

РАБОТЫ А.И. КУХТЕНКО В ОБЛАСТИ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ И СИСТЕМ ИНЕРЦИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Важным направлением исследований, выполненных в Институте кибернетики АН Украины под руководством А.И. Кухтенко, явились работы в области инерциальной навигации и систем инерциального управления.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) определяют текущее местоположение подвижного объекта путем интегрирования уравнений движения материальной точки с использованием значений измеренных на его борту ускорений. Перед другими средствами навигации ИНС имеют ряд неоспоримых преимуществ, таких, как универсальность, автономность, помехозащищенность, особенно важных при использовании ИНС в качестве информационной составляющей автоматической системы управления.

Существенным моментом функционирования ИНС является построение и отслеживание базовой навигационной системы координат, в которой определяется местоположение объекта. Эта процедура реализуется с использованием результатов непосредственного измерения или косвенного определения параметров углового движения объекта. На начальном этапе практического воплощения идеи инерциальной навигации созданные ИНС имели платформенную конструкцию: базовая система координат материализовывалась и отслеживалась в виде гиросtabilизированной платформы с установленными на ней измерителями линейного ускорения (акселерометрами). В связи с существенным прогрессом в области электроники, гироскопического приборостроения и вычислительной техники все большее признание и распространение получила иная схема конструкции ИНС – бесплатформенная. Особенность этого варианта инерциальной системы, называемой бесплатформенной инерциальной навигационной системой (БИНС), – установка чувствительных элементов (гироскопов и акселерометров) непосредственно в корпусе объекта. Это приводит к совпадению приборных трехгранников БИНС со связанной системой координат объекта. Ориентация последней относительно базовой координатной системы находится путем численного интегрирования уравнений кинематики углового движения объекта с помощью бортового компьютера.

Реализация идеи БИНС потребовала решения ряда теоретических задач и проблем, связанных с алгоритмизацией интегрирования уравнений движения объекта и определением их начальных условий (начальная выставка), коррекцией БИНС по данным от источников внешней информации, функционированием БИНС в составе бортового информационного комплекса, калибровкой модели ошибок, учетом влияния возмущающих факторов, характерных для БИНС, и т.п.

Перспективность использования БИНС при управлении подвижными объектами не вызывает сомнений. Все более широкое практическое применение этих систем связано с потребностями иметь на борту автоматически управляемого объекта малогабаритные системы управления (системы инерциального управления) высокой надежности с тактико-техническими характеристиками, отвечающими жестким и противоречивым требованиям.

Можно указать несколько направлений использования БИНС, когда наиболее очевидны преимущества этих информационных систем:

- управление объектами, для которых характерны интенсивные изменения угловых скоростей и/или произвольные углы поворотов;

• управление объектами, испытывающими значительные перегрузки (по соображениям прочности в этом случае платформенные системы не могут конкурировать с БИНС), и др.

Создание высококачественной системы инерциального управления возможно только при условии успешного решения целого ряда задач. Это, прежде всего, рациональное описание кинематики движения объекта, ориентированное на использование его в задачах навигации и управления и реализуемое средствами бортовой вычислительной техники, учет ограничений на параметры управления и в то же время эффективное использование энергетических возможностей исполнительных органов системы управления и т.п.

Одним из проблемных моментов при разработке алгоритмического обеспечения БИНС является вычисление так называемых быстрых переменных, к которым относятся параметры ориентации и «кажущаяся» составляющая скорости точки установки блока чувствительных элементов – гироскопов и акселерометров. Определение именно этой совокупности параметров подвижного объекта наиболее трудоемко с точки зрения необходимого объема вычислений и наиболее критично к методическим погрешностям алгоритмов. Объясняется это тем, что требуемые вычисления приходится выполнять практически в темпе поступления первичной информации о движении объекта.

Начиная с первых работ в области бесплатформенных инерциальных систем, усилия исследователей были направлены на создание специальных численных методов и алгоритмов интегрирования кинематических дифференциальных уравнений движения твердого тела, поскольку стандартные методы численного интегрирования дифференциальных уравнений не приспособлены к специфической для БИНС первичной информации в виде приращения интеграла от вектора абсолютной угловой скорости.

В конце 60-х – начале 70-х годов в Институте кибернетики АН Украины впервые в СССР получены и опубликованы алгоритмы третьего порядка точности для вычисления параметров ориентации подвижных объектов. Это позволило преодолеть препятствия на пути повышения точности и сокращения объема вычислений и способствовало практической реализации идеи БИНС.

Для получения полного алгоритма интегрирования уравнений БИНС необходимо к формулам вычисления параметров ориентации присоединить формулы интегрирования навигационных уравнений БИНС – уравнений движения объекта как материальной точки. Такие уравнения, в отличие от кинематических, содержат информацию двух видов – о вращательном и поступательном движениях; по своей структуре они менее наглядны и удобны для преобразований. Тем не менее известен способ параметризации уравнений движения твердого тела, чрезвычайно упрощающий интегрирование навигационных уравнений. Этот способ основан на использовании аппарата винтового исчисления и формализма бикватернионов. С его помощью синтез алгоритмов интегрирования навигационных уравнений БИНС сводится к формальной замене переменных в алгоритмах интегрирования кинематических уравнений и разделению полученных выражений на «главную» и «моментную» составляющие. Таким образом получают алгоритмы интегрирования обеих групп уравнений БИНС, подобные по структуре и эквивалентные по точности.

Позднее исследования в этой области трансформировались в самостоятельное направление, которое можно охарактеризовать как теорию численного интегрирования уравнений БИНС. Сюда относятся методы интегрирования кинематических уравнений БИНС и многочисленные варианты алгоритмов указанного назначения различных порядков точности; специфические структуры кинематических параметров, используемых для описания движения объекта и представления уравнений БИНС; алгоритмы ин-

тегрирования уравнений поступательного движения объекта - навигационных уравнений БИНС, в том числе алгоритмы, построенные с привлечением математического аппарата бикватернионов. Была также сформирована теория ошибок вычислений в БИНС, учитывающая и оценивающая влияние ряда возмущающих факторов на точность определения параметров движения, и разработана методика моделирования вычислительных процессов в БИНС.

Наряду с упомянутыми исследованиями были сформулированы эффективные методы определения начальных условий для интегрирования уравнений БИНС (начальной выставки) и методы коррекции показаний БИНС по информации, поступающей от иных бортовых навигационно-измерительных устройств или от внешних источников, например, от глобальной спутниковой системы позиционирования. В связи с этим были разработаны методы и приемы анализа наблюдаемости – свойства динамической системы, от которого зависит возможность или невозможность однозначной оценки ее состояния.

Включение БИНС в контур управления подвижным объектом существенно расширяет динамические возможности последнего, однако требует дополнительных исследований при синтезе системы инерциального управления. Анализ соответствующих уравнений движения свидетельствует о том, что общую проблему синтеза такого рода системы управления можно свести к последовательному решению задач синтеза алгоритмов управления, синтеза алгоритмов вычисления параметров движения объекта управления и к задаче разработки требований к техническим средствам, реализующим алгоритмы инерциального управления.

Основные результаты исследований, выполненных в рамках обсуждаемого направления, отражены в трех монографиях:

Д.В.Лебедев, А.И.Ткаченко. Системы инерциального управления. Алгоритмические аспекты. – Киев: Наукова думка, 1991. – 203 с.

А.П.Панов. Математические основы теории инерциальной ориентации. – Киев: Наукова думка, 1995. – 279 с.

Д.В.Лебедев, А.И.Ткаченко. Информационно-алгоритмические аспекты управления подвижными объектами – Киев: Наукова думка, 2000. – 311 с.

Выполненные разработки и публикации полученных результатов создали Институту кибернетики АН Украины репутацию авторитетного центра теоретических исследований в области бесплатформенных инерциальных систем и инерциального управления. Это проявилось, в частности, в многочисленных плодотворных контактах с ведущими предприятиями и конструкторскими бюро Советского Союза, специализировавшимися в указанной области, в ряде успешно выполненных заказов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по бесплатформенной тематике.

Результаты исследований, полученные учеными Института кибернетики по тематике, связанной с бесплатформенными инерциальными системами навигации и управления, докладывались и обсуждались на Киевской секции научных семинарах Научного совета по проблемам управления движением и навигации при АН СССР.