

Зв'язок

УДК 519.218.82

Б.Р. Боряк, А.М. Сільвестров

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНОГО ДВОКОНТУРНОГО ФІЛЬТРА-ЕКСТРАПОЛЯТОРА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ФОРМИ СИГНАЛУ

У даному дослідженні ми провели аналіз роботи адаптивного двоконтурного фільтра-екстраполятора, що працює по принципу подвійного експоненціального згладжування Брауна. Суть дослідження полягала у визначенні систем, де може бути ефективно застосований даний алгоритм обробки інформації, в залежності від форми сигналів, якими керуються системи. Протягом дослідження розглядалися сигнали представлені функціями псевдовипадкових чисел, лінійною функцією, квадратичною функцією, синусоїдальною функцією. Було визначено основні переваги і недоліки в алгоритмі обробки інформації.

Ключові слова: подвійне експоненціальне згладжування, шум, прогноз, сигнал, коефіцієнт згладжування.

Постановка проблеми

Алгоритм фільтрації базується на ноніусній (уточнюючій) структурі підключення елементарних фільтруючих одиниць, що працюють на основі подвійного експоненціального згладжування Брауна. Адаптація алгоритму побудована на основі простої логіки порівняння похибок прогнозу двох контурів фільтрації із різними коефіцієнтами згладжування. Детальніше будова алгоритму і принцип адаптації були описані у попередніх працях [1-3].

Якість прогнозу і згладжування сигналу залежить від кількох чинників. Першим із них є природа сигналу, що відслідковується. Якщо ми порівняємо сигнал, що може бути описаний функцією першого або другого степеня у певній часовій області і сигнал, який може бути описаний функцією випадкових чисел, розподілених по нормальному закону, то якість фільтрації і прогнозу даного алгоритму значно відрізнятимуться. Це пояснюється тим, що даний фільтр є рекурсивним і визначає згладжене і прогнозоване значення на основі попередніх значень. Окрім природи сигналу на якість обробки сигналу також впливають наступні фактори: амплітуда шумів, швидкість зміни амплітуди шумів протягом процесу фільтрації, відношення між частотою зміни амплітуди завад та проміжком часу, за який відбувається процес оцінювання, наявність випадкових шумових стрибків, різниця коефіцієнтів згладжування між двома контурами фільтрації, а також частота вимірів сигналу.

Для визначення спектру використання даного фільтруючого алгоритму проведено ряд експериментів, протягом яких, змінюючи величини вищезазначених факторів, від яких залежить якість фільтрації, відбувалось дослідження даного алгоритму. Для моделювання процесу фільтрації було використано мову програмування Matlab.

Параметри моделювання

Для скорочення описової частини кожного із випадків моделювання процесу фільтрації було введено ряд величин, що визначають основні параметри фільтра та умови, за яких формується вхідний сигнал, шумовий вплив, кількість вимірювань сигналу та інші параметри. n – кількість вимірів (кроків) сигналу, що визначають тривалість процесу моделювання; t – кількість вимірів (кроків) сигналу, що використовуються для оцінювання якості роботи двох контурів фільтрації; m – кількість кроків, на яку необхідно отримати прогнозоване значення сигналу; σ – параметр функції генерації псевдовипадкових чисел розподілених по нормальному закону, що визначає стандартне відхилення, у даному випадку – амплітуду шуму; α – коефіцієнт згладжування, визначає ступінь фільтрації, може змінюватись в межах від 0 до 1, є основним параметром, що змінюється під час адаптації; $\Delta\alpha$ – крок зміни коефіцієнта згладжування протягом процесу адаптації.

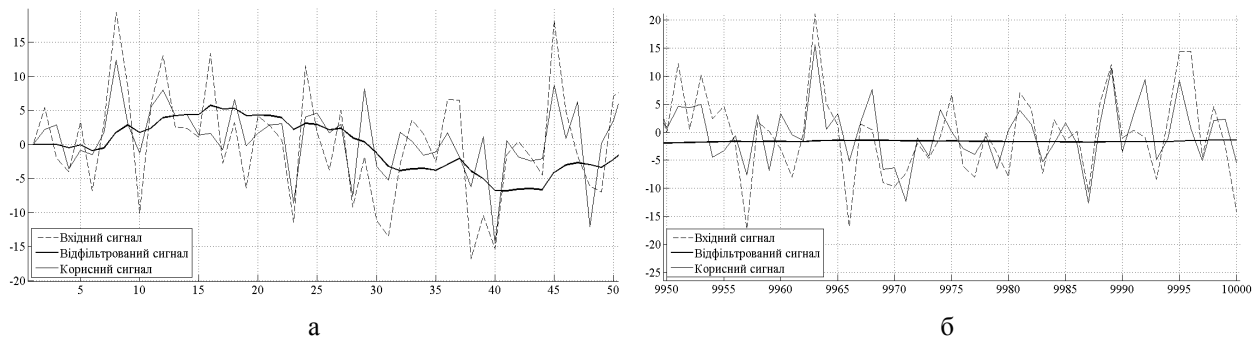
Аналіз процесу фільтрації сигналів

1. Вхідний сигнал представлений функцією псевдовипадкових чисел (рис. 1) із накладеним на нього шумом, що описується аналогічною до вхідного сигналу функцією.

Параметр стандартного відхилення для обох функцій:

$$\sigma = 5; n = 10000; m = 3; t = 200; \text{початкове значення } \alpha = 0.1; \Delta\alpha = 0.1 \cdot \alpha.$$

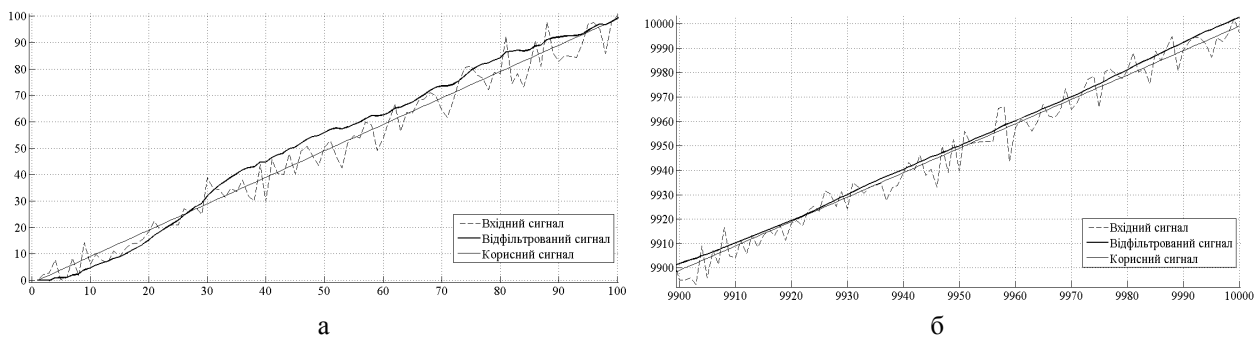
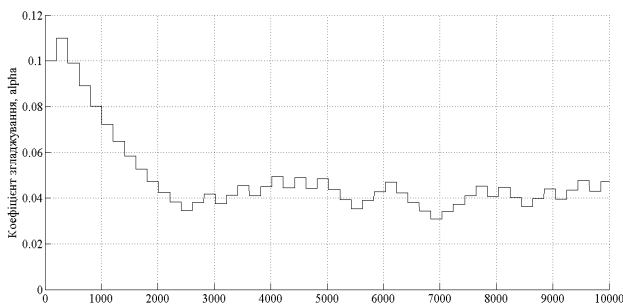
У результаті спостерегаємо (рис. 1), що у випадку із корисним сигналом, що описується функцією псевдовипадкових чисел, фільтруючий алгоритм не має змоги побудувати передбачення на основі попередньо отриманих даних, так як вони не мають ніякої закономірності.

Рис. 1. Вхідний, корисний і відфільтрований сигнал: а – $n \in [0:50]$; б – $n \in [9950:10000]$

2. Вхідний сигнал представлений лінійною функцією $y(x)=kx$ (рис. 2), де $k = 1$, із накладеним на нього шумовим впливом. Параметри моделювання: $\sigma = 5$; $n = 10000$; $m = 3$; $t = 200$; початкове значення $\alpha = 0.1$; $\Delta\alpha = 0.1 \cdot \alpha$.

У даному випадку спостерігається адаптація коефіцієнта фільтрації (рис. 3) і подальше його ко-

ливання в межах від 0.0309 до 0.0495. Відфільтрований сигнал є прогнозованим через це графік даного сигналу зсунутий вліво. Величина зсуву може змінюватись під впливом зміни коефіцієнта згладжування і подальшого перерозподілу впливу значення поточного вхідного сигналу і згладженого сигналу у попередній момент часу на прогноз.

Рис. 2. Вхідний, корисний і відфільтрований сигнал: а – $n \in [0:100]$; б – $n \in [9900:10000]$ Рис. 3. Зміна коефіцієнта згладжування α протягом процесу адаптації

Розділимо умовно процес адаптації у даному випадку на два етапи. Перший етап: налаштування фільтруючого пристрою під конкретний рівень шуму, у даному випадку, незмінний. Візьмемо точку процесу фільтрації, коли коефіцієнт фільтрації набув значення, що входить у межі від 0.0309 до 0.0495, як початок другого етапу, у даній модуляції це $k = 1812$. Другий етап процесу адаптації характеризується коливанням коефіцієнта фільтрації у межах зазначених вище. Це характеризується тим, що якщо після процесу оцінювання, наприклад, похибка прогнозу у контурі із більшим значенням α буде меншою, аніж у контурі із меншим значенням α то,

за логікою даного алгоритму фільтрації, α буде збільшена на 10% (величина збільшення та зменшення коефіцієнта згладжування також задається перед процесом моделювання), і навпаки. Саме тому коефіцієнт згладжування змінює своє значення кожні t вимірів.

Порівнюючи ці два етапи, можна зробити висновок, що якість фільтрації значно зростає на другому етапі, хоч і прогнозований сигнал не завжди зміщений на необхідну кількість кроків, але він повторює форму корисного сигналу і дає уявлення про майбутнє значення у випадку сигналу лінійної форми.

3. Порівняємо процеси адаптації алгоритму фільтрації за умови, що вхідні сигнали представлені лінійними функціями $y(x)=kx$, із $k = 0.5$ та $k = 2$, із накладеним на нього шумовим впливом (рис. 4). Параметри моделювання: $\sigma = 5$; $n = 10000$; $m = 3$; $t = 200$; початкове значення $\alpha = 0.1$; $\Delta\alpha = 0.1 \cdot \alpha$.

За отриманими графіками можна визначити, що перша стадія адаптації триває приблизно протягом перших 2000 вимірів сигналу, за умов, які вказані вище, а саме: даного рівня шуму, початкового значення коефіцієнта згладжування, а також обраної кількості вимірів, що визначають період, за який відбувається оцінка якості системи фільтрації.

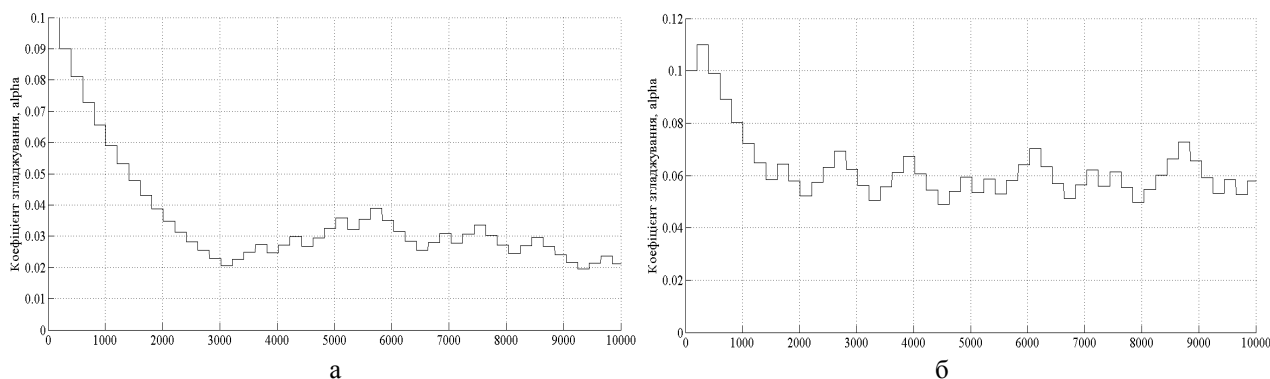


Рис. 4. Зміна коефіцієнта згладжування α протягом процесу адаптації а – при $k = 0.5$; б – при $k = 2$

На основі отриманих вище даних можна зробити висновок, що за умови, коли система фільтрації намагається відстежити сигнал, що має лінійну складову і надходить на вхід системи із накладеним на нього шумом, алгоритму необхідний певний час, який не значно залежить від кривизни лінії, для адаптації коефіцієнта згладжування під певний рівень завад. Також варто відзначити, що кривизна сигналу лінійної форми впливає на коефіцієнт згладжування. Так, зі збільшенням кривизни сигналу вплив завад на корисний сигнал зменшується і коефіцієнт згладжування зростає і навпаки.

4. Вхідний сигнал представлений квадратичною функцією $y(x)=kx^2$, де $k = 0.25$ (рис. 5), із накладеним на нього шумовим впливом. Параметри моделювання: $\sigma = 10000$; $n = 50000$; $m = 3$; $t = 200$; початкове значення $\alpha = 0.1$; $\Delta\alpha = 0.1 \cdot \alpha$. Параметр стандартного відхилення у функції генерації псев-

довипадкових чисел розподілених по нормальному закону, що відіграє роль завад, σ був збільшений до значення 10000 у зв'язку із тим, що малі значення цього параметра мають дуже незначний спотворюючий вплив за умови, коли корисний сигнал описується квадратичною функцією. У даному випадку можемо спостерігати, що розподілення на дві стадії адаптації, як у випадку із сигналом лінійної форми є не зовсім доцільним за тому, що за рахунок квадратичного росту вплив шумів зменшується. Таким чином, протягом, приблизно, перших 2000 вимірів алгоритм адаптується відповідно до даного рівня шуму після чого, подібно до досліду із вхідним сигналом лінійної форми, відбуваються коливальні зміни коефіцієнта фільтрації, але значення α , у даному випадку, не залишається у визначених межах, а зростає. Ефект зменшення впливу шумів з часом можна наочно спостерігати порівнюючи рис. 5, а та 5, б.

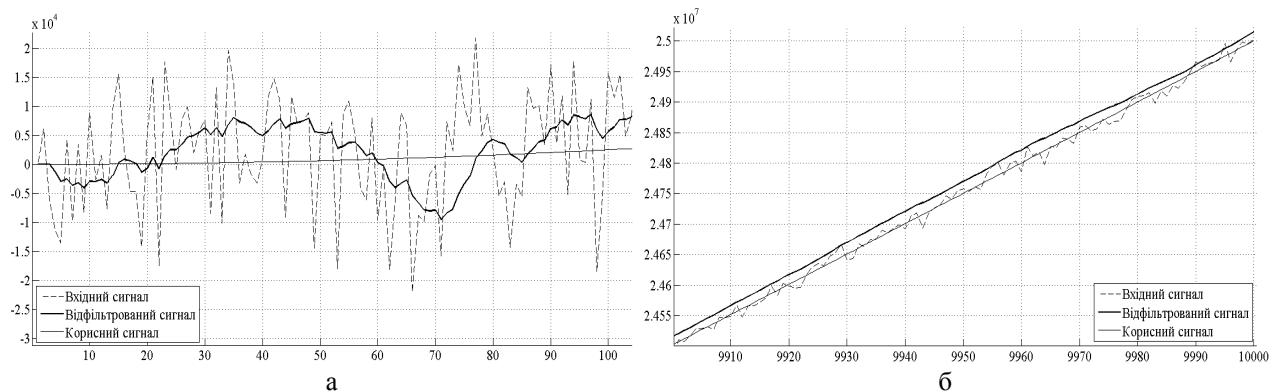


Рис. 5. Вхідний, корисний і відфільтрований сигнал: а – $n \in [0:100]$; б – $n \in [9900:10000]$

Для перевірки вище приведеного твердження промодельємо даний процес із вищезгаданими умовами, змінивши кількість вимірів із 10000 на 50000. Даний процес зображений на рис. 6.

Варто зазначити також те, що відсутність зміни параметра $\Delta\alpha$ забезпечує досить широкий спектр коливання коефіцієнта згладжування, що змінюється кожні 200 кроків (для даного дослідження). Це може призвести до втрат інформації, і даний ефект може бути компенсований за допомогою коригування алгоритму адаптації.

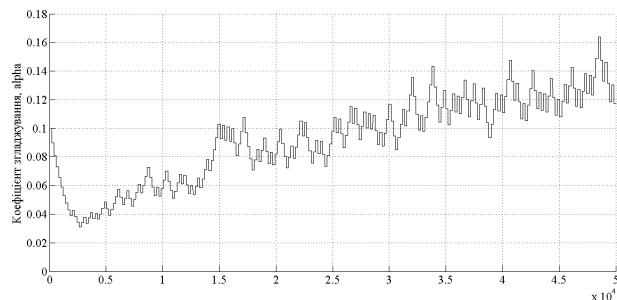


Рис. 6. Зміна коефіцієнта згладжування α протягом процесу адаптації

5. Вхідний сигнал описується синусоїдальною функцією $y(x)=\sin(x/k)$ (рис. 7), із накладеним на нього шумовим впливом. Коефіцієнт k , у даному випадку, введений для того, щоб зменшити частоту зміни сигналу, $k=10$. Параметри моделювання: $\sigma=0.25$; $n=10000$; $m=3$; $t=100$; початкове значення $\alpha=0.1$; $\Delta\alpha=0.1\cdot\alpha$. Дане зображення дає змогу спостерігати швидкодію роботи алгоритму та якість фільтрації.

Варто зазначити, що при синусоїдальній природі сигналу на якість і швидкодію мають великий вплив також такі чинники як кількість кроків, на яку проводиться прогнозування, а також відношення між частотою синусоїдального сигналу та кількість вимірів (кроків) сигналу, що використовуються для оцінювання якості роботи двох контурів фільтрації.

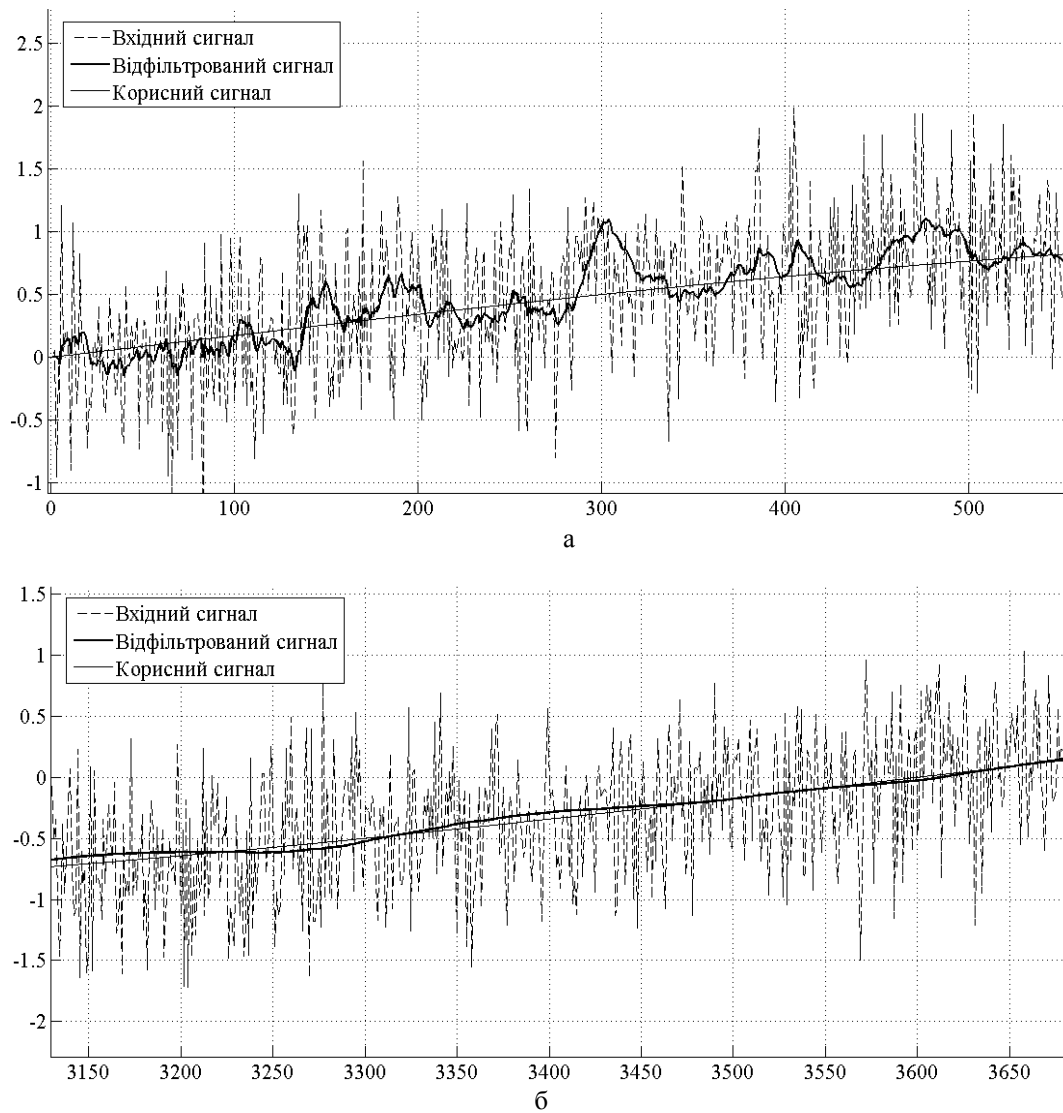


Рис. 7. Вхідний, корисний і відфільтрований сигнал: а – $n \in [0:550]$; б – $n \in [3250:3650]$

Аналізуючи роботу даного алгоритму при відстеженні сигналу синусоїдальної форми можна визначити, що одним із недоліків роботи є часткова втрата корисної інформації у місцях зміни траєкторії сигналу. Повна компенсація втрати даної інформації не є можливою в даному алгоритмі, але за рахунок зміни параметрів фільтруючої системи є можливість мінімізація втрати інформації.

Розглядаючи графік зміни коефіцієнта згладжування (рис. 8) протягом процесу адаптації можна встановити його схожість із графіком адаптації при роботі алгоритму у випадку відстеження сигналу лінійної форми.

Висновки

У результаті проведеного моделювання роботи адаптивного двоконтурного фільтра з використанням сигналів, що можуть бути описані за допомогою лінійних, квадратичних, синусоїдальних та псевдовипадкових функцій варто визначити основні кілька тверджень:

- застосування фільтра-екстраполятора у системах, сигнали яких можуть бути описані функцією псевдовипадкових значень, не є доцільним, адже відфільтроване і прогнозоване значення будується на основі попередніх значень сигналу;

Рис. 8. Зміна коефіцієнта згладжування α протягом процесу адаптації

– застосування даного алгоритму для сигналів, що мають лінійну і квадратичну складову є доцільним, але час налаштування фільтра під певний рівень завад займає час, що визначається частотою, з якою дані вимірів сигналу надходять до пристрою обробки інформації, кроком зміни коефіцієнта згладжування протягом процесу адаптації та рівнем завад;

– при використанні даного алгоритму для сигналів, що мають синусоїдальний характер ефективність роботи фільтра визначає співвідношення частоти вимірів сигналу до частоти зміни форми сигналу. Чим більше це співвідношення, тим якісніше буде відбуватись фільтрація і прогнозування;

– втрати інформації про форму і значення сигналу можуть мати місце у випадках різкої зміни траєкторії сигналу, величина втрати визначається співвідношенням, що наведено у попередньому твердженні.

Список літератури

1. Боряк Б. Р. Алгоритм згладжування та прогнозування сигналу на основі експоненціального фільтра моделі Брауна / Б. Р. Боряк, А. М. Сильвестров. // Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – № 4(44). – С. 150–152.
2. Боряк Б.Р. Дослідження алгоритму згладжування і налаштування адаптивного фільтра Брауна при зміні амплітуди шумів/ Б. Р. Боряк // 69 наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, квітень-травень, 2017р., - Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. Том 1, С – 4-6.
3. Боряк Б. Р. Трикоптурний адаптивний експоненціальний фільтр-екстраполятор / Б. Р. Боряк, А. М. Сильвестров. // Збірник наукових праць. Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – №45. – С. 6–8.

Надійшла до редколегії 20.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, доц. О.В. Шульга, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОГО ДВУХКОНТУРНОГО ФИЛЬТРА-ЭКСТРАПОЛЯТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ СИГНАЛА

Б.Р. Боряк, А.М. Сильвестров

В данном исследовании мы провели анализ работы адаптивного двухконтурного фильтра-экстраполятора, работающего по принципу двойного экспоненциального сглаживания Брауна. Суть исследования заключалась в определении систем, где эффективно может быть применен данный алгоритм обработки информации, в зависимости от формы сигналов, которыми руководствуются системы. В течение исследования рассматривались сигналы, что описываются функциями псевдослучайных чисел, линейной функцией, квадратичной функцией, синусоидальной функцией. Были определены основные преимущества и недостатки в алгоритме обработки информации.

Ключевые слова: двойное экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, сигнал, коэффициент сглаживания.

ANALYSIS OF THE ADAPTIVE TWO-LOOP FILTER EXTRAPOLATOR EFFICIENCY USAGE ACCORDING TO THE SIGNAL SHAPE

B.R. Boriak, A.M. Silvestrov

In this research we analyzed the work of the adaptive two-loop filter extrapolator, which is functioning according to the Brown's double exponential smoothing. The aim of the research was to determine the systems in which the algorithm could be used according to the shape of the signals. During the research we used the pseudorandom number function signals, linear function signals, quadratic function signals and sine function signals. As a result, we determined the main advantages and disadvantages of the data processing algorithm.

Keywords: double exponential smoothing, noise, forecast, signal, smoothing factor.