УДК 621.317.18

В.Ю. Кучерук, д.т.н.
І.В. Коломійчук

ВИКОРИСТАННЯ РЕКУРСИВНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИПАДКОВИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

В даній статті розглянуто використання методів ковзного середнього, розроблено математичні моделі рекурсивних фільтрів та запропоновано спосіб їх використання у вимірювальній техніці.

Ключові слова: *фільтр, випадкова похибка, алгоритм усереднення, вимірювальний сигнал, математична модель.*

Вступ

Випадкові похибки проявляються при багаторазових вимірюваннях однієї фізичної величини в однакових умовах одним оператором і за допомогою одного і того самого засобу вимірювання [1].

Похибки вимірювань зазвичай носять випадковий характер. Випадковість зумовлюється: нестаціонарністю і випадковим характером вимірюваної фізичної величини; несталістю метрологічних характеристик засобів вимірювань, яка визначається випадковим характером формування коефіцієнтів перетворення вимірювальних пристроїв; випадковим характером впливу зовнішніх факторів на засіб вимірювання у процесі вимірювального експерименту.

При побудові багатьох засобів вимірювання постає задача зменшення випадкових похибок під час проведення вимірювання. В даній статті розглядаються рекурсивні фільтри, які використовуються для вирішення таких задач, як усереднення в реальному часі і зменшення випадкових похибок вимірювання. Розглянемо алгоритми роботи рекурентних фільтрів.

Мета

Метою роботи є аналіз способів підвищення точності вимірювань за рахунок зменшення випадкових похибок вимірювання, що отримано використанням рекурсивних фільтрів.

Аналіз досліджень і публікацій

Ковзне середнє - один з поширених методів згладжування. Даний метод широко використовується для відображення змін котирувань, цін, річних коливань температур і т.д. Метод так само може бути вельми корисний у цифровій обробці сигналів для усунення високочастотних складових і шумів, тобто він може бути використаний як фільтр низьких частот у вимірювальній техніці.

Нехай є оцифрований сигнал S (n), де n - номер звіту у вибірці сигналу. Застосувавши метод ковзного середнього, отримуємо сигнал F (n).

З групи методів ковзного середнього самим простим є *метод простого середнього ковзного за n-вузлами* [2]. В цьому методі середнього фіксованого числа n-останніх спостережень використовується для оцінки наступного значення рівня ряду. Значення прогнозу, отриманого методом простого середнього ковзного, завжди менше фактичного значення, якщо вихідні дані монотонно зростають, і навпаки більше фактичного значення, якщо вихідні данні монотонно зменшуються. Ось тому за допомогою простого середнього ковзного не можна отримати точних прогнозів. Цей метод краще всього підходить для даних з невеликим випадковим відхиленням від деякого постійного або повільно зростаючого значення.

Метод простого ковзного середнього виникає в результаті того, що при обчисленні прогнозованого значення саме останнє спостереження має таку ж вагу (значущість), як і попереднє, тобто присвоєння рівної ваги, суперечить інтуїтивному уявленню про те, що у багатьох випадках останні дані несуть інформацію про найближче майбутнє, ніж попередні; а також необхідно зберігати великий обсяг інформації.

Метод зваженого ковзного середнього в основі якого лежить ідея, що останні дані важливіше попередніх. Цей метод заснований на властивості середнього погашати випадкові відхилення від загальної закономірності. Розрахунок ковзного середнього здійснюється за простим середнім арифметичним із заданого числа рівнів ряду, з відкиданням, при обчисленні кожного нового середнього, попереднього рівня і приєднанням наступного. Згладжування методом простого середнього ковзного полягає в тому, що обчислюється середній рівень з 3, 5, 7 і т.д. рівнів. В результаті, розрахунок середнього, як би, ковзає від початку ряду динаміки до його кінця. При непарному кроці кожне обчислене ковзне середнє відповідає реальному інтервалу (моменту) часу, що знаходиться в середині кроку (інтервалу), а число згладжених рівнів, менше первинного числа рівнів на величину кроку ковзного середнього, зменшеного на одиницю [2, 3].

Якщо крок ковзного середнього виражений парним числом, то отримані ковзні середні центрують. Операція центрування полягає в повторному ковзанні з кроком, рівним двом. Число рівнів згладженого ряду буде менше на величину кроку ковзного середнього.

Визначення інтервалу згладжування (числа рівнів, що до нього входять) залежить: якщо необхідно згладити безладні коливання, то інтервал згладжування беруть великим (до 5-7 рівнів); якщо ж є необхідність зберегти періодично повторювані коливання, то інтервал згладжування зменшують до 3 рівнів.

Отже, щоб усунути всі вищевказані недоліки, а саме необхідність зберігання великої кількості інформації, і при цьому отримувати більш точні дані, зменшенням випадкових похибок вимірювання, використаємо алгоритми усереднення для створення фільтрів.

Викладення основного матеріалу

Алгоритм усереднення із безкінечною пам'яттю. Нехай на сигнал постійної величини s накладається випадкова завада $n(k)$ з математичним очікуванням $E\{n(k)\}=0$, так що вимірюваний сигнал описується співвідношенням [4]

$$y(k)=s+n(k). \tag{1}$$

Визначаючи оцінку постійного сигналу за методом найменших квадратів з функцією втрат

$$V=\sum_{k=1}^{N} e^2(k)=\sum_{k=1}^{N}[y(k)-\hat{s}]^2, \tag{2}$$

з умови $dV/ds=0$ отримаємо формулу

$$\hat{s}(N)=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} y(k). \tag{3}$$

Для побудови рекурентного варіанту алгоритму досить відняти із (3) попередню оцінку $\hat{s}(N-1)$

$$\hat{s}(k)=\hat{s}(k-1)+\frac{1}{k}[y(k)-\hat{s}(k-1)]. \tag{4}$$

Із аналізу виразу (4) слідує, що даний алгоритм можна використати, якщо s - постійна величина. Із збільшенням k похибки $e(k)$, а внаслідок, і нові вимірювання входять у вираз (4) з усе меншою вагою. На рисунку 1 наведено приклад використання алгоритму усереднення з безкінечною пам'яттю.

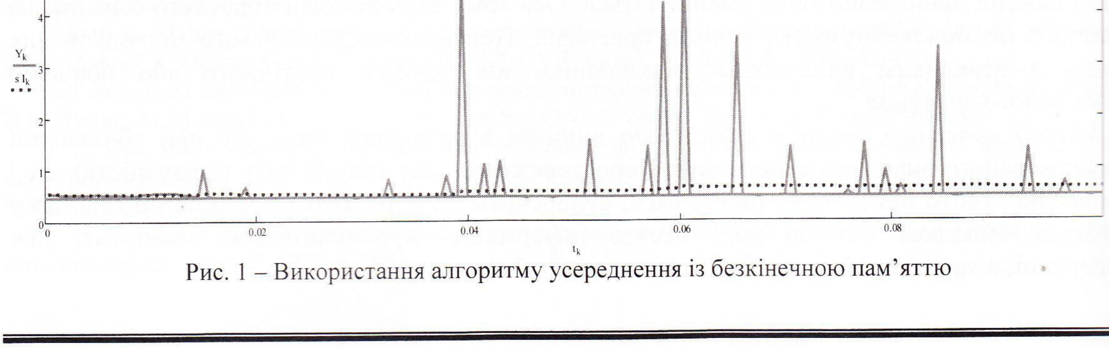

Рис. 1 – Використання алгоритму усереднення із безкінечною пам'яттю

Алгоритм усереднення з постійним коефіцієнтом корекції. Якщо коефіцієнт k в (4) «заморозити», прийнявши $k = k_1 = const$, вага всіх нових вимірювань, що поступають, будуть однакові

$$\hat{s}(k) = \hat{s}(k-1) + \frac{1}{k_1}\left[y(k) - \hat{s}(k-1)\right] = \frac{k_1 - 1}{k_1}\hat{s}(k-1) + \frac{1}{k_1}y(k). \quad (5)$$

Приклад роботи наведено на рисунку 2. Вибираючи величину коефіцієнта k_1, можливо задавати різну ступінь усереднення вхідних даних.

Цей алгоритм може бути описаний дискретною передатною функцією

$$\frac{\hat{s}(z)}{y(z)} = \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1}} \quad (6)$$

з параметрами $a_1 = -(k_1 - 1)/k_1$, $b_0 = 1/k_1$.

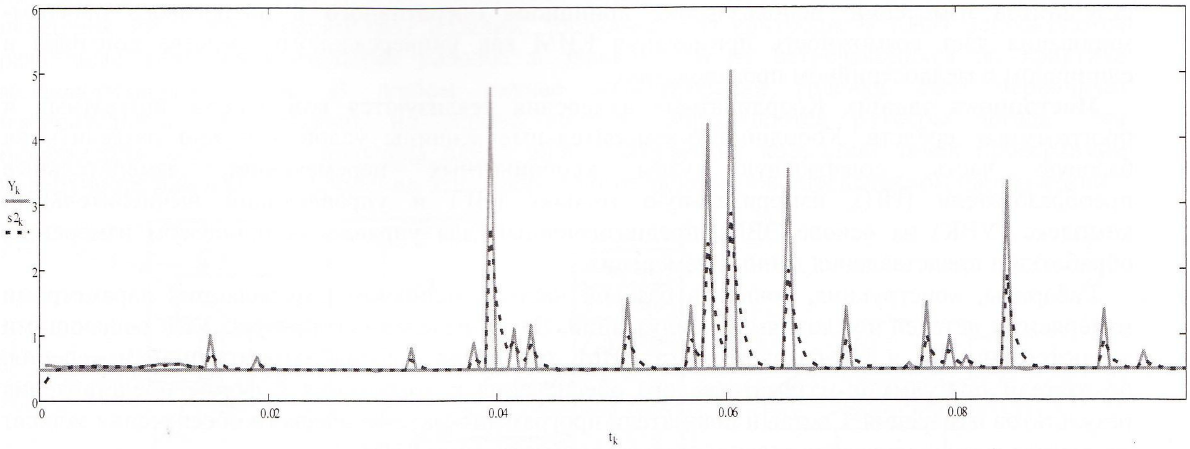

Рис. 2 – Використання алгоритму усереднення з постійним коефіцієнтом корекції

Висновки

Із тестових прикладів моделювання процесів усереднення (рис.1, 2) видно, що:

- вищенаведені алгоритми усереднення відслідковують низькочастотні компоненти і одночасно подавляють високочастотні складові вимірюваного сигналу, їх можна розглядати як спеціальні форми дискретного низькочастотного фільтра;
- дискретний фільтр на основі алгоритму усереднення із безкінечною пам'яттю відфільтровує високочастотні складові за рахунок того, що нові вимірювання входять з усе меншими вагами. Фільтр придатний для оцінювання поточного середнього значення даних;
- результати усереднення на основі алгоритму усереднення постійним коефіцієнтом корекції полягає у кращому виділенні локальних особливостей сигналу фільтром.

Список літературних джерел

1. В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 522 с.
2. Р. Лайонс. Цифровая обработка сигналов. М. : Бином-Пресс, 2006. – 656 с.
3. Т.С. Ратхор. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. Москва: Техносфера, 2004. – 376 с.
4. Р. Изерман. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. – 541 с.

1. Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т., Грабко В.В. Основи метрології та електричних вимірювань: підручник - Вінниця: ВНТУ, 2012. - 522 с.
2. Р. Лайонс Цифровая обработка сигналов. М.: Бином-Пресс, 2006. - 656 с.
3. Т.С. Ратхор Цифровые измерения. Методы и схемотехника. Москва: Техносфера, 2004. - 376 с.
4. Р. Изерман Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984. - 541 с.