

Мануляк І.З.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Мельничук С.І.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗІ ЗБЕРЕЖЕННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ ДАНИХ

Побудова інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем ґрунтується на використанні первинних перетворювачів, які забезпечують формування сигналів щодо контрольованого параметру із визначеною інформаційною продуктивністю. На сучасному етапі розвитку цифрових систем формування і передача сигналів сенсорів в аналоговому представленні зазнає значних спотворень внаслідок дії завад комунікаційного каналу. З іншого боку, суттєве здешевлення та мініатюризація цифрових компонентів зумовили спрощення інтеграції АЦП у первинний перетворювач із подальшою організацією передачі даних у дискретному представленні.

У такій ситуації швидкість перетворення АЦП практично визначає інформаційну продуктивність первинного перетворювача як джерела інформації про контрольований параметр. Наявність похибки перетворення сенсора й АЦП, яка залежить від використаних схемних рішень, а також від швидкості перетворення, зумовлює потребу додаткового цифрового опрацювання таких сигналів, однак такий підхід, у свою чергу, приводить до зменшення інформаційної продуктивності джерела, оскільки потребує використання деякої множини вимірюваних даних, що може бути компенсовано зменшенням швидкості перетворення АЦП.

У статті розглянуто можливість застосування методів попереднього опрацювання сигналів первинних перетворювачів на прикладі інфрачервоного сенсора відстані SHARP 2Y0A21. Згаданий перетворювач має конструктивну можливість змінювати частоту формування вимірювальних даних, орієнтовно від 9 до 300 кГц. Проаналізовано можливість застосування ковзних методів опрацювання, що ґрунтуються на статистичному оцінюванні послідовних фрагментів сигналу сенсора і практично не зменшують інформаційної продуктивності, однак приводять до затримки появи вимірювальних даних після включення. Розглянуто статистичні оцінки, зокрема ковзні значення середнього, медіани та рекурсивного фільтру першого порядку з різними параметрами, а також досліджено вплив розміру фрагмента сигналу на середній квадратичний відхил внаслідок опрацювання.

Ключові слова: *первинний перетворювач, вимірювальний сигнал, інформаційна продуктивність, статистичні оцінки, цифрове опрацювання.*

Постановка проблеми. Однією із проблем, що виникають при проектуванні та імплементації цифрових інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем, є забезпечення прийнятної продуктивності зі збереженням експлуатаційної ефективності та точності. На сучасному етапі розвитку вимірювальні канали розподілених комп'ютерних систем здатні формувати потоки цифрових даних, що потребує створення спеціалізованих засобів для їх опрацювання та інтерпретації. До впливових чинників у такій ситуації слід віднести функціональні параметри сенсора та швидкість перетворення АЦП, зростання якої практично прямо пропорційно впливає на зростання похибки перетворення.

Вирішення такої проблеми може здійснюватися за рахунок вдосконалення апаратної частини або шляхом використання наявних чи розробки нових методів опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів. Слід зазначити, що використання сучасних платформ із обмеженими обчислювальними ресурсами може забезпечити прийнятну універсальність, а також відповідну компактність без суттєвого зростання вартості такого перетворювача порівняно з апаратними удосконаленнями, які практично потребують заміни частини обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] розглянуто методи цифрового опрацювання аналогових і дискретних сигналів, описано їхні

переваги та недоліки, однак слід зазначити, що характеристики інформаційно-вимірювальних сигналів первинних перетворювачів не завжди дозволяють ефективно застосовувати традиційні методи опрацювання. У матеріалах [2; 3] розглянуто методи опрацювання, які ґрунтуються на використанні частотних характеристик сигналів сенсорних елементів перетворювача, а також запропоновано застосування інформаційної ентропії для їх ідентифікації, що лише частково вирішує питання впливу спотворень, які зазнають вимірювальні дані. При створенні вимірювальних каналів із високою інформаційною продуктивністю виникає низка проблем, пов'язаних із опрацюванням потоків вимірювальних даних, зокрема експлуатаційної надійності та точності, які часто потребують застосування різних підходів і методів при опрацюванні.

Постановка завдання. Одним із варіантів вирішення вище описаних проблем може бути використання алгоритмічно простих методів попереднього опрацювання вимірювальних сигналів, котрі порівняно нескладно реалізувати на базі обчислювальних платформ із обмеженими обчислювальними ресурсами. Таким чином, провівши дослідження зміни середнього квадратичного відхилу результатів опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів первинного перетворювача, можна зробити обґрунтовані висновки щодо ефективності використання методів статистичного оцінювання, зокрема ковзні значення середнього, медіани, а також рекурсивного фільтру першого порядку.

Виклад основного матеріалу дослідження. У ході експериментальних досліджень використано ІЧ первинний перетворювач відстані SHARP 2Y0A21 F88, структурна схема якого подана на рис. 1а [4].

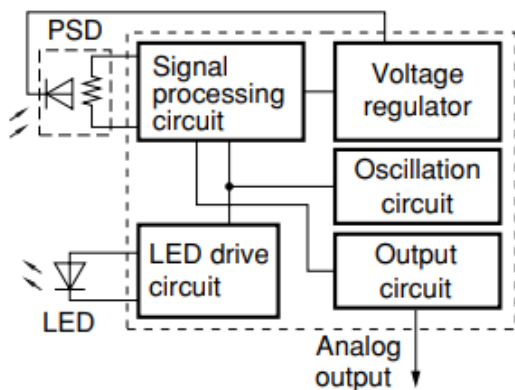


Рис. 1. Структурна схема перетворювача SHARP 2Y0A21 F88

Компактний перетворювач містить ІЧ-фотопару, виконання корпусу якої запобігає паразитному засвіченню фотоелемента, й апаратну реалізацію схеми формування аналогового вимірювального сигналу напруги, що пропорційна до відстані, яка вимірюється, див. рис. 1б. Діапазон можливих вимірювань відстані становить від 4 до 80 см.

Важливою конструктивною особливістю обраного первинного перетворювача є можливість апаратного налаштування частоти перетворення, яке задається через Prescaler шляхом управління бітами ADPS у регістрі ADCSRA. Значення біт і відповідно розраховані частоти формування вимірювального сигналу подано в табл. 1.

Таблиця 1

Зміна частоти перетворення через управління бітами АЦП prescaler ADP2.0

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Prescaler	Частота, кГц
0	0	1	2	-
0	1	0	4	307,6923
0	1	1	8	153,8462
1	0	0	16	76,92308
1	0	1	32	38,46154
1	1	0	64	19,23077
1	1	1	128	9,615385

Керування бітами у регістрі ADCSRA реалізовано на основі функцій cbi() та sbi(), які відповідно позначають обнулення (Clear Bit) і встановлення одиничного значення (Set Bit) вказаного біту, фрагменти реалізації програмного коду подано на рис. 3.

Цифри реалізації вимірювального сигналу із SHARP 2Y0A21 F88 формувалися за допомогою 12-тирозрядного аналого-цифрового перетворювача, інтегрованого в мікроконтролер ATmega

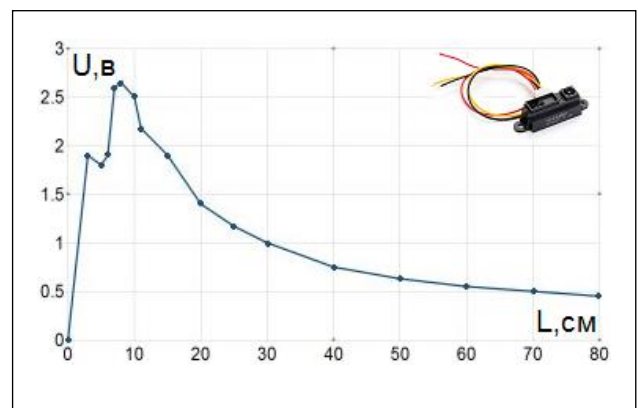


Рис. 2. Залежність напруги вихідного сигналу SHARP 2Y0A21 F88 від вимірюваної відстані

```

cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))

cbi(ADCSRA, ADPS2);
cbi(ADCSRA, ADPS1);
sbi(ADCSRA, ADPS0);
    
```

Рис. 3. Програма вимірювання відстані з використанням SHARP 2Y0A21

Установка подільника, що дорівнює 64 – частота дискретизації 19 кГц

328PU. Слід зазначити, що подальша реалізація нижче розглянутих методів попереднього опрацювання оцифрованого сигналу здійснювалися на базі згаданого мікроконтролера.

Експериментальні дослідження проводилися для відстаней: 5, 10, 30, 50 і 70 см до перпендикулярно розташованої поверхні білого кольору а також для різної частоти формування вимірювального сигналу, див. табл. 1. Частота перетворення обчислювалася як тактова частота АЦП (для ATmega 328PU складає 16 000 кГц), поділена на значення параметру Prescaler (128, 64, 32, 16, 8 або 4) і поділена на кількість тактів перетворення (13).

У ході дослідження було сформовано 5 вибірок розміром 2 048 елементів для кожної зі згаданих відстаней, за якими здійснювалися оцінювання СКВ до потокового опрацювання, результати подані у табл. 2.

Як можна побачити, величина СКВ збільшується зі збільшенням частоти формування вимірювальних даних (див. рис. 4), що приводить до збільшення похибки.

Крім того, проведено дослідження середнього квадратичного відхилення вимірювальних даних від відстані розташування датчика, результати яких представлено на рис. 5.

Як і в попередньому випадку, СКВ зростає зі зростанням відстані. Крім того, можна побачити, що при наближенні до межі діапазону вимірювання СКВ зростає як при збільшенні відстані, так і при збільшенні частоти формування вимірюваних даних. Одним із варіантів зменшення СКВ може бути використання потокових методів опрацювання сигналів, що ґрунтуються на ковзному статистичному оцінюванні його фрагментів. Зокрема, доцільно розглянути такі методи згладжування: ковзної медіани, ковзного середнього та фільтрів низьких порядків.

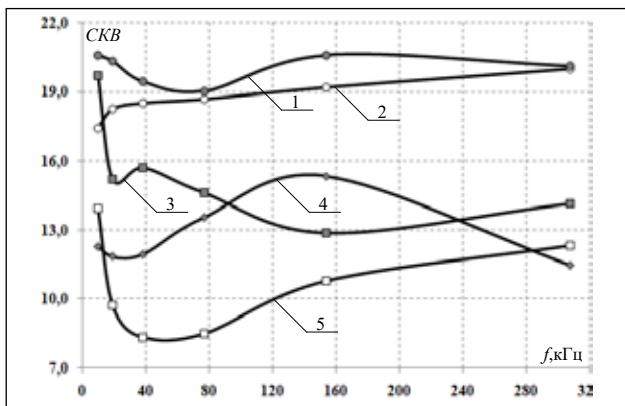


Рис. 4. Результати залежності середнього квадратичного відхилення від частоти вимірювання для відстані:
1 – 5 см, 2 – 10 см, 3 – 30 см, 4 – 70 см, 5 – 50 см

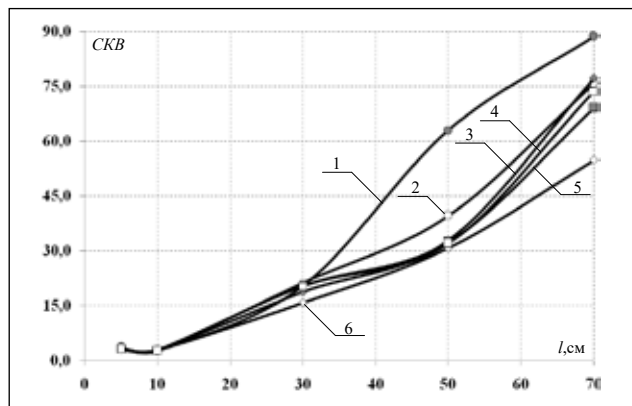


Рис. 5. Залежність СКВ від відстані для частот (кГц): 1 – 9,6; 2 – 19,2; 3 – 38,4; 4 – 76,9; 5 – 153,8; 6 – 307,7

Таблиця 2

Зміна СКВ залежно від частоти та відстані

Prescaler	Частота, кГц	СКВ				
		Відстань L (см)				
		5	10	30	50	70
128	9,615385	20,58119	17,39522	19,71240	13,90998	12,29046
64	19,23077	20,33863	18,26234	15,20889	9,707699	11,83141
32	38,46154	19,43639	18,52103	15,69466	8,330393	11,95170
16	76,92308	19,03617	18,68877	14,58861	8,480343	13,56093
8	153,8462	20,61447	19,18501	12,87286	10,76953	15,35073
4	307,6923	20,14672	20,00339	14,12450	12,30210	11,46320

За методу ковзної медіани медіана визначається у ковзному вікні, тобто середнє значення рівня у межах вікна замінюється медіаною рівнів у вікні [5, с. 111]. Ковзна медіана (SMM) – функція, значення якої в кожній точці визначення чисельно дорівнює медіані значень вихідної функції за встановлений період:

$$SMM_v = \text{Median}(y_i, y_{i-1}, \dots, y_{i-n+1})$$

де SMM_i – значення простої ковзної медіани в точці t ; n – кількість значень вихідної функції для розрахунку ковзної медіани (згладжуючий інтервал); y_{i-1} – значення вихідної функції у точці $i-1$.

Результати використання методу ковзної медіани представлені на рис. 6 (крива 4 та 5).

Суть методу ковзного середнього полягає у тому, що вздовж часового ряду переміщується від рівня до рівня «вікно» розміром $w = 2k + 1$ рівнів, всередині якого визначається значення середнього арифметичного рівнів у вікні та замінюється ним значення відповідного рівня оригінального ряду за алгоритмом [2]:

$$\tilde{y}_i = y_1^* + y_2^* + K + y_k^* + \sum_{j=k+1}^{N-2k} \left[\frac{1}{w} \sum_{i=j}^{j+2k+1} y_i \right] + y_{N-k}^* + K + y_{N-1}^* + y_N^*$$

Результати представлені на рис. 5 – криві 2 та 3.

Як можна побачити з рис. 5, загальне зменшення СКВ спостерігається, проте характер кривої є близьким до СКВ без використання методів згладжування.

На наступному етапі досліджень розглянуто використання фільтра першого порядку з різними параметрами – a_0 , b_1 та b_2 . Практично фільтрація є однією з найпоширеніших операцій вилучення неінформативних складових частин із різних типів сигналів, зокрема основною метою

такого опрацювання традиційно є усунення завад, що містяться в сигналі або у виділенні окремих складників сигналу, які відповідають тим чи іншим властивостям досліджуваного процесу.

При використанні рекурсивних цифрових фільтрів вихідний сигнал у момент часу $t = nT$ визначають значенням вхідного сигналу x у цей самий момент часу, а також значеннями вихідних і вхідних сигналів у попередні моменти часу, тобто:

$$y_i = -ay_{i-1} + b_1x_i + b_0x_{i-1},$$

де y_i – значення рекурсивного цифрового фільтра в точці i ; y_{i-1} – значення рекурсивного цифрового фільтра в точці $i-1$; i – число, яке вказує на порядковий номер отриманих даних; a – коефіцієнт, що застосовується до попереднього (відфільтрованого) значення y_{i-1} , для забезпечення адекватної роботи фільтра частот необхідно значення коефіцієнта були у межах $|a| < 1$; b_0 та b_1 – коефіцієнти, які застосовуються до вхідних необроблених даних. Коефіцієнти передавальної функції цифрового фільтра нижніх частот першого порядку повинні відповідати формулі: $b_0 = b_1 = (1 + a) / 2$.

У ході проведення досліджень використано коефіцієнт a – 0,0005; 0,005; 0,05 та 0,1 з відповідно перерахованими коефіцієнтами b_0 та b_1 . Результати представлені на рис. 7.

Як можна побачити, у разі застосування рекурсивних фільтрів крива повністю повторює криву без застосування методів згладжування (рис. 7, крива 1) незалежно від коефіцієнта a .

Узагальнені результати порівняння розглянутих методів як різниця між СКВ до процедури потокового опрацювання вимірювальних сигналів і після подано на рис. 8.

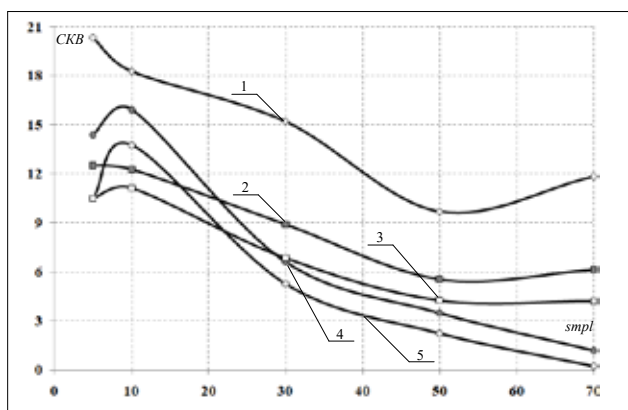


Рис. 6. Результати залежності середнього квадратичного відхилення
 1 – без застосування методів згладжування;
 при застосуванні методу ковзного середнього
 2 – для 3 значень, 3 – для 5 значень;
 ковзної медіани 4 – для 3 значень, 5 – для 5 значень

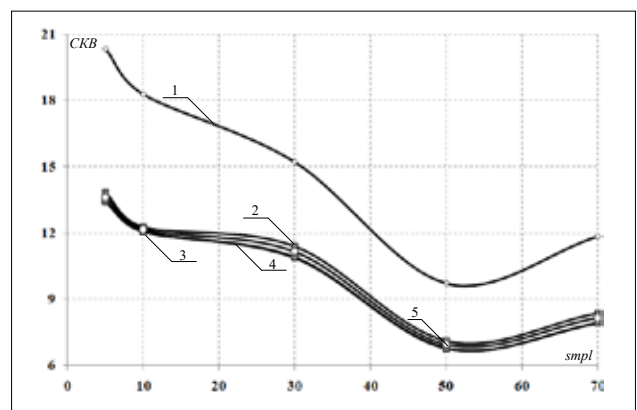


Рис. 7. Залежність СКВ: 1 – без використання фільтра; при застосуванні фільтрів для коефіцієнта: 2 – 0,1; 3 – 0,0005; 4 – 0,005; 5 – 0,05

Типи та кількість операцій опрацювання фрагменту сигналу різними методами

Методи \ Операції	Додавання	Множення	Ділення	Умовні операції
Медіани	-	-	-	6
Середнього	4	-	1	-
Рекурсивний фільтр першого порядку	2	3	-	-

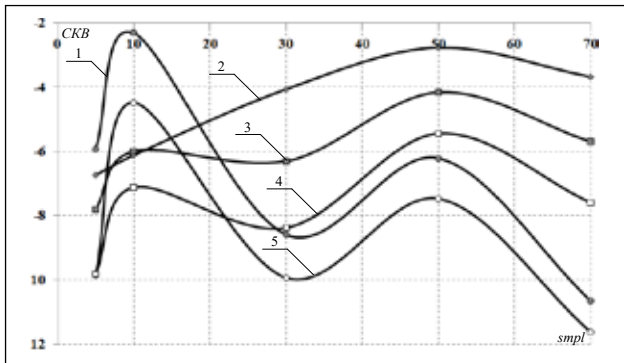


Рис. 8. Залежність різниці СКВ при застосуванні ковзного оцінювання: 1 – медіани для 3 значень; 2 – фільтри 0,05; 3 – ковзне значення для 3 значень; 4 – ковзне середнє для 5 значень; 5 – медіани для 5 значень

З метою попереднього оцінювання обчислювальної складності здійснено огляд кількості типових операцій, які необхідно виконати для

опрацювання однієї вибірки на основі вище розглянутих методів (табл. 3).

Як можна побачити, обчислювальна складність реалізації розглянутих методів відносно нескладна, тобто практично з однаковою ефективністю кожен із них може бути реалізований на доступних платформах з обмеженими обчислювальними ресурсами.

Висновки. Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання найменше СКВ спостерігається в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання для методу ковзної медіани. Крім того, відсутність арифметичних операцій і реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння, що робить такий метод більш ефективним порівняно з іншими розглянутими методами.

Список літератури:

1. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів : навчальний посібник. Дніпро : НМетАУ, 2018. С. 79.
2. Мануляк І.З., Мельничук С.І. Застосування статистичних характеристик для опрацювання імпульсних сигналів первинних перетворювачів витрати представлених в унітарному базисі. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2015. № 5. С. 217–222.
3. Мануляк І.З., Мельничук С.І. Методи та засоби формування інформаційно-вимірювальних сигналів в первинних перетворювачах витрати газу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2015. № 3 (54). С. 156–159.
4. SHARP GP2Y0A21YK0F Distance Measuring Sensor Unit. URL: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf.
5. Камінський Р.М., Дмитрів Г.Р. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2009. № 653. С. 263.

Melnychuk S.I., Manuliak I.Z. USING OF SIGNALS PRE-PROCESSING METHODS WITH PRESERVATION OF DATA SOURCES INFORMATIONAL PRODUCTIVITY

The construction of computer systems information and measurement channels is based on the use of primary converters, which provide the formation of signals relative to the controlled parameter with a certain information performance. At the present stage of development of digital systems for the formation and sensor signals transmission in the analog representation is significantly distorted due to the interference of the communication channel. On the other hand, the significant reduction in cost and miniaturization of digital components has led to the simplification of the integration of the ADC into the primary converter with the subsequent organization of data transmission in a discrete representation.

In this situation, the conversion speed of the ADC practically determines the information performance of the primary converter as an information source about the controlled parameter. The presence of sensor and ADC conversion error, which depends on the circuit solutions used, as well as on the conversion speed,

necessitates additional digital processing of such signals. However, this approach, in turn, leads to a decrease in the information productivity of the source, as it requires the use of some set of measured data, which in turn can be offset by a decrease in the conversion rate of the ADC.

In the article materials the possibility of application of methods of preliminary signals processing of primary converters on an example of the infrared distance sensor SHARP 2Y0A21 is considered. Said transducer has the design ability to change the frequency of measurement data, approximately from 9 to 300 kHz. The possibility of applying sliding processing methods is analyzed, which are based on statistical evaluation of consecutive fragments of the sensor signal and practically do not reduce information productivity, but lead to a delay in the appearance of measurement data after switching on.

Statistical estimates are considered, in particular, the moving values of the mean, median and recursive filter of the first order with different parameters, and the influence of the signal fragment size on the standard deviation as a result of processing is investigated.

Key words: *primary converter, measuring signal, information productivity, statistical estimations, digital processing.*