

СИГМА-ТОЧЕЧНЫЙ ФИЛЬТР КАЛМАНА В ЗАДАЧАХ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.А. Зеленский, М.В. Капалин

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: сигма-точечный фильтр Калмана, расширенный фильтр Калмана, беспилотный летательный аппарат, навигация.

Расширенный фильтр Калмана (Extended Kalman filter - EKF) является самым популярным алгоритмом фильтрации в навигационных системах беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Он используется в таких популярных автопилотах, как «Ardupilot» и «PX4 autopilot» для комплексирования данных спутниковых систем навигации и данных инерциальных датчиков.

С 1997 года известен Сигма-точечный фильтр Калмана (Unscented Kalman filter - UKF). Данный фильтр использует для построения приближения распределения плотности вероятности случайной величины метод «Unscented Transform» [1].

Использование метода «Unscented Transform» позволило избавиться от некоторых проблем, присущих расширенному фильтру Калмана. А именно, ошибки линеаризации: использование многомерного разложения в ряд Тэйлора и отбрасывание всех членов этого ряда, начиная со второго. Эта операция необходима для уменьшения вычислительной сложности алгоритма. Однако, такой подход приводит к росту вычислительной ошибки. Проблема становится заметнее с увеличением степени нелинейности используемой модели.

Сигма-точечный фильтр Калмана обеспечивает более точные результаты оценки [2] по сравнению с расширенным фильтром Калмана (таблица 1).

Приведенные выше данные хорошо воспроизводятся. Сигма-точечный фильтр Калмана и его модификации обеспечивают значительно лучшую точность оценки, но имеют более высокую вычислительную сложность. Это объясняет доминирование расширенного фильтра Калмана в прикладной области, т.к. миграция на UKF в pixhawk / ardupilot, пока px4 базируется на процессоре STM32F4, невозможна.

Существует несколько способов решить проблему вычислительной сложности UKF. Первый — это использование значительно более мощного компьютера-компаньона для вычислений, который практически всегда используется в системах с визуальной одометрией. Второй — использование модификаций UKF. Например, как видно из таблицы 1, алгоритм SPUKF (Single Propagation Unscented Kalman Filter) уступает EKF

по времени вычисления всего на 6 мс. При этом точность оценки соизмерима с точностью оригинального UKF.

Таблица 1 – Время вычисления и ошибка определения угла ориентации навигационного спутника

	Время вычисления, мс	Ошибка определения угла, град.
EKF	3,15	0,859
SPUKF	9,28	0,033
ESPUKF	17,27	0,032
UKF	122,26	0,031

UKF, а особенно его модификации, является лучшей альтернативой EKF в навигационных задачах. Уже сейчас его использование оправдано, например, для БПЛА с наличием компьютера-компаньона на борту. Таким образом, представляется целесообразным и перспективным построение системы комплексирования навигационной информации БПЛА с достаточной вычислительной мощностью на базе модификаций Сигма-точечного фильтра Калмана.

Список использованных источников:

1. Julier S.J., Uhlmann J.K., A New Extension of the Kalman Filter to Nonlinear Systems / Proc. of AeroSense: The 11th Int. Symp. on Aerospace/Defence Sensing, Simulation and Controls., 1997.
2. Biswas S.K., Southwell B. Dempster A.G., Performance analysis of Fast Unscented Kalman Filters for Attitude Determination / IFAC-PapersOnLine, 2018, том. 51, выпуск 1, с. 697-701.

Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: vaz-3@yandex.ru.

Капалин Максим Вадимович, аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств.

УДК 620.179.18; 620.1.051

ИМИТАТОР ПРИБОРА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПРОСТРЕЛОЧНОГО

В.А. Зеленский, Д.В. Самсонов

«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: прибор высокочастотный прострелочный, микроконтроллер, генератор импульса, экспериментальная установка.