

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

П.М. Трефилов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: Petertrfi@gmail.com

Ключевые слова: бесплатформенная инерциальная навигационная система, навигация, ориентация, летательный аппарат, гироскоп, акселерометр, комплексы обработки информации.

Аннотация: В данной работе рассмотрены и проанализированы возможные способы увеличения точностных характеристик бесплатформенной инерциальной навигационной системы.

1. Введение

Одним из направлений развития авиации является разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Мировые тенденции, а также технический прогресс увеличивают спрос на использование БПЛА для достижения различных целей: доставка грузов, мониторинг различных территорий, аэрофотосъемка и многие другие. Возможность их выполнения обусловлена работой комплексных систем, способных решать задачи ориентации и навигации. На сегодняшний день определение параметров ориентации и навигации являются ключевыми при управлении БПЛА. Для получения навигационных параметров используются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), обладающее блоком чувствительных элементов – гироскопов и акселерометров. Такие системы способны решать задачи ориентации и навигации без применения внешних ориентиров или поступающих извне сигналов.

Основным достоинством БИНС является полная автономность, но при этом существенным недостатком является неограниченный рост погрешности, даже для статического объекта. С целью улучшения функциональных характеристик БИНС, а в частности увеличения точности, используются такие методы, как автокомпенсации инструментальных погрешностей приборов, использование структурной избыточности, алгоритмических методов компенсации погрешностей.

2. Сравнительный анализ БИНС по классам точности

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы широко применяются на различных динамических объектах – наземных, воздушных, подводных. Наиболее широко БИНС используется в авиации. Современные бесплатформенные инерциаль-

ные навигационные системы разделяются по уровню точности. Всего разделяют три вида – системы низкой, средней и высокой точности [1], характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Точностные характеристики БИНС.

	точность определения угла крена, тангажа град/час	Скорость накопления ошибки не превышает м/с
БИНС низкой точности	0,5 – 1	1 – 10
БИНС средней точности	0,1 – 0,5	0,5 – 1
БИНС высокой точности	0,01 – 0,1	0,01 – 0,5

Системы низкой точности применяются, в основном, для стабилизации полетных сценариев беспилотных авиационных систем малых габаритов, к примеру – квадрокоптер. В качестве чувствительных элементов (ЧЭ) применяют микромеханические гироскопы (ММГ) и микромеханические акселерометры (ММА).

Навигационные системы средней и высокой точности предназначены для решения задач ориентации и навигации. Точность определения координат достижима с применением таких ЧЭ, как волоконно-оптический гироскоп (ВОГ) и лазерный гироскоп (ЛГ). В качестве акселерометров в таких системах применяются компенсационные акселерометры маятникового типа. Так же существуют достаточно точные зарубежные микро электромеханические системы (МЕМС), объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты, но их стоимость существенно дороже относительно имеющихся на рынке датчиков широкого потребления.

3. Методы улучшения бесплатформенных инерциальных навигационных систем

Как было описано ранее основным недостатком БИНС является неограниченный рост погрешности. Для уменьшения ее роста разрабатываются более точные гироскопы, акселерометры, датчики угловой скорости. Из-за существующих малоэффективных ЧЭ рост погрешности с течением времени будет характерен для всех БИНС. Ключевыми способами по уменьшению возникновения погрешности являются физический и алгоритмический методы улучшения.

3.1. Физические методы улучшения БИНС

На сегодняшний день разделяют инерциальные навигационные системы на платформенные и бесплатформенные. Ключевым различием между ними является наличие или отсутствие карданова подвеса.

Достоинством платформенной инерциальной навигационной системы (ПИНС) является ее высокая точность и отсутствие необходимости пересчета из связанной системы координат в необходимую, а также высокая точность производимой предстартовой калибровки. Из основных недостатков можно отметить ограничение в измерении углов поворотным объектом, увеличенные массогабаритные характеристики (МГХ), усложнение конструкции, а также большая стоимость. Для возможности применения ПИНС при любых углах применяют карданов подвес с четырьмя степенями свободы, но это существенно усложняет конструкцию, что ведет к ее удорожанию и увеличению МГХ.

В бесплатформенной инерциальной навигационной системе отсутствует карданов подвес, то есть система жестко связана с летательным аппаратом.

Можно сказать, что на сегодняшний день осуществлен полный переход от платформенных инерциальных навигационных систем к бесплатформенным, так как они имеют ряд существенных преимуществ перед ПИНС, таких как [2]:

- неограниченные углы измерений
- высокая информативность;
- высокая надежность;
- высокая устойчивость к вибрационным и ударным воздействиям;
- меньшие масса-габаритные параметры;
- меньшее энергопотребление.
- универсальность системы, поскольку переход к определению тех или иных параметров навигации осуществляется алгоритмически [3].

Для уменьшения роста погрешности предложено решение [4], где объединены преимущества бесплатформенных и платформенных навигационных систем, тем самым наделяя инерциальную навигационную систему такими особенностями, как:

- небольшие МГХ;
- небольшая стоимость;
- неограниченные углы работ;
- высокая точность;
- помехозащищенность;
- возможность предстартовой калибровки.

Улучшения достигаются путем помещения БИНС на двухосную платформу с индикаторной гиросtabilизацией, где датчики угловой скорости БИНС одновременно применяются и в системе стабилизации приборной площадки, и в системе ориентации по схеме БИНС.

Подобное конструктивное решение позволило улучшить точностные характеристики навигационной системы, сохранив при этом приемлемые габаритно-массовые характеристики и стоимость, возможность совершения объектом неограниченных углов вращения и автономность работы системы управления.

К сожалению, данный метод не способен идеально устранить погрешность измерения из-за не идеальности карданового подвеса, наличия вязкого трения, а также шумов ЧЭ. Хоть этот метод и снизит скорость накопления погрешности, но не сведет ее к нулю.

3.2. Алгоритмические методы улучшения БИНС

Известные схемы компенсации погрешностей навигационных систем предполагают использование комплексирования с другими измерительными системами, обработку информации с помощью алгоритмов оценивания и прогнозирования. При функционировании ИНС в режиме коррекции от внешних измерительных систем обычно используется компенсация погрешностей с помощью алгоритмов оценивания. В автономном режиме работы применяется прогнозирование и последующая компенсация погрешностей в выходном сигнале системы [5].

В большинстве случаев показания БИНС корректируются спутниковыми навигационными системами (СНС). В отличие от БИНС спутниковые навигационные системы не имеют накапливающихся ошибок. Таким образом, формируя вектор корректирующих значений СНС возможно избежать постоянного накопления погрешности БИНС.

Работы по интегрированию БИНС и СНС ведутся уже достаточно давно, и в настоящее время сложилось представление о возможности комплексирования в следующих вариантах [6]:

- отдельная схема;

- слабо связанная схема;
- жестко связанная схема;
- глубоко интегрированная схема.

Принцип работы компенсации погрешности при использовании отдельной схемы заключается в периодическом перезапуске алгоритма БИНС с новыми начальными условиями координат и скорости, которые поступают от СНС. Такая коррекция позволяет компенсировать нарастающую со временем погрешность БИНС. Основным недостатком данной схемы является редкая периодичность корректирующих сигналов.

В слабо связанной схеме комплексирования БИНС и СНС работают независимо, используется независимый блок, отвечающий за коррекцию данных, полученных от СНС с помощью интегрального фильтра Калмана. Основным преимуществом является возможность корректировки СНС от предыдущих вычислений БИНС при потере сигнала от спутников. Основным недостатком является взаимная корреляция ошибок оценок на выходе фильтра спутникового приемника и их отличие от белых шумов.

В жестко связанной системе основной задачей БИНС является определение первичных параметров поступательного и вращательного движений. Измерения БИНС и СНС идут в общий измерительный блок, в котором реализован фильтр Калмана. Основными достоинствами данной системы является повышенная точность относительно отдельной и слабо связанной схем, отсутствие проблемы взаимной корреляции шумов измерений, а также отсутствие необходимой синхронизации работы БИНС и СНС, так как применяется общий формирователь тактовых частот. Ключевым недостатком в данной системе является ее низкий показатель надежности, так как выход из строя БИНС ведет за собой отказ работы системы в целом. Еще одним недостатком является необходимость в специальной аппаратуре потребителя.

Основное отличие глубоко интегрированной схемы от жестко связанной схемы заключается в том, что в интегральном фильтре Калмана вычисляя не только ошибки БИНС, но и оценки псевдодальностей и псевдоскоростей СНС. Главным достоинством данной системы является максимальная точность при максимально возможных компонентах вектора состояния. Можно отметить пониженное энергопотребление и ее компактность. Основным недостатком является сложный вектор состояния, который может состоять из 40 компонентов, что значительно увеличивает нагрузку на бортовой вычислитель.

4. Заключение

Для повышения точностных характеристик БИНС предлагается улучшение, как и физических, так и алгоритмических свойств. Применение ГИНС и алгоритмов комплексной обработки информации способны в разы увеличить точность БИНС. Так же необходимо усовершенствование существующих, и разработка новых ЧЭ.

Предлагается разработать ГИНС в различных схемах комплексирования для анализа полученных характеристик.

Также ведется разработка корректирующего устройства, основанного на техническом зрении. Алгоритм сбора и обработки данных сформирует такую информационную избыточность, при которой алгоритмы работы комплексной обработки информации смогут взаимозамещать ошибки СНС и БИНС.

Список литературы

1. Каперко А.Ф., Легостаев В.Л. Классификация элементов программно-технического комплекса бесплатформенной инерциальной навигационной систем.
2. Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Прилуцкий В.Е., Пономарев В.Г., Морев И.В., Скрипников С.Ф., Хмелевская М.И., Буравлев А.С., Кострицкий С.М., Фелоров И.В., Зуев А.И., Варнаков В.К. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе волоконнооптических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2014. № 1. С. 14-25.
3. Доросинский Л.Г., Богданов Л.А. Основы и принципы построения инерциальных навигационных систем // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.
4. Сбитенькова М.А. Гибридная инерциальная навигационная система // Труды МАИ. 2011. № 45.
5. Неусыпин К.А., Пролетарская В.А., Алексеева Е.Ю. Алгоритмические методы коррекции навигационных систем летательных аппаратов // Инженерный вестник. 2013.
6. Фокин Л.А., Щипицын А.Г. Методы пространства состояний в задаче синтеза // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2006. № 14. С. 148-149.