

Запропонований спосіб відноситься до обчислювальної техніки і може бути використаний для вимірювання математичного сподівання нестационарних негауссівських випадкових процесів та застосовуватись в інформаційно-вимірювальних системах радіотехніки, автоматичного управління та інш.

Відомий спосіб вимірювання математичного сподівання випадкового процесу, що наведено в роботі [1, 269], складається з подачі випадкового процесу на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), що здійснює дискретизацію неперервного випадкового процесу, після чого однаково розподілені некорельовані дискретні числові значення подаються на вхід пристрою для усереднення, який обчислює арифметичне середнє числових значень, що поступають на його вхід, з отриманням результату значення оцінки математичного сподівання на його виході.

При застосуванні такого способу оцінка математичного сподівання є лінійною функцією від вхідної послідовності вибірових значень і не враховує відмінності закону розподілу ймовірностей від гауссівського, що обумовлює її низьку точність.

Найбільш близьким до запропонованого є спосіб вимірювання математичного сподівання випадкового процесу [2], який складається з подачі випадкового процесу на аналого-цифровий перетворювач, що здійснює дискретизацію вхідного неперервного випадкового процесу, після чого дискретні числові значення подаються на два входи перемножувача (квадратора), на виході якого отримують квадрати вибірових значень випадкового процесу, які подають на додатково встановлений пристрій усереднення вибірових значень, з виходу якого арифметичне середнє квадратів числових значень інвертується інвертором та подається на один з чотирьох входів суматора, на другий вхід якого подається значення дисперсії випадкової величини, яке одночасно подається на дільник, де його розділяють на величину, отриману з виходу додаткового перемножувача, на два входи якого подається значення коефіцієнту асиметрії, при цьому вихід дільника з'єднаний з третім входом суматора, а на четвертий вхід подається величина з виходу другого додаткового перемножувача, на два входи якого подається арифметичне середнє числових значень, яке отримується, на виході пристрою для усереднення, на вхід якого подаються вибірові значення з виходу аналого-цифрового перетворювача, після чого величина з виходу суматора подається на вхід блоку зведення в ступінь, а вихідна величина, що дорівнює квадратному кореню від вхідної величини, подається на один з трьох входів вихідного суматора, на інші входи якого подають арифметичне середнє числових значень та величину, яка формується з виходу дільника після обчислення операції добування квадратного кореня в додатковому блоці зведення в ступінь та інвертування цієї величини додатковим інвертором.

Недоліком такого способу вимірювання математичного сподівання випадкового процесу є необхідність установки опорної напруги, яка пропорційна величині заданого коефіцієнту асиметрії, що обмежує область застосування способу випадком вимірювання математичного сподівання випадкового процесу з постійним коефіцієнтом асиметрії, значення якого відоме.

Задача корисної моделі полягає в удосконаленні способу вимірювання математичного сподівання випадкового процесу з досягненням технічного результату: зменшити обсяг апріорної інформації про випадковий процес та підвищити точність способу вимірювання математичного сподівання випадкового процесу з коефіцієнтом асиметрії, значення якого змінюється. Це досягається тим, що випадковий процес подається на аналого-цифровий перетворювач, що здійснює дискретизацію вхідного неперервного випадкового процесу, після чого дискретні числові значення подаються на два входи перемножувача (квадратора), на виході якого отримують квадрати вибірових значень випадкового процесу, які подають на перший додатковий пристрій для усереднення, з виходу якого арифметичне середнє квадратів числових значень інвертується інвертором та подається на один з чотирьох входів суматора, на другий вхід якого подається справжнє значення дисперсії випадкової величини, яке одночасно подається на дільник, де його розділяють на величину, отриману з виходу першого додаткового перемножувача, на два входи якого подається значення коефіцієнту асиметрії, при цьому вихід дільника з'єднаний з третім входом суматора, а на четвертий вхід подається величина з виходу другого додаткового перемножувача, на два входи якого подається арифметичне середнє числових значень, яке отримується, на виході пристрою для усереднення, на вхід якого подаються вибірові значення з виходу аналого-цифрового перетворювача, після чого величина з виходу суматора подається на вхід блоку зведення в ступінь, а вихідна величина, що дорівнює квадратному кореню від вхідної величини, подається на один з трьох входів першого додаткового суматора, на інші входи якого подають арифметичне середнє числових значень та величину, яка формується з виходу дільника після обчислення операції добування квадратного кореня в першому додатковому блоці зведення в ступінь та інвертування цієї величини першим додатковим інвертором, згідно винаходу, значення коефіцієнту асиметрії подається з виходу ключа, який комутує або апріорно відоме справжнє або оціночне значення коефіцієнту асиметрії, яке формується на виході додаткового дільника, на один вхід якого подається справжнє значення дисперсії випадкової величини, зведене в ступінь $3/2$ в другому додатковому блоці зведення в ступінь, де на нього розділяють величину, отриману з виходу другого додаткового суматора, на один вхід якого подається середнє арифметичне кубів вибірових значень, обчислене другим додатковим пристроєм для усереднення, після подачі на його вхід послідовності кубів вибірових значень, яка формується на виході третього додаткового перемножувача, на один вхід якого подаються вибірові значення з виходу аналого-цифрового перетворювача, а на другий вхід подаються квадрати вибірових значень з виходу перемножувача, при цьому на другий вхід другого додаткового суматора подається величина інвертована другим додатковим інвертором, яка отримується на виході четвертого додаткового перемножувача, на один вхід якого подається арифметичне середнє числових значень, а на інший вхід подається величина з виходу третього додаткового суматора, призначеного для підсумовування величини, що отримується з виходу другого додаткового перемножувача і величини, що формується на виході п'ятого додаткового перемножувача, який служить для потроєння істинного значення дисперсії випадкової величини.

Даний спосіб застосовується для випадкових величин, у яких існують моменти до четвертого порядку включно. Математичне сподівання а дискретного випадкового процесу є невідомим параметром і підлягає вимірюванню (оцінці), значення дисперсії k_2 відоме апріорно, а значення коефіцієнту асиметрії γ_3 може бути як апріорним так і апостеріорним (оціночним).

В роботі [2] оцінка математичного сподівання, що враховує негауссовість випадкового процесу, обчислюється за формулою

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v - \frac{\sqrt{k_2}}{\gamma_3} + \left\{ \left(\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v \right)^2 - \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v^2 + k_2 + \frac{k_2}{\gamma_3^2} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де n - об'єм вибірки; $x_v, v = \overline{1, n}$ - вибіркові значення; k_2, γ_3 - відповідно дисперсія та коефіцієнт асиметрії дискретного випадкового процесу.

Необхідною умовою отримання оцінки (1) є лише наявність апіорної інформації про значення дисперсії k_2 . В інших випадках, при достатньому об'ємі вибірки ($n > 100$), замість апіорного значення коефіцієнту асиметрії γ_3 можна використовувати його апостеріорну оцінку $\bar{\gamma}_3$, знайдену методом моментів за тими самими вибірковими значеннями.

Згідно з методом моментів оцінка коефіцієнту асиметрії знаходиться за формулою

$$\bar{\gamma}_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v^3 - a(a^2 + 3k_2)}{k_2^{3/2}} \quad (2)$$

де a - апіорне значення математичного сподівання.

Замість апіорного значення математичного сподівання a у виразі (2) можна використовувати грубу оцінку \bar{a} , знайдену методом моментів

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v. \quad (3)$$

Підставляючи (3) в (2), отримаємо апостеріорну оцінку коефіцієнту асиметрії

$$\bar{\gamma}_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v^3 - \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v \left(\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v \right)^2 + 3k_2}{k_2^{3/2}}, \quad (4)$$

яка може використовуватись у формулі (1) замість величини γ_3 .

Точність виміру математичного сподівання негаусівського випадкового процесу при використанні апостеріорної оцінки коефіцієнту асиметрії трохи зменшується порівняно з випадком, коли інформація про значення коефіцієнту асиметрії присутня до початку експерименту, але при об'ємі вибірки $n > 100$ це погіршення не перевищує 5-10%. В результаті для оцінки математичного сподівання необхідна апіорна інформація лише про величину дисперсії.

Блок-схема, зображена на Фіг., ілюструє роботу способу вимірювання математичного сподівання та складається з аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 1, пристрою для усереднення 2, третього додаткового перемножувача 3, перемножувача 4, другого додаткового перемножувача 5, п'ятого додаткового перемножувача 6, четвертого додаткового перемножувача 7, другого додаткового пристрою для усереднення 8, першого додаткового пристрою для усереднення 9, третього додаткового суматора 10, другого додаткового блоку зведення в степінь 11, другого додаткового інвертора 12, другого додаткового суматора 13, інвертора 14, додаткового дільника 15, ключа 16, першого додаткового перемножувача 17, дільника 18, суматора 19, блоку зведення в степінь 20, першого додаткового інвертора 21, першого додаткового блоку зведення в степінь 22, першого додаткового суматора 23.

Вхідний випадковий процес з відомою дисперсією k_2 подається на вхід аналого-цифрового перетворювача 1, який здійснює дискретизацію неперервного випадкового процесу, на його виході отримується послідовність випадкових величин (вбірка). За допомогою перемножувача 4 отримуються квадрати вибірових значень. Лінійна та квадратична послідовності потрапляють відповідно на пристрої 2, 9, що вираховують арифметичне середнє числових значень, що поступають на їх вхід (операції накопичування та нормування). На виході пристрою 2 обчислюється лінійна усереднена статистика, що є грубою оцінкою математичного сподівання.

Шукане значення оцінки математичного сподівання знімається з виходу суматора 23, на який подаються груба лінійна оцінка \bar{a} та дві величини (складові), що відповідно до формули (1) коректують оцінку, роблячи її більш точною з урахуванням можливої асиметричності процесу.

Перша корегуюча складова, що подається на суматор 23, дорівнює квадратному кореню, що обчислюється блоком 20, від суми, що отримується на виході суматора 19, на входи якого подаються чотири складові. Перша складова підкореневого виразу, яка подається на вхід суматора 19 отримується з лінійної оцінки, яка підводиться до квадрату (подається на два входи перемножувача 5). Квадратична статистика, що обчислюється на виході блоку 9, інвертується блоком 14, і подається на другий вхід суматора 19. На третій та четвертий входи суматора 19 подають відповідно значення дисперсії випадкової величини та значення з виходу дільника 18, на перший вхід якого подають значення дисперсії, а на другий вхід подають квадрат значення коефіцієнта асиметрії, отриманого в блоці 17.

Друга складова, що подається на суматор 23, формується з виходу дільника 18 після обчислення операції добування квадратного кореня в блоці 22 та інвертування цієї величини в блоці 21.

Решта блоків формують апостеріорну оцінку коефіцієнту асиметрії. Режим роботи ключа 16 залежить від того, чи відоме до початку вимірювання значення коефіцієнту асиметрії. Якщо ця інформація відсутня, то необхідно встановити ключ 16 в положення 1 і на вхід перемножувача 17 буде подаватися оціночне значення

коефіцієнту асиметрії $\bar{\gamma}_3$, яке отримується на виході дільника 15, в якому величина з суматора 13 ділиться на значення дисперсії, піднесене до степені 3/2 в блоці 11.

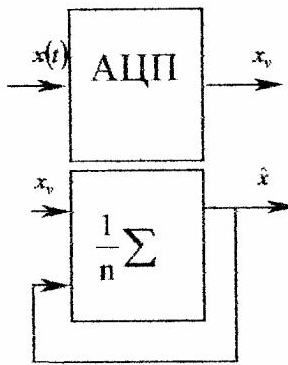
На один вхід суматора 13 подається середнє арифметичне кубів вибірових значень, обчислене в блоці 8, після подачі на його вхід послідовності кубів вибірових значень, яка формується на виході перемножувача 3, на один вхід якого подаються вибіркові значення з виходу аналого-цифрового перетворювача 1, а на другий вхід подаються квадрати вибірових значень з виходу перемножувача 4. На другий вхід суматора 13 подається

величина інвертована інвертором 12, яка отримується на виході перемножувача 7, на один вхід якого подається арифметичне середнє числових значень з блоку 2, а на інший вхід подається величина з виходу суматора 10. Суматор 10 призначений для підсумовування величини, що отримується з виходу перемножувача 5 і величини, що формується на виході перемножувача 6, який служить для обчислення добутку істинного значення дисперсії випадкової величини та константи 3.

У положенні 2 ключа 16 на вхід перемножувача 17 повинно подаватися відоме значення коефіцієнту асиметрії γ_3 . В цьому випадку блоки 3, 6-8, 10-13, 15 залишаються незадіяні.

Література

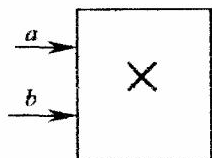
1. Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986. - 440с.
2. Деклараційний патент України на винахід №69668А; МПК G06F15/04. Заявл. 13.11.2003; Опубл. 15.09.2004, Бюл. №9. Спосіб вимірювання математичного сподівання випадкового процесу / Ю.П. Кунченко, О.С. Гавриш, С.В. Заболотній (прототип).



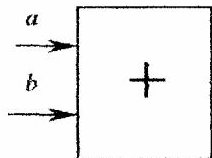
Блок, що виконує дискретизацію (аналого-цифрове перетворення) безперервного випадкового процесу;

Блок, що обчислює середнє арифметичне дискретних числових значень, що поступають на його вхід (складається з суматора та пристрою нормування на об'єм вибірки);

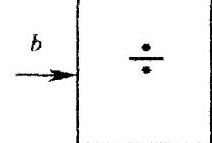
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v$$



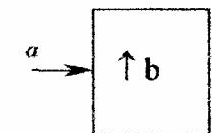
Блок, що обчислює добуток двох числових значень a та b;
 $c = a \cdot b$



Блок, що обчислює суму двох числових значень a та b;
 $c = a + b$



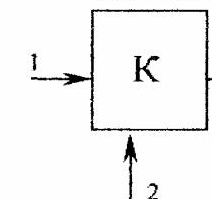
Блок, що виконує операцію ділення числа a на число b;
 $c = \frac{a}{b}$



Блок, що виконує операцію піднесення числа a до ступеня b,
 $c = a^b$



Блок, що виконує операцію інвертування числа



Ключ, що перемикає проходження на вихід 3 сигналів (числових значень) з входу 1 або входу 2.

