

УДК 681.5.015:629.7.05

А.С. КУЛИК, С.Н. ФИРСОВ, ВАН ТХИНЬ НГУЕН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков***ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ
БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ**

В статье отражена необходимость предварительной фильтрации первичной информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы малогабаритного летательного аппарата. Проведен анализ цифрового линейно-усредняющего фильтра, а также часто применяемых нелинейных цифровых фильтров – медианного и α -урезанного фильтров. Выполнен сравнительный анализ работы линейных и нелинейных цифровых фильтров в контексте решения задач, связанных с предварительной фильтрацией сигналов с датчиков первичной информации бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Определены параметры фильтров, влияющие на искажение выходного сигнала и их быстродействие.

Ключевые слова: акселерометр, датчик угловых скоростей, цифровая фильтрация, медианный фильтр, усеченный фильтр, α – урезанный фильтр.

Введение

Основным элементом системы автоматического управления (САУ) малогабаритного летательного аппарата (МЛА), является бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), предназначенная для формирования кинематических параметров полета МЛА путем соответствующего преобразования угловой скорости и ускорения по трем осям связанной с МЛА системой координат [1]. Измерения проекций угловых скоростей и линейных ускорений в БИНС осуществляются малогабаритными датчиками, установленными непосредственно на корпусе МЛА, что неизбежно приводит к возникновению ошибок, связанных с несовершенством технологии производства этих измерителей и рядом других технических и механических причин. При этом одним из важных показателей работы САУ МЛА, определяющих спектр применения того или иного МЛА, является точность работы САУ. Это обстоятельство определяет необходимость выполнения предварительной фильтрации датчиков первичной информации непосредственно перед формированием навигационной информации и определением параметров полета МЛА [2].

В настоящее время существуют разные подходы и методы обработки сигналов, получаемых с датчиков первичной информации БИНС: аналоговая фильтрация, цифровая фильтрация и ряд других комбинированных методов. Для уменьшения значений первичных ошибок БИНС наибольшее распространение получили фильтры, принадлежащие ко второй группе. Основным требованием, выдвигае-

мым к цифровым фильтрам, является их быстродействие и простота алгоритма.

Целью данной статьи является анализ, исследование и сравнение алгоритмов осредненного, медианного, α – урезанного фильтров, каждый из которых с определенной полнотой отвечает приведенным требованиям.

Датчики угловой скорости и акселерометры БИНС, установлены на корпусе МЛА, работают под воздействием определенных уровней механических вибраций, меняющихся в зависимости от выполняемого аэродинамического маневра и условий эксплуатации, нестабильных номиналов напряжений и ряда других неконтролируемых внешних и внутренних факторов. Все эти воздействия способствуют зашумлению полезного измеряемого сигнала, что приводит к возрастанию погрешности измерения и к последующему снижению точностных показателей САУ МЛА. Ошибки БИНС в нормальных условиях носят, как правило, флуктуационный характер, имеющий смещений относительно истинного значения. Для повышения точности управления предполагается использование алгоритмов обработки первичных сигналов осредненного, медианного, α – урезанного фильтров.

БИНС в данном случае включает в себя три одноосевых датчика угловой скорости ADXRS401 AVG, три одноосевых акселерометра ADXL103 фирмы Analog Device.

В структуре БИНС в качестве периферийного устройства применяется микроконтроллер AVR ATmega128 фирмы Atmel. Программа реализована на языке CodeVision [3].

Алгоритм медианного фильтра

Медианный фильтр представляет собой скользящее окно, охватывающее нечетное число значений выходного сигнала в i -ые моменты времени. Центральный элемент этой последовательности заменяется медианой элементов в окне. Медианой дискретной последовательности N элементов называют элемент, для которого существует $(N-1)/2$ элементов меньших или равных ему по величине и $(N-1)/2$ элементов больших или равных ему по величине. Медианный фильтр в одних случаях обеспечивает подавление шума, а в других - вызывает нежелательное подавление сигнала. Особенностью медианного фильтра является то, что он не влияет на пилообразные и ступенчатые функции, что обычно является полезным свойством, однако он подавляет импульсные сигналы, длительность которых составляет менее половины ширины окна.

Возможны различные стратегии применения медианного фильтра для подавления шумов. Одна из них рекомендует начинать с медианного фильтра, окно которого охватывает три элемента последовательности. Если ослабление сигнала незначительно, то окно расширяется до пяти элементов. Схематично работа медианной фильтрации показана на рис. 1 для пяти элементов измеряемого окна.



Рис. 1. Работа медианного фильтра на пяти элементах

Алгоритм медианного фильтра описывается блок-схемой, представленной на рис. 2.

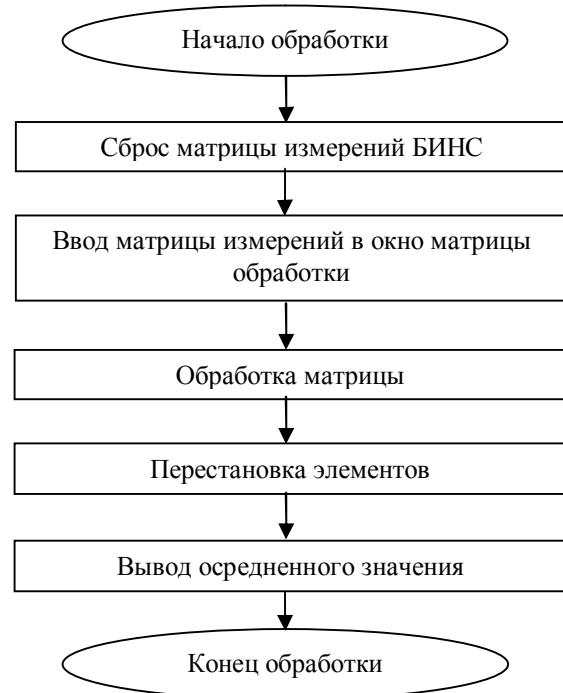


Рис. 2. Блок-схема алгоритма медианного фильтра

Экспериментальные результаты работы медианного фильтра представлены на рис.3.

Алгоритм усредняющего (сглаживающего) фильтра

Усредняющий фильтр – это линейный фильтр, работающий как низкочастотный фильтр. Суть усредняющего фильтра заключается в том, что формируется матрица-строка размером $[1 \times n]$ для n измеренных значений датчиков, на основании которых формируется выходной сигнал в виде усредненного значения всех измерений окна фильтра.

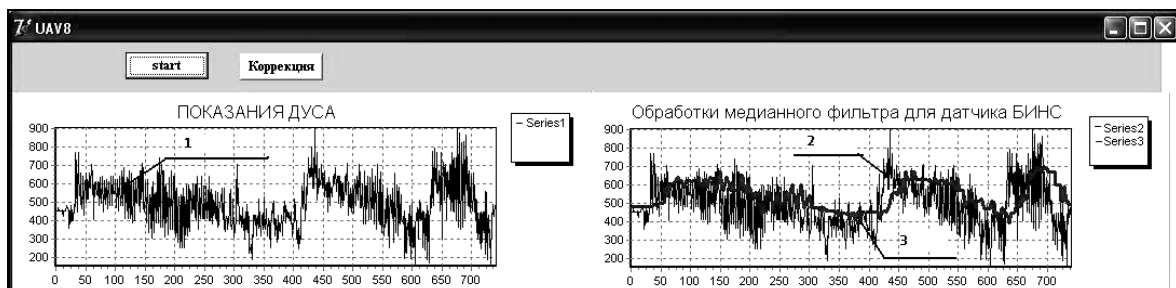


Рис. 3. Работа медианного фильтра при подавлении шумов:
1, 2 – сигнал с акселерометра с шумом;
3 – сигнал после фильтрации медианным фильтром

На рис. 4 схематически отобразена работа усредняющего фильтра.

Реализуемый алгоритм фильтрации на основе усредняющего фильтра и результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 5 и 6.

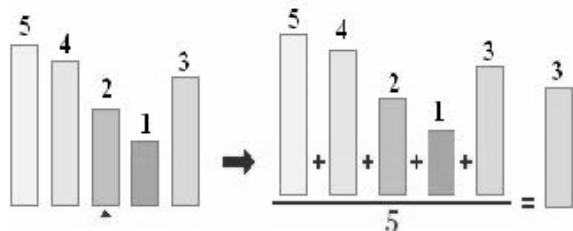


Рис. 4. Схематическое отображение работы усредняющего фильтра

Алгоритм α -урезанного фильтра

α -урезанный фильтр – это нелинейный фильтр, математическое описание которого имеет следующий вид:

$$X_{\alpha} = \frac{1}{N - 2 * [\alpha N]_{i=[\alpha N]+1}^{N - [\alpha N]}} \sum X_{(i)}$$

где $X_{(i)}$ – значение выходного сигнала в i -й момент времени; N – количество элементов в выборке.

α -урезанный фильтр по своей сути представляет собой комбинацию медианного и усредняющего фильтров. В двух этих фильтрах все элементы используются для определения фильтрованного значения, но в α – урезанном фильтре, параметр α управ-

ляет количеством отбрасываемых и пропускаемых элементов выборки. Т.е. некоторые начальные и конечные элементы урезаются перед определением усредненного значения.

На рис.7 изображена работа α – урезанного фильтра.

На рис. 8 – 9 представлена блок схема реализации урезанного фильтра и результаты экспериментального исследования.

Сравнение работы трех рассмотренных алгоритмов фильтрации представлено на рис. 10.

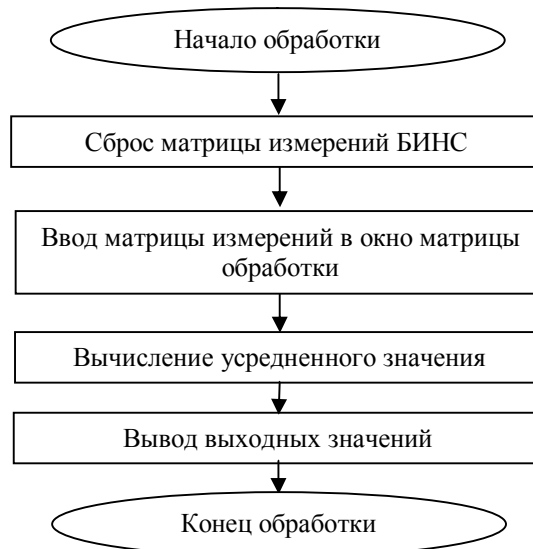


Рис. 5. Блок-схема алгоритма, реализующего усредняющий фильтр

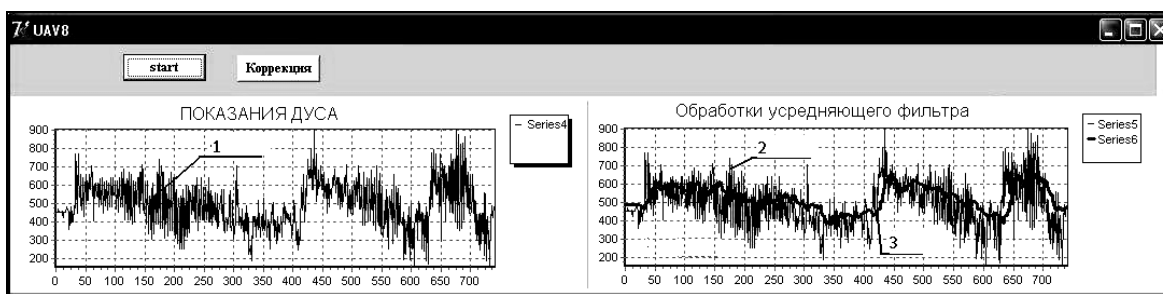


Рис. 6. Работа усредняющего фильтра при подавлении шумов:
1, 2 – сигнал с акселерометра до фильтрации;
3 – сигнал после фильтрации усредняющим фильтром

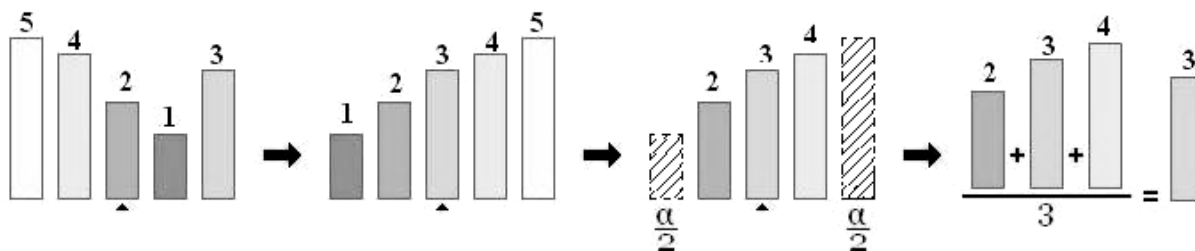
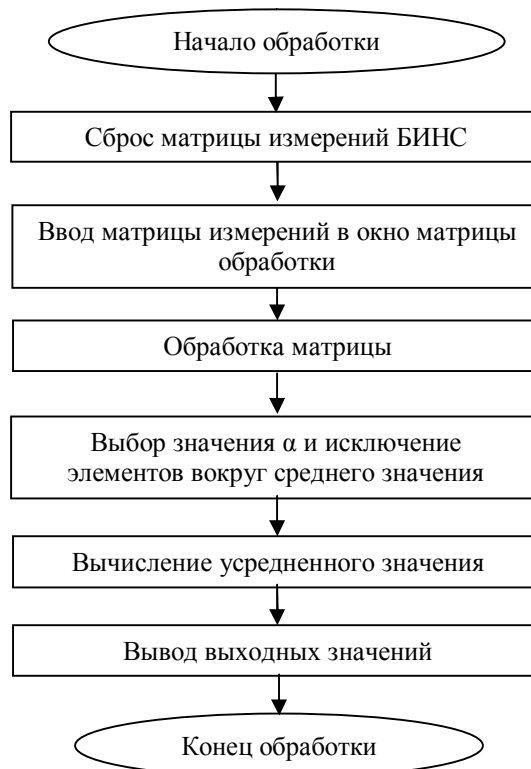
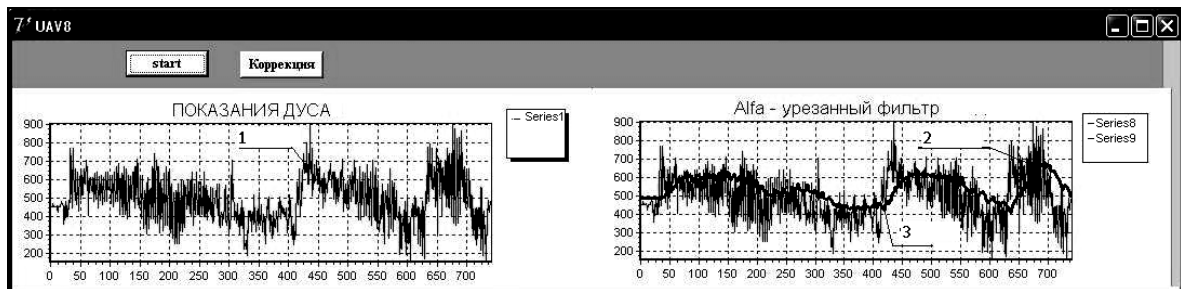
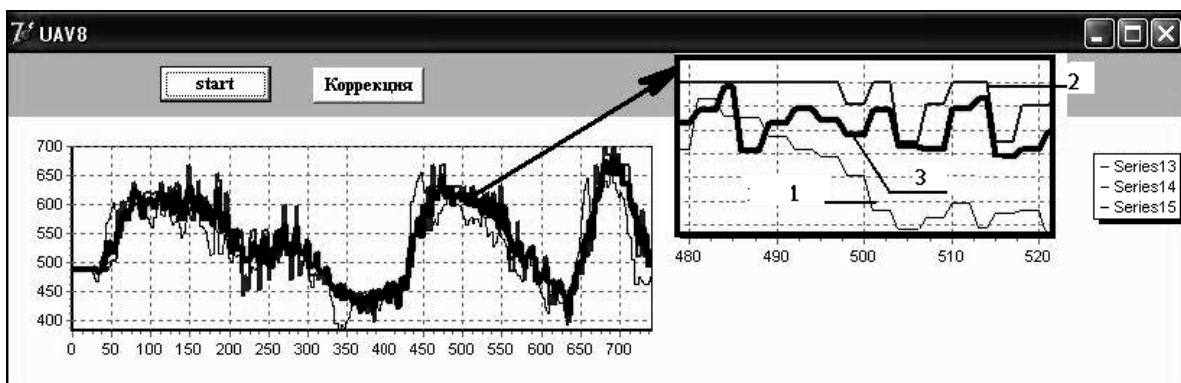


Рис. 7. Работа α – урезанного фильтра

Рис. 8. Блок-схема алгоритма α – урезанного фильтраРис. 9. Работа α – урезанного фильтра:
1, 2 – сигналы до фильтрации;
3 – сигнал после фильтрации α -урезанным фильтромРис. 10. Результаты сравнения трех фильтров:
1 – сигнал после фильтрации медианным фильтром;
2 – сигнал после фильтрации усредняющим фильтром;
3 – сигнал после фильтрации α -урезанным фильтром

Заключення

В результаті проведених досліджень (рис.10) реалізованих алгоритмів цифрової фільтрації результатів первинних вимірювань БИНС встановлено, що метод α – урізаного фільтра дозволяє ефективніше здійснювати цифрову фільтрацію інформації з датчиків кулової швидкості та акселерометрів БИНС по якості та швидкодії. На його основі сформовані алгоритми первинної фільтрації сигналів БИНС МЛІА вертикального взльету та посадки.

Література

1. Kulik A. *Systems of Stabilization Disk-Shaped Flying Product* / A. Kulik, S. Firsov, A. Danchenko //

Proceedings east west fuzzy colloquium 2010 115th Zittau Fuzzy colloquim. – IP: PAM, 2010. – P. 382-389.

2. Фирсов С.Н. *Малогабаритний летальний апарат вертикального взльету та посадки* / С.Н. Фирсов, Нгуен Ван Тхін // *Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Наукові дослідження – теорія та експеримент 2010».* – Полтава «ІнтерГрафіка», 2010. – С. 95-97.

3. Кулик А.С. *Применение нечеткой логики в управлении беспилотными летательными аппаратами* / А.С. Кулик, С.Н.Фирсов, О.Э. Копысов // *Материалы междунар. научн.-техн. конф. „Перспективные компьютерные управляющие и телекоммуникационные системы для железнодорожного транспорта Украины”.* – Х.: Харьк. академия железн. транспорта, 2010 – С. 52-53.

Поступила в редакцію 19.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. авіаційних приборів та вимірювань Н.В. Кошевой, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків.

ОБРОБКА СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ БЕЗПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЦИФРОВОЮ ФІЛЬТРАЦІЄЮ

А.С. Кулік, С.М. Фірсов, Ван Тхін Нгуєн

У статті відображена необхідність попередньої фільтрації первинної інформації безплатформної інерціальної навігаційної системи малогабаритного літального апарату. Проведено аналіз цифрового лінійного фільтра, що усереднює, а також цифрових нелінійних фільтрів, які часто застосовуються – медіанного і α -урізаного фільтрів. Зроблено порівняльний аналіз роботи лінійних та нелінійних цифрових фільтрів в контексті вирішення завдань, пов'язаних з попередньою фільтрацією сигналів з датчиків первинної інформації безплатформної інерціальної навігаційної системи. Визначено параметри фільтрів, що впливають на спотворення вихідного сигналу і їх швидкодію.

Ключові слова: акселерометр, датчик кутових швидкостей, цифрова фільтрація, медіанний фільтр, усічений фільтр, α - урізаний фільтр.

SIGNAL SENSORS PRIMARY INFORMATION INERTIAL NAVIGATION SYSTEM DIGITAL FILTERING

A.S. Kulik, S.N. Firsov, Van Thinh Nguyen

The article reflects the need for pre-filtering of the primary information strapdown inertial navigation system of small-sized aircraft. The analysis of digital linear averaging filter, as well as frequently used non-linear digital filters: media and α -trimmed filters. A comparative analysis of linear and nonlinear digital filters in the context of solving the problems associated with pre-filtering of signals from the sensors of the primary information strapdown inertial navigation system. Filters parameters affecting the distortion of the output and performance.

Keywords: accelerometer, angular rate sensor, digital filtering, median filter, filter downgraded, α - stripped-down filter.

Кулик Анатолій Степанович – д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри систем управління летальними апаратами Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

Фирсов Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри систем управління летальними апаратами Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

Нгуєн Ван Тхін – аспірант кафедри систем управління летальними апаратами Національного аерокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.