отладки программное обеспечение тестируется и объединяется с аппаратной частью и единое целое, после чего оцениваются эксплуатационные характеристики аппаратуры.

Один из важных факторов проектирования аппаратуры – наличие четкой и полной документации. Состав документации для полного цикла проектирования может быть представлен в следующем виде:

- 1) требования пользователей и функциональные спецификации;
- 2) проектная документация системы;
- 3) программная документация;
- 4) план объединения;
- 5) план отладки аппаратных средств;
- 6) техническая документация.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Перед выполнением теста необходимо подробно ознакомиться с теоретическими сведениями.

Для выполнения теста запустите программу и выберите главу, с которой желаете начать тестирование, затем нажмите кнопку **Далее**. После изучения теории нажмите кнопку **Тест** и последовательно ответьте на представленные вопросы. Будьте внимательны при ответе на них! После того, как дан ответ на вопрос и нажата кнопка **Далее**, ответ будет засчитан. Возврат и исправления исключаются. Результат теста выводится после выполнения лабораторной работы автоматически. После завершения теста нажмите кнопку **Выход**.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 3.1. Титульный лист и цель работы.
- 3.2. Список вопросов, указанных в лабораторной работе, с ответами.
- 3.3. Анализ результатов и выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич [и др.]; под ред. И. С. Шебшаевича. – 2-е изд. – М. : Радио и связь, 1993.
2. Гольдштейн, Б. С. Сигнализации в сетях связи / Б. С. Гольдштейн. – М. : Радио и связь, 1999.
3. Гольдштейн, Б. С. Протоколы сети доступа / Б. С. Гольдштейн – М. : Радио и связь, 1999.
4. Лихтциндер, Б. Я. Интеллектуальные сети связи / Б. Я. Лихтциндер [и др.]. – М. : ЭКО-Трендз, 2000.
5. Крестьянинов, С. В. Интеллектуальные сети и компьютерная телефония / С. В. Крестьянинов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2001.
6. Кульгин, М. Ю. Технология корпоративных сетей. Энциклопедия / М. Ю. Кульгин. – СПб., 2000.
7. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб., 2000.
8. Назаров, А. Н. АТМ технология и практика измерений / А. Н. Назаров, М. В. Симонов. – М. : ОКО-Трендз, 1999.
9. Алишев, Я. В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Ч.2. Волоконно-оптические интегральные и интеллектуальные сети связи : учеб. пособие / Я. В. Алишев. – Минск : БГУИР, 1996.
10. Якубайтис, Э. А. Открытые информационные сети / Э. А. Якубайтис. – М. : Радио и связь, 1991.
11. Бакланов, И. Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов. – М. : ОКО-Трендз, 1999.

12. Саммерс, Ч. Высокоскоростное цифровое соединение с сетью ИНТЕРНЕТ / Ч. Саммерс, Б. Дюнц. – М. : Радио и связь, 1998.

13. Чуров, Е. П. Спутниковые системы радионавигации / Е. П. Чуров. – М. : Сов. радио, 1977.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе
по курсу «Сетевые технологии и сигнализация
в системах телекоммуникаций»
для студентов специальностей I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»
и I-45 01 05 «Системы распределения мультимедийной информации»
всех форм обучения

Составители:

Астровский Иван Иванович
Земляков Алексей Леонидович

Редактор М. В. Тезина
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 29.03.2007.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 1,74.
Заказ 5.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6