

УДК 519.218.82

Б.Р. Боряк, А.М. Сільвестров

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ТРИКОНТУРНИЙ АДАПТИВНИЙ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИЙ ФІЛЬТР-ЕКСТРАПОЛЯТОР

У дослідженні було розглянуто метод, що дозволяє зробити висновок про якість фільтрації сигналу за допомогою порівняння інформації, отриманої із трьох контурів фільтрації, що функціонують за однаковим принципом, але із різними параметрами. У основі кожного контуру лежить комбінація фільтруючих одиниць, принцип роботи яких базується на основі подвійного експоненціального згладжування Брауна. Даний метод може бути використаний для оцінки процесу, що відслідковується, фільтрації сигналів систем керування, а також систем вимірювання.

Ключові слова: подвійне експоненціальне згладжування, шум, прогноз, корисний сигнал, ноніусний принцип підключення, коефіцієнт згладжування.

Вступ

Цифрові фільтри, на сьогоднішній день, досить широко застосовуються у сферах, де необхідно провести обробку сигналу, наприклад у системах вимірювань, наведенні, навігації та керуванні.

У даному випадку ми розглядаємо процес фільтрації як процес згладжування та прогнозування часового ряду. Часові ряди можуть бути використані як метод опису процесу в статистиці, обробці сигналів, розпізнаванні образів, фінансовій математиці, розумному транспорті та передбаченні траєкторій, автоматичному керуванні, астрономії, технологіях зв'язку, а також значною мірою в будь-якій області прикладної науки та інженерії, яка включає часові вимірювання. Певною особливістю прогнозування часових рядів те, що аналіз відбувається лише із використанням вимірних даних, без опису роботи об'єкта або впливу зовнішніх сил.

Робота більшості фільтрів, як і якість фільтрації, зазвичай, тісно пов'язані із амплітудою шумів. Цей факт обумовлює необхідність наявності адаптації параметрів фільтра до зміни амплітуди шумів.

Постановка проблеми

Принцип роботи триконтурного адаптивного експоненціального фільтра екстраполятора базується на подвійному експоненціальному згладжуванні Брауна:

$$S_t' = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}' ; \quad (1)$$

$$S_t'' = \alpha \cdot S_t' + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1}'' , \quad (2)$$

де $0 < \alpha < 1$ – коефіцієнт фільтрації (згладжування) алгоритму згладжування і прогнозування;

S_t' і S_t'' – значення згладженого сигналу після першого і другого згладжування відповідно у момент часу t .

S_{t-1}' і S_{t-1}'' – значення згладженого сигналу після першого і другого згладжування відповідно у момент часу $t-1$.

y_t – поточне значення сигналу, отримане із вимірювального пристрою у момент часу t .

Вищевказані рівняння описують роботу фільтруючих одиниць, що в свою чергу об'єднуються по принципу ноніусного (уточнюючого) підключення, що дозволяє частково компенсувати недоліки експоненціального згладжування. Детально принцип підключення і алгоритм обробки інформації описаний у роботі [1].

Окрім того були проведені дослідження по створенню двоконтурного адаптивного алгоритму обробки інформації [2]. Після аналізу його роботи було визначено недоліки, для опису яких необхідно визначити послідовність механізму адаптації фільтра. Перейдемо від представлення подвійного експоненціального згладжування Брауна із неперервного у дискретний вигляд.

Першим етапом процесу адаптації двоконтурного фільтра є згладжування сигналу і отримання прогнозованого згладженого сигналу $\hat{x}(k+m)$ після обробки вхідного сигналу, що поступає на два контури MSoDES (modified structure of double exponential smoothing) із різними коефіцієнтами згладжування. Визначення похибки прогнозу відбувається шляхом віднімання відфільтрованого прогнозованого затриманого на m кроків сигналу від вхідного сигналу.

Отримані похибки прогнозу $\varepsilon_1(k)$ та $\varepsilon_2(k)$ будуть спотворені шумом і, за рахунок цього, їх порівняння не дає об'єктивно оцінити, який із контурів показує вищу якість фільтрації.

Інформацію, що визначає рівень похибки прогнозу можна виділити шляхом віднімання $|\varepsilon_1(k)|$ від

$|\varepsilon_2(k)|$, таким чином прибираючи вплив шумів. Накопичення даної інформації протягом t значень, і знаходження її суми дасть об'єктивну оцінку про те, який із контурів фільтрації показує кращу якість. Порівнюючи суми різниць модулів похибок прогнозу за поточні t кроків і попередні t кроків можна зробити наступний висновок.

Припустимо, що при знаходженні різниці, віднімається значення модуля похибки прогнозу контуру із меншим значенням коефіцієнта згладжування від контуру із більшим значенням α . Якщо сума значень різниць модулів похибок прогнозу за поточні t кроків буде більшою, аніж за попередні t кроків, то це значить, що контур із меншим значенням показує вищу якість фільтрації та прогнозу, отже α зменшується, і навпаки.

Значення прогнозованого згладженого сигналу протягом процесу фільтрації знімається із одного контуру. Це створює один із вагомих недоліків, так як зміна α торкається двох контурів одночасно.

Щоб визначити недоліки двоконтурного фільтруючого алгоритму, було проведено ряд випробувань у середовищі моделювання Matlab, сам алгоритм був реалізований у вигляді програми на мові програмування Matlab.

У даному випадку різниця між коефіцієнтами згладжування складає $\alpha_1 = 0.5 \cdot \alpha$. Ця зміна призводить до перерозподіл вагових коефіцієнтів рівнянь (1) і (2).

Відповідно до цього має місце втрата корисної інформації, як це показано на рис. 1.

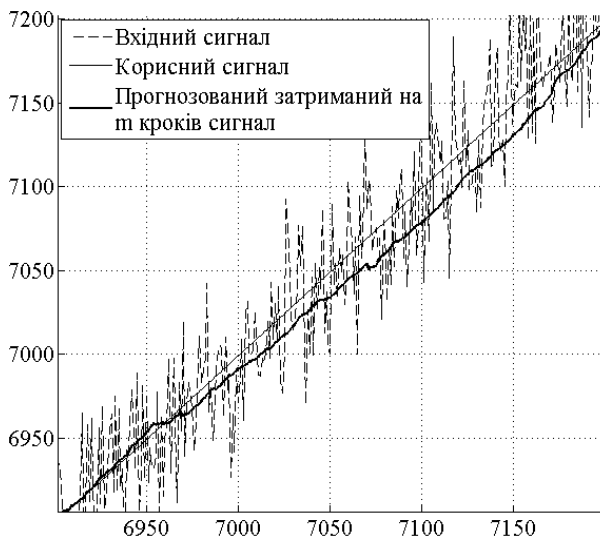


Рис. 1. Вхідний, корисний і прогнозований затриманий на m кроків сигнал під час адаптації α

Даний ефект має місце бути у випадку, коли кількість вимірів, що використовується для оцінки якості роботи контурів фільтрації невелика, а також, коли α має тенденцію до зменшення, протягом певного періоду адаптації, як це показано на рис. 2.

Якщо рівень шумів у системі не змінюється протягом певного часу, то коефіцієнт згладжування набуває значення близького до оптимального і коливається навколо цього значення.

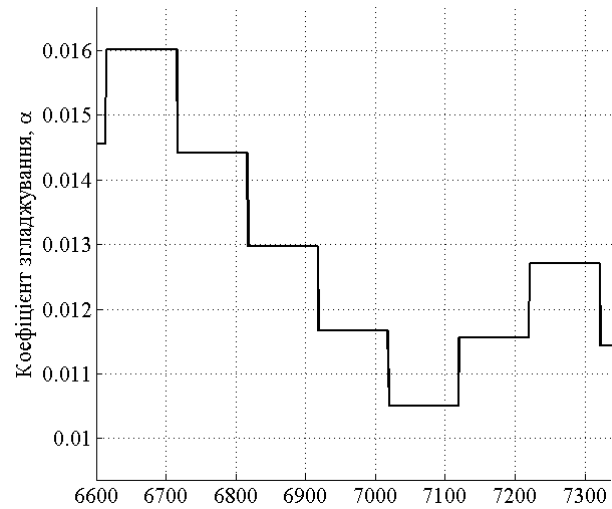


Рис. 2. Адаптація коефіцієнта згладжування α

Найвищу якість прогнозу та згладжування даний алгоритм показує у випадку постійного коефіцієнта згладжування, а при його перманентному коливанні має місце не значена втрата інформації. Це також пояснюється зміною вагових коефіцієнтів рівнянь (1) і (2).

Адаптація та виведення інформація у моделі з трьома контурами фільтрації

Процес адаптації коефіцієнта згладжування у моделі з трьома контурами фільтрації майже не відрізняється від моделі із двома контурами фільтрації. Головна відмінність у роботі триконтурного фільтра – це наявність контуру виведення інформації.

Структурна схема даного алгоритму зображена на рис. 3. Як і у алгоритмі обробки інформації із двома контурами, на вхід системи надходить сигнал із шумами. Три контури із різними коефіцієнтами згладжування обробляють інформацію і на виході ми отримуємо прогнозоване згладжене значення сигналу.

Коефіцієнти згладжування у контурах рівні

$$\alpha_1 = \alpha, \alpha_2 = \alpha_1 + \Delta\alpha, \alpha_3 = \alpha_1 - \Delta\alpha.$$

Як і у двоконтурного фільтра у безпосередньому процесі оцінювання якості прогнозування і згладжування використовується два контури. Після оцінювання і визначення того, який із контурів показує кращу якість прогнозу цей контур, умовно кажучи, приймає роль середнього контуру, і його коефіцієнт згладжування продовжує працювати із тим же значенням, що і раніше. Два інших контури приймають значення α_2 і α_3 .

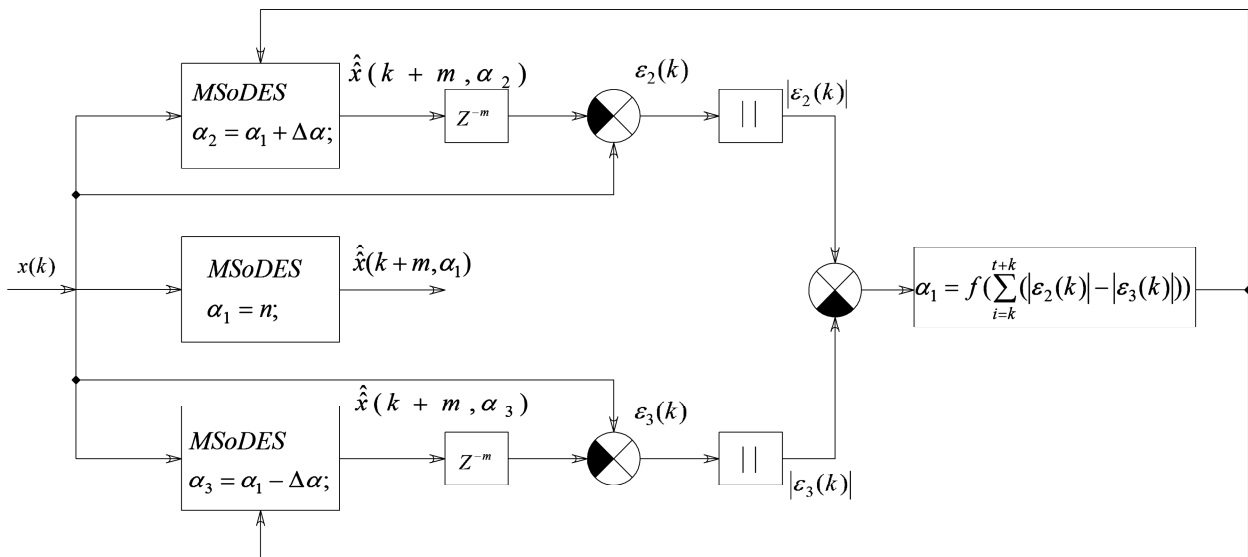


Рис. 3. Структурна схема адаптації трьохконтурного фільтра-екстраполятора

Висновки

У результаті дослідження було проведено аналіз роботи двоконтурного адаптивного фільтра та визначено його недоліки. Запропоновано модель триконтурного адаптивного фільтра-екстраполятора.

Установлено, що вищеповисаний алгоритм роботи дозволяє зменшити втрату корисної інформації за рахунок введення контуру виведення інформації. Даний контур можна описати як повноцінну складову алгоритму обробки інформації, що на відміну від двоконтурного фільтра не піддається зміні коефіцієнта згладжування безпосередньо. Після кожного оцінювання якості один із «крайніх» контурів, що показав кращу якість прогнозу визначається центральним, а два інші контури починають виконувати роль «крайніх».

Даний алгоритм може бути інтегрований у системи автоматичного керування у вигляді програмного коду, що дозволяє додатково обробити отриману

інформацію із датчиків або бути застосований у каналах інформації, що піддаються шумам.

Список літератури

1. Боряк, Б. Р.; Сильвестров, А. М. Алгоритм згладжування та прогнозування сигналу на основі експоненціального фільтра моделі Брауна. 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 // Тези доповідей 69 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету, квітень-травень, 2017 р., - Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка. Том 1, С 4-6.

Надійшла до редколегії 16.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний телекомунікацій, Київ.

ТРЕХКОНТУРНЫЙ АДАПТИВНЫЙ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР-ЭКСТРАПОЛЯТОР

Б.Р. Боряк, А.М. Сильвестров

В исследовании был рассмотрен метод, позволяющий сделать вывод о качестве фильтрации сигнала посредством сравнения информации, полученной из трех контуров фильтрации, функционирующих по одинаковому принципу, но с разными параметрами. В основе каждого контура лежит комбинация фильтрующих единиц, принцип работы которых базируется на основе двойного экспоненциального сглаживания Брауна. Данный метод может быть использован для оценки отслеживаемого процесса, фильтрации сигналов систем управления, а также систем измерения.

Ключевые слова: двойное экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, полезный сигнал, нониусный принцип подключения, коэффициент сглаживания.

THREE-LOOP ADAPTIVE EXPONENTIAL FILTER-EXTRAPOLATOR

B.R. Boriak, A.M. Silvestrov

The research examined a method that allows us to estimate the quality of signal filtration by comparing information obtained from three filtration loops that operate on the same principle but with different parameters. Filtering loop is the combination of the simple filtering units, the principle of which is based on the Brown's double exponential smoothing. This method can be used to evaluate different process, to filter signals from control systems and measuring systems.

Keywords: double exponential smoothing, noise, forecast, tracking signal, nonius connection principle, smoothing factor.