

УДК 621.396.98.629 783

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНО- СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. С. Богданов,

канд. техн. наук, ведущий науч. сотрудник

В. Д. Кедров,

канд. техн. наук, начальник лаборатории

А. М. Тазьба,

главный специалист

Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦНИИ "Гранит"»

Рассматриваются некоторые вопросы построения высокоточной, надежной и сравнительно недорогой навигационной системы, которая может обеспечить всей необходимой пилотажной и навигационной информацией системы управления воздушных, морских и наземных движущихся объектов различного назначения.

Some problems of the construction of high-accuracy, reliable and comparatively cheap navigation system able to provide control systems of air, naval and ground-based moving objects of different destination with all necessary flight and navigation information are examined.

В 1992 году на базе навигационного отдела ЦНИИ «Гранит» было создано АОЗТ «Гранит-16», которое одним из первых в нашей стране избрало в качестве основного направления своей деятельности разработку перспективной инерциально-спутниковой бесплатформенной навигационной системы (НС) (на базе лазерных гироскопов разработки НПО «Полус», Москва, и аппаратуры спутниковой навигации американских фирм «Trimble» и «Ashtech») для различных воздушных, морских и наземных движущихся объектов (ДО).

К настоящему времени несколько комплектов разработанной системы НСИ-2000 находятся в опытной эксплуатации на самолетах гражданской авиации, и на базе перспективных элементов создается НС, отличающаяся высоким уровнем интегрирования инерциального и спутникового измерителей и новыми техническими характеристиками.

Идеи интегрирования систем (направленные на повышение качества работы каждой входящей системы благодаря использованию в них текущей информации другой системы) являются дальнейшим развитием идей комплексирования выходной информации измерительных систем.

Для эффективной эксплуатации НС требуется, в первую очередь, высокая точность определения всего необходимого объема навигационных параметров, достаточная надежность и длительность

непрерывной работы системы. Кроме того, немалую роль играют массогабаритные характеристики, энергопотребление, ресурс работы и стоимость аппаратуры.

Сравнительный анализ основных требований к НС беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и самолетов показывает, что такие НС имеют много общих характеристик и могут проектироваться как аппаратура двойного назначения, что позволяет достигнуть дополнительного экономического эффекта в таких разработках.

Информационной основой НС по-прежнему выбрана инерциальная навигационная система (ИНС) как вследствие ее свойств автономности и помехозащищенности, так и в связи с тем, что она является единственным измерителем, вырабатывающим полный объем динамически точной пилотажной и навигационной информации для решения всех задач управления ДО.

Учитывая требования к диапазонам возможных изменений углов курса, тангажа и крена, простоту конструкторской реализации и достижение при этом минимальных объемов, занимаемых аппаратурой, а также сравнительную дешевизну изготовления, выбран бесплатформенный (бескарданный) вариант ИНС (БИНС).

Обеспечение высоких требований к точности определения выходных параметров НС требует ис-

пользования информации от другого высокоточного измерителя навигационных параметров, ошибки которого, в отличие от ошибок автономной БИНС, практически не зависят от длительности работы.

В качестве такого измерителя в связи с перспективой постепенного введения в строй спутниковых навигационных систем НАВСТАР (GPS), ГЛОНАСС, WAAS и EGNOS предлагается использовать аппаратуру спутниковой навигации (АСН), которая вырабатывает со сравнительно низкой частотой информацию о географических координатах и скорости ДО. Однако АСН не вырабатывает информацию об угловой ориентации ДО, что не позволяет использовать ее непосредственно для управления и стабилизации. АСН подвержена естественным и организованным помехам и не может в настоящее время быть основным пилотажно-навигационным средством.

Для создания ИС с требуемыми характеристиками предлагается использовать интегрированную инерциально-спутниковую навигационную систему (ИСНС), в которой обмен текущей информацией и оптимальная совместная обработка информации БИНС и АСН позволяют не только вырабатывать требуемый объем выходных данных, но и сохранять высокую точность ИС даже при значительных перерывах в поступлении информации от АСН.

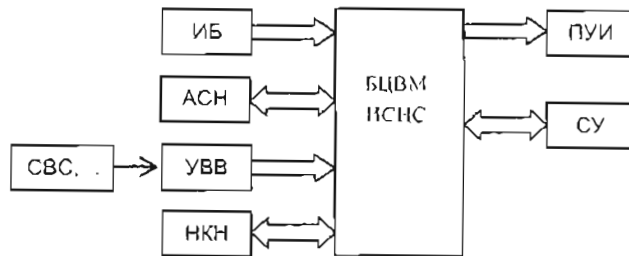
В настоящее время различают несколько уровней интеграции измерительных систем. Наиболее эффективная («высокая») интеграция инерциальной и спутниковой навигационных систем должна осуществляться на конструктивном и функциональном уровнях.

- инерциальная и спутниковая навигационные системы могут иметь общие навигационный процессор, вторичные источники питания, некоторые другие устройства и конструктивно выполняться как единое целое, что максимально уменьшает объем, энергопотребление и стоимость аппаратуры;

- съем информации с инерциальных чувствительных элементов и с АСН может быть аппаратно синхронизирован во времени, что устраняет обычно возникающие погрешности системы в результате несинхронности съема информации,

- в АСН может непрерывно вводиться динамически точная информация от БИНС для повышения устойчивости работы АСН, снижения вероятности и уменьшения длительности перерывов в получении информации от АСН.

На некоторых ДО имеются иные навигационные измерители, например, система воздушных сигналов (СВС), радиовысотомер. В рассматриваемой ИСНС предусматриваются дискретные и аналоговые устройства ввода-вывода для реализации возможности использования выходной информации таких измерителей. Предусматривается также получение по кодовой магистрали информации от навигационного комплекса носителей (НКН) для проведения калибровки чувствительных элементов (ЧЭ) и начальной выставки БИНС перед стартом с движущегося носителя.



■ Структурная схема ИСНС

В соответствии со структурной схемой (см. рис.) в ИСНС входят: инерциальный блок (ИБ) БИНС, БЦВМ, АСН и для пилотируемых ДО пульт управления и индикации (ПУИ).

В качестве инерциальных чувствительных элементов (ЧЭ), в соответствии с тенденциями развития и состоянием освоения отечественной промышленностью новой элементной базы, приняты волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) и кремниевые акселерометры.

По заключению специализированных фирм, при сопоставимых технических параметрах наиболее технологичными и дешевыми инерциальными ЧЭ являются кремниевые акселерометры и волоконно-оптические гироскопы, с которыми по себестоимости в серийном производстве не могут конкурировать лазерные и динамически настраиваемые гироскопы. Поэтому ЦНИИ «Гранит» поддерживает развитие этих чувствительных элементов.

ИБ построен на базе трех ВОГ, имеющих случайную составляющую скорости дрейфа в запуске не более 0,1 угл. мин/мин, и трех кремниевых акселерометров, имеющих случайное смещение «нулевого» сигнала не более $3 \cdot 10^{-4}g$, с необходимой для их функционирования электроникой.

В качестве АСН на ближайшую перспективу наиболее эффективным представляется использование приемников, работающих по комбинированным созвездиям СНС GPS, ГЛОНАСС, WAAS и EGNOS. В настоящее время уже обеспечивается наличие в любом районе Земли достаточного количества навигационных спутников для выбора созвездия из необходимых для работы четырех-пяти навигационных спутников.

Для обеспечения требований по точности ИС могут быть применены естественные образцы АСН, которые позволяют измерять географические координаты и составляющие скорости ДО с максимальными погрешностями

Координаты местоположения, м 30,0
Составляющие скорости, м/с 0,2

Кроме того, в АСН может быть реализован «дифференциальный режим», позволяющий при точном знании географических координат точки установки контрольной АСН и передаче в ИС полученных поправок к определяемым параметрам обеспечить измерение координат ДО с максимальной ошибкой

7 – 10 м в радиусе 1000 км от места установки контрольной АСН.

Если среди используемых навигационных спутников есть спутники систем WAAS или EGNOS, то могут быть получены корректирующие поправки, обеспечивающие точность НС порядка 5 м без организации «дифференциального режима».

Дополнительные возможности повышения точности АСН могут быть реализованы при комбинированной обработке измерений по кодовым сигналам и по фазе несущей частоты.

Одной из основных задач, которую требуется решать в предлагаемой НС, является достижение высокой точности определения навигационных параметров при использовании ЧЭ средней точности, что позволит повысить надежность системы, сократить ее габаритные размеры и минимизировать стоимость системы. При этом основной упор делается на разработку соответствующего программно-математического обеспечения, реализация которого в БЦВМ в настоящее время не сдерживается техническими возможностями БЦВМ.

Основой функциональных алгоритмов ИСНС является единый алгоритм, представляющий собой алгоритм автономной БИНС, оптимальный фильтр Калмана высокого порядка и корректирующие (управляющие) связи от фильтра к БИНС (при этом БИНС становится корректируемой).

Структуру фильтра можно представить в виде двух взаимосвязанных фильтров, один из которых формирует оценки погрешностей БИНС, а второй – оценки погрешностей корректирующих средств. Вектор погрешностей БИНС содержит инструментальные погрешности ЧЭ инерциального блока и погрешности некоторых выходных величин БИНС.

Ввиду переменного во времени состава сигналов от корректирующих навигационных средств (перерывы в работе АСН, изменение режимов ее работы, проведение предполетной подготовки, включение/отключение барометрического высотомера или радиовысотомера и т. д.) фильтр должен иметь переменную структуру.

Такой подход к построению функциональных алгоритмов ИСНС позволяет сохранить достаточно высокую точность определения выходных параметров ИСНС при длительных перерывах в поступлении информации от АСН путем экстраполяции оценок инструментальных погрешностей ЧЭ на основе накопленных измерений.

Теоретические исследования, математическое моделирование и экспериментальные работы показали эффективность созданного комплекса алгоритмов ИСНС и средств его отработки.

Важные выводы были получены в результате анализа зависимости скорости сходимости оценок, производимых фильтром, от изменчивости фазового состояния ДО. При изменении путевой скорости или при совершении маневра погрешности по углам ориентации ДО и по составляющим путевой скорости выявляются и корректируются значительно быстрее, а вслед за этим ускоренно идентифицируются скоро-

сти дрейфа ВОГ и смещения нулевых сигналов акселерометров. Поэтому следует обеспечивать работу фильтра совместной обработки информации БИНС и АСН уже в процессе старта и послестартового маневрирования для БПЛА и при разгоне на взлетно-посадочной полосе – для самолетов. В связи с этим необходимо обеспечить быстрый выход АСН на рабочий режим измерений. Полезно использовать АСН носителя для передачи на ДО в процессе предполетной подготовки альманаха навигационных спутников и другой подготовительной информации.

Следует отметить, что использование АСН с быстрым выходом на режим измерения позволяет решить проблемные вопросы начальной выставки БИНС при старте с подвижного основания (авиационное и морское базирование), одновременно сократить время предполетной подготовки навигационной аппаратуры с обычных 2 – 7 мин до 10 – 30 с.

При использовании для коррекции БИНС участка старта эффективные оценки необходимых величин ИСНС получают через 100 – 200 с работы фильтра (в зависимости от требуемой точности). При этом среди погрешностей устраняются и ошибки калибровки и начальной выставки БИНС, производимых на носителе. Поэтому точность определения навигационных параметров практически не зависит от погрешностей навигационных комплексов носителей и от вида базирования ДО. Перед стартом вполне достаточно «грубой» выставки осей БИНС, что и позволяет сократить время предполетной подготовки навигационной аппаратуры.

Обсуждая результаты работы по созданию БИНС и ИСНС, проведенной в ЗАО «Гранит-16», необходимо отметить, что разработка навигационной аппаратуры как части разрабатываемых бортовых систем управления всегда была одним из важных тематических направлений работы ЦНИИ «Гранит». Более 30 лет назад вместе с появлением идей бесплатформенного построения инерциальных систем в институте стали разрабатываться теоретические предпосылки и обоснование возможностей создания БИНС. Реальное внедрение этих разработок в ОКР сдерживалось трудностями их технической реализации, особенно недостаточными возможностями вычислительных средств.

Исходя из требований к навигационным системам со стороны объектов, для которых они разрабатывались, в институте было обосновано и выбрано направление на использование ЧЭ средней точности, для которых организуется многоуровневая коррекция выходных сигналов, включающая учет паспортных данных, получаемых на заводе-изготовителе, предполетную калибровку ЧЭ, идентификацию и компенсацию в полете оставшихся погрешностей ЧЭ и системы в целом. Таким образом, основной упор делается не на сложные в изготовлении и дорогие прецизионные ЧЭ, а на программно-алгоритмические методы достижения требуемых точностей с ЧЭ средней точности путем комплексирования (интегрирования) инерциальных и радиотехнических измерителей. При этом учитывались перспективы быстрого развития ЦВМ и

различных радионавигационных корректирующих средств, в частности, систем спутниковой навигации.

За прошедшие годы это тематическое направление развивалось в ряде НИР, разработаны и внедрены несколько образцов инерциальных и инерциально-спутниковых систем для БИЛА и самолетов. При этом были установлены рабочие контакты с разработчиками перспективных ЧЭ и АСН. Это позволяет надеяться на создание в ближайшее время достаточно унифицированной высокоинтегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы с техническими характеристиками, соответствующими мировым стандартам.

Литература

1. **Бабич О. А.** Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991. – 511 с.
2. **Бортовые устройства спутниковой радионавигации** / Под ред. В. С. Шебшаевича. – М.: Транспорт, 1988. – 197 с.
3. **Базаров Ю. И., Пшеняник В. С.** Состояние ГЛОНАСС и разработки ее приемников для гражданских потребителей // V Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб., 1998. – С. 97–99.

ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Научно-практический журнал
Рецензируемое издание

Подписные индексы по каталогам «Роспечать»:
«Газеты и журналы» – № 15385, «Издания органов НТИ» – № 69291

Журнал прошел экспертизу у ведущих специалистов ВИНТИ и был признан соответствующим тематическому содержанию Реферативного журнала и баз данных ВИНТИ, реферируется в органах ВИНТИ.

Периодичность – каждые два месяца. **Тираж** – 1000 экз. **Распространяется** только по подписке в России и странах СНГ. Возможна подписка через редакцию по заявке (по почте, телефону, факсу или e-mail), по которой высылаем счет. **Высылаем** по Вашей просьбе (бесплатно) образец журнала для подписки. **Стоимость** годовой подписки (6 номеров) – 1800 руб. (включая НДС 18%), с добавлением стоимости доставки – 90 рублей по России и 300 рублей в страны СНГ.

Приглашаем к сотрудничеству специалистов по построению информационно-управляющих систем, системного анализа и обработки информации, моделирования систем и процессов, совершенствования информационных каналов и сред. Научные статьи, одобренные редколлегией, печатаются бесплатно. Рекламные – согласно расценкам (в рублях, включая НДС 20%):

Цветные полосы		Черно-белые полосы		Скидки при единовременной оплате	
1-я стор. обложки	15000	1 полоса А4	4000	2-х публикаций	10 %
2-я стор. обложки и каждая стр. вкладки	12000	1/2 полосы	2500	3-х публикаций	15 %
3-я стор. обложки	10000	1/2 полосы	1125	4-х и более	20 %
4-я стор. обложки	12000	1/8 полосы	800		

Примечание: при размещении цветного рекламного модуля не менее 1/2 страницы сопутствующая статья (1–2 страницы) печатается бесплатно

Требования к рекламным модулям. Принимаются оригиналы фотографий высокого качества и контрастности. Рекламные модули в файловом виде на компакт-дисках или присланные по e-mail в заархивированном виде (RAR, ZIP) с разбивкой на дискеты предоставляются только в форматах TIFF, JPEG, BMP (с разрешением не меньше 300 dpi), выполненные в программах Adobe Photoshop 5.0, Corel Draw 9 0, 10.0.