

Использование «сырых» спутниковых навигационных данных и инерциальной системы для построения комплексной навигационной системы

Грибовский А.В.; Козадаев К.В.; Красовский С.П.
Кафедра Интеллектуальных Систем Факультета РФиКТ
Белорусский Государственный Университет
Минск, Беларусь
e-mail: rfe.gribovskiy@gmail.com

Аннотация – В данной работе рассмотрена сильносвязанная инерциально-спутниковая навигационная система, построенная на основе нелинейного рекуррентного фильтра Калмана. Разработанная система была исследована при движении на автомобиле по реальной траектории.

Ключевые слова: навигация; спутниковая навигационная систем; инерциальная навигационная система

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на рынке широко представлены различные навигационные датчики в интегральном исполнении. Можно выделить два класса таких устройств, имеющих разные свойства и сферы применения. Это спутниковые радионавигационные датчики, использующие сигналы таких систем как GPS, ГЛОНАСС, Галилео; и бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), представляющие собой набор акселерометров, электронных гироскопов и т.д. Каждый из упомянутых классов имеет свои шумовые характеристики. Так, радионавигационные системы обладают достаточно большой, но постоянной погрешностью при определении координаты (порядка 10 метров) [1]. Для современных инерциальных систем ошибка, в первые секунды имеющая значения порядка сантиметра, возрастает со временем [2]. С использованием обоих типов датчиков в настоящее время создаются комплексные инерциально-спутниковые навигационные системы. При этом можно отметить два подхода, или два различных способа комплексирования их показаний: сильносвязанный и слабосвязанный [3].

Для слабосвязанного подхода характерно использование готового навигационного решения от спутниковой системы, которое в последствии усредняется с показаниями инерциальной системы с помощью метода наименьших квадратов или динамических фильтров. Однако данный подход не позволяет учесть ковариационные и корреляционные характеристики ошибок спутникового датчика, поэтому этот метод нельзя считать оптимальным в смысле минимизации дисперсии оценки положения [4]. Понизить шумовые характеристики фильтра возможно за счет использования так называемых «псевдодалностей», или расстояний до спутника, оцениваемых спутниковым датчиком [5]. Погрешности этих измерений можно моделировать «белым шумом» с диагональной матрицей ковариации.

II. ОПИСАНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

A. Фильтр Калмана

Для построения сильносвязанной инерциально-спутниковой системы был синтезирован фильтр

Калмана [4]. Схема работы фильтра изображена на рисунке 1.

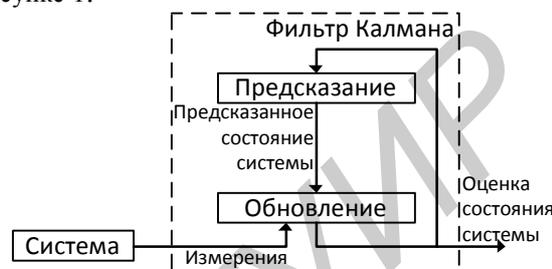


Рис. 1. Принципиальная схема фильтра Калмана

Фильтр Калмана представляет собой линейную рекуррентную процедуру оценивания состояния системы по косвенным измерениям этого состояния с учетом модели движения системы. Оценка состояния системы описывается соответствующим вектором и матрицей ковариации ошибок этой оценки. Саму процедуру работы алгоритма на каждой итерации можно разбить на две части: предсказание и коррекция.

На этапе предсказания по предыдущему состоянию системы оценивается текущее, исходя из динамической модели движения системы. Динамическая модель представляет собой описание изменения состояния системы во времени. Так же динамическая модель описывается матрицей шума системы, или ковариацией ошибок предсказания этой модели.

На этапе коррекции предсказанное состояние системы уточняется с помощью имеющихся измерений. При этом они описываются вектором, содержащим косвенные данные о наблюдаемом объекте, и матрицей ковариации ошибок этих данных.

Для того чтобы фильтр был оптимальным в смысле минимума дисперсии оценки состояния системы, необходимо иметь точные априорные данные о матрице ошибок динамической модели системы и вектора измерений.

B. Сильносвязанная система

Построенный фильтр для сильносвязанной системы представляет собой нелинейный фильтр Калмана, ввиду нелинейной зависимости измерений и вектора оценки состояния системы. По этой причине рассматриваемый фильтр называют субоптимальным [4]. Схема работы сильносвязанной системы изображена на рисунке 2.



Рис. 2. Принципиальная схема сильносвязанной системы

Измерения спутникового датчика представляют собой вектор размером $2 \cdot N$, где N – количество наблюдаемых спутников. Первые N элементов вектора это «псевдодальности», которые равны разнице между часами приемника в момент приема сигнала и часами спутника в момент отправления сигнала, умноженную на скорость света. Последние N элементов это «псевдоскорости», или доплеровский сдвиг частоты несущей сигнала спутника, умноженный на длину его волны. Эти данные поступают на фильтр без предварительной обработки.

Данные инерциального сенсора представляют собой два трехкомпонентных вектора, описывающих ускорение и угловую частоту вращения наблюдаемого объекта в системе координат инерциального датчика. Эти измерения предварительно интегрируются для получения координаты, скорости и положения датчика в пространстве с учетом начальных условий. Поправки представляют собой данные фильтра Калмана на предыдущей итерации. При этом первое навигационное решение фильтра формируется только по спутниковой системе. Начальное положение датчика в пространстве для первого решения вводится вручную.

Наблюдаемая система описывалась следующим 13-ти компонентным вектором. Первые три компоненты – координаты в системе WGS-84 [6]. Следующие две компоненты описывают ошибку часов приемника относительно системного времени GPS и ГЛОНАСС (использовался двухсистемный спутниковый приемник). Далее следуют пять компонентов, описывающие производные первых пяти элементов, это скорости и дрейф часов. Последние три элемента вектора состояния описывают ориентацию инерциального датчика в пространстве тремя углами Эйлера (крен, тангаж, курс).

Матрица, определяющая шум измерений вычислялась исходя из шумовых характеристик используемых датчиков. Матрица динамического шума системы выбиралась для оптимальной фильтрации при движении на автомобиле.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

При создании системы в качестве спутникового датчика был использован GPS-ГЛОНАСС приемник NTLab NT2000, на который была установлена модифицированное программное обеспечение,

передающее «сырые» спутниковые данные. Инерциальная система строилась на основе датчика Analog Devices ADIS 16366. Эти устройства подключались к ноутбуку по интерфейсу USB. На ноутбуке было установлено разработанное на языке C++ программное обеспечение для комплексирования потоков данных от инерциального и спутникового устройства.

Для оценки точности разработанной системы были измерены координаты девяти опорных точек методом статической съемки [7]. В ходе эксперимента по заданной траектории проезжал автомобиль. В момент нахождения на опорной точке фиксировались координаты, сообщаемые инерциально-спутниковой навигационной системой. Данный опыт был повторен восемь раз. В результате для каждой траектории были посчитаны средние значения отклонений, или невязок, а так же среднеквадратичные отклонения ошибок измерений. В результате среднеквадратичное отклонение ошибок измерений составило 2.81 метра, невязка 7.17 метров. Наличие постоянных отклонений можно объяснить отсутствием ряда поправок к измерениям спутникового датчика, применяемых в коммерческих радионавигационных устройствах. Так, не было возможности осуществить поправку на задержку сигнала в ионосфере, а так же не осуществлялся контроль над ошибочными показаниями спутников (RAIM-проверка). Данные проблемы возможно устранить дальнейшим совершенствованием программно-аппаратной базы системы комплексирования.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы была реализована сильносвязанная инерциально-спутниковая навигационная система, эффективность которой проверена на реальной траектории при движении на автомобиле. Результаты испытаний показали увеличение точности позиционирования, по сравнению со спутниковой радионавигационной системой.

- [1] GPS NavStar. Global Positioning System Standart Positioning Service Signal Specification. 1995. 51 p.
- [2] Н. Т. Кузовков, О. С. Салычев. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982, 216 с.
- [3] O. S. Salychev, V. V. Voronov. "Low cost INS/GPS integration: concepts and testing", in Journal of Navigation, vol. 54, № 1, 2001, pp. 119-134.
- [4] К. Браммер, Г. Зиффлинг. Фильтр Калмана-Бьюси. М. : Наука, 1989. 200 с.
- [5] M. George, S. Sukkarieh. "Tightly Coupled INS/GPS with Bias Estimation for UAV Applications", in Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), 2005. 7 p.
- [6] National Imagery and Mapping Agency. NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY TECHNICAL REPORT 8350.2. 2000. 175 p.
- [7] Инструкция по установлению, восстановлению и закреплению границ земельных участков. Постановление Комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь. 16.05.2002 г. № 3. Банк законов Республики Беларусь. Режим доступа: <http://old.bankzakonov.com/obsch/razdel109/time1/lavz0001.htm>.