

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФОРМИ ІНФОРМАЦІЇ З НЕЛІНІЙНИМ ЗАПОВНЕННЯМ В ДВІЙКОВІЙ СИСТЕМІ ЧИСЛЕННЯ

В роботі обґрунтовано застосування двійкового методу перетворення форми інформації з надлишковими операціями, як способу вирішення проблеми областей кодової невизначеності в двійкових методах з лінійними операціями перетворення. Побудовано векторно-розгалужені діаграми, які дозволяють здійснити моделювання, візуалізацію та оцінку процесів ПФІ. Визначено кількісні параметри кожного з методів та визначено оптимальний.

Ключові слова: перетворення форми інформації, двійкове числення, векторно-розгалужені діаграми, моделювання.

M.L. PETRYSHYN

Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

COMPARISON OF INFORMATION FORM TRANSFORMATION METHODS WITH NONLINEAR FILLING IN BINARY NUMERAL SYSTEMS

Abstract – The disadvantage of binary linear algorithms is the existence of the uncertainty area of conversion range.

The goal of research consisted in the analysis and solving the above mentioned disadvantage using vector-branching modelling of transformation of information forms processes.

Defined algorithms and methods of binary additive forming the sum measures with redundant operations, and also the method and algorithm of subtractive-additive transformation of forms information. Defined the properties and opportunities of implementation the proposed algorithms, and also disadvantages which prevent its implementation. Constructed vector-branching diagram that allows to perform visualization and quantification of transformation of information form processes.

According to results of research defined properties and quantitative characteristics each of the methods, performed their comparison, built the graphs of dependence number of steps to the transformation range and determines the most efficient method of transformation.

Keywords: transformation of information form, binary numeral system, vector-branching diagrams, modelling

Вступ

Стрімке розширення галузей застосування засобів інформаційної техніки та їх використання для управління технологічними чи організаційними процесами реального часу зумовило ряд специфічних вимог до пристроїв перетворення форми інформації (ПФІ) [1]. На рівні вимог забезпечення точності представлено вимоги щодо їх надійності та швидкодії процесу перетворення. Для роздільної здатності 12÷16 біт досягнуто швидкодії кілька мільярдів перетворень в секунду (GSPS), проте ціна таких перетворювачів сягає тисячі \$ US, а споживання електричної потужності до 4 Вт [2]. Вибір засобів ПФІ полягає у визначенні оптимального складу протирічливих техніко-економічних параметрів. На етапі розробки інтерфейсів ПФІ комп'ютеризованих систем актуальним є вирішення задачі вибору та обґрунтування ефективності застосування методів ПФІ, адаптованих щодо характеру джерел інформації [3]. Вирішити вказану задачу на початковому етапі проектування компонентів ПФІ дозволяє застосування методів моделювання та визначення кількісних показників техніко-економічних параметрів засобів ПФІ.

За результатами аналізу існуючих методів моделювання процесів ПФІ визначено наступні два основні методи: на основі зрівноважування мас на шальковій вазі, а також на основі вимірювання довжин, функціональні обмеження кожного із яких проаналізовано в [4-6]. Визначено, що найбільш адекватним методом моделювання процесів ПФІ, в т.ч. аналого-цифрового перетворення є метод зважування на шальковій вазі із застосуванням наборів різноважок, значення яких відповідають набору позиційних ваг відповідної системи числення. Тому задачу обґрунтування вибору оптимального алгоритму ПФІ можна вирішити, використовуючи відповідні методи моделювання процесів перетворення.

Мета проведених досліджень полягала в моделюванні та визначенні кількісних показників ефективності застосування таких методів ПФІ, які дозволяють вирішити проблему ПФІ в межах кодової невизначеності діапазону перетворення, зокрема метод перетворення з надлишковими операціями, а також метод субтрактивно-адитивного перетворення. Результати моделювання на основі запропонованого методу із застосуванням векторно-розгалужених діаграм (ВД) дозволяють здійснити графічну візуалізацію процесу ПФІ, відобразити процес перетворення числових значень для кожного з квантів та повного діапазону перетворення, надати цілісну інформацію про перебіг процесу, а також здійснити кількісну оцінку властивостей аналізованих методів ПФІ [7].

Практика моделювання процесів ПФІ ґрунтується на здійсненні визначених процедур порівняння, що реалізуються за допомогою компараторів, які дозволяють визначити співвідношення значення невідомої величини з визначеною системою «еталонних величин» або «мір», чи то «шкалою», сформованою в системі еталонних одиниць перетворення. Моделювання процесу ПФІ ґрунтується на ітераційному виконанні послідовних порівнянь невідомого значення величини x з заданими визначеним алгоритмом значеннями суми системи «мір», яка формується на кожному ітераційному кроці процесу перетворення як сумарне значення певного набору позиційних мір [8, 9]. За результатами процесу ітераційних порівнянь формується

кінцевий результат кількісної оцінки невідомої величини x вхідного параметру перетворення.

Запропонована методика моделювання із застосуванням ВРД ґрунтується на перетвореннях на базі шкал порядку [8, 10], тому умовою завершення процесу ПФІ є визначення невідомого значення вхідного параметру перетворення x , що знаходиться у відповідному одиничному проміжку кванту діапазону перетворення. Індикаторний елемент (ІЕ) в моделюванні виконує функцію компаратора [11], який в межах i -го кванту значення величини перетворення x в точці порівняння P_{i-1} по своєму виходу формує значення 1 (\geq), а в точці P_i – значення 0 ($<$). ІЕ як компонент порівняння, що формує по виходу два альтернативні результати згідно заданої умови, на ВРД позначено аналогічно до оператора умовним переходів \diamond .

Аналіз методів ПФІ із надлишковими операціями адитивного формування двійкової суми мір

Проблему існування областей кодової невизначеності в повному діапазоні перетворенні [12, 13], що зумовлена відсутністю позиційних мір в складі суми $\sum 2^i$ для здійснення операцій зворотного перетворення, можна вирішити шляхом здійснення надлишкових операцій віднімання старшого значення q^i та переходу до молодшого значення q^{i-1} .

Таблиця 1

Узагальнена класифікація адитивних методів ПФІ з надлишковими операціями порівняння в позиційних системах числень

		методи адитивного ПФІ з надлишковими операціями	
додавання	від молодших значень мір q^0 до старших q^{i-1}	1.1	1.2 (q^{i-2})
	від старших значень мір q^{n-1} до молодших q^{n-i}	2.1	2.2 (2^{n-i-1})
формування суми мір		від молодших значень мір q^0 до старших q^{i-2}	від старших значень мір q^{i-2} (2^{n-i-1}) до молодших q^0
віднімання			

Метод ПФІ (1.1) із надлишковими операціями адитивного формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{i-1} та зворотним перетворенням від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{i-2}

Проаналізований метод 1.1 (табл. 1) формуванням суми мір, згідно якого додавання здійснюється від молодших значень мір q^0 до старших q^{i-1} , а віднімання - від молодших значень мір q^0 до старших q^{i-2} , володіє властивістю повного рівномірного кодового заповнення всіх значень діапазону $0 \div N-1$, тому побудова ВРД та аналіз методу 1.1 не є актуальним, оскільки використання надлишкових операцій в даному алгоритмі не є необхідним.

Метод ПФІ (1.2) із надлишковими операціями адитивного формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{i-1} та зворотним перетворенням від старших 2^{i-2} до молодших значень мір 2^0

Даний метод передбачає виконання наступних операцій (рис. 1):

1) додавання позиційних мір здійснюється від молодших значень 2^0 до старших 2^{i-1} , ($2^0, 2^1, \dots, 2^{i-1}$) до i -го моменту порівняння, на якому отримане значення суми мір $\sum 2^i$ перевищує невідоме вхідне значенням x , внаслідок чого ІЕ по своєму виходу формує результат 0 ($<$);

2) зворотне перетворення значення отриманої суми мір $\sum 2^i$ виконується шляхом віднімання попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень 2^{i-2} до молодших 2^0 , ($2^{i-2}, 2^{i-3}, \dots, 2^0$) до моменту отримання такого значення суми мір $\sum 2^i$, внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по своєму виходу формує результат 1 (\geq);

Можливим є ітераційне вкладення в процес ПФІ коротших циклів додавання-віднімання до моменту потрапляння значення сформованої суми $\sum 2^i$ в межі кванту визначення x , на рис. 1 – в проміжки квантів 5-6, 6-7, 13-14, 14-15.

В таблиці 2 представлено покроковий перебіг процесу ПФІ кожного із числових значень x діапазону перетворення $[0, 2^t-1]$, зображеного на рис. 1. Визначено типи операцій (додавання чи віднімання), які необхідно виконати для входження в межі кванту кожного із числових значень x для діапазону перетворення $[0, 2^t-1]$. Сумарна кількість кроків, яка необхідна для визначення всіх значень заданого діапазону становить 97.

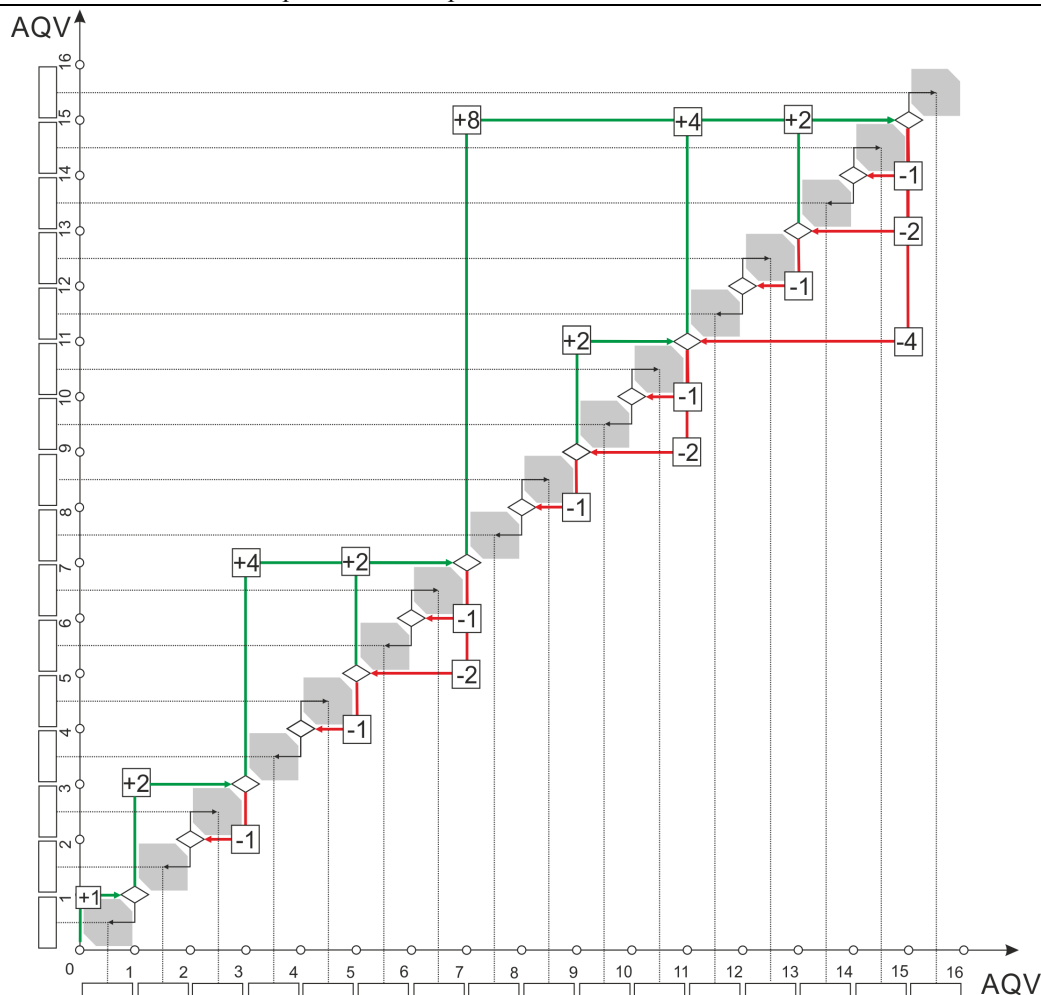


Рис. 1. Приклад моделювання процесу ПФІ із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{i-1} та зворотним перетворенням від старших 2^{i-2} до молодших значень мір 2^0 для діапазону перетворення $\theta \div 2^i - 1$

Таблиця 2

Перебіг процесу ПФІ із адитивним формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від молодших значень 2^0 до старших 2^{i-1} та зворотним перетворенням від старших 2^{i-2} до молодших значень мір 2^0

Ітераційні кроки порівняння/компарування (ПФІ) ($i=...$)											знак	$\sum i$	значення кванту
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
0	+1										<	1	[0,1)
1	+1	+2	-1								<	3	[1,2)
2	+1	+2	-1								\geq	3	[2,3)
3	+1	+2	+4	-2	-1						<	5	[3,4)
4	+1	+2	+4	-2	-1						\geq	5	[4,5)
5	+1	+2	+4	-2	+2	-1					<	6	[5,6)
6	+1	+2	+4	-2	+2	-1					\geq	6	[6,7)
7	+1	+2	+4	+8	-4	-2	-1				<	7	[7,8)
8	+1	+2	+4	+8	-4	-2	-1				\geq	7	[8,9)
9	+1	+2	+4	+8	-4	-2	+2	-1			<	8	[9,10)
10	+1	+2	+4	+8	-4	-2	+2	-1			\geq	8	[10,11)
11	+1	+2	+4	+8	-4	+4	-2	-1			<	8	[11,12)
12	+1	+2	+4	+8	-4	+4	-2	-1			\geq	8	[12,13)
13	+1	+2	+4	+8	-4	+4	-2	+2	-1		<	9	[13,14)
14	+1	+2	+4	+8	-4	+4	-2	+2	-1		\geq	9	[14,15)
15	+1	+2	+4	+8							<	4	[15,16)

На рис. 2 зображено графічну залежність зміни кількості кроків перетворення в функції значень величини перетворення.

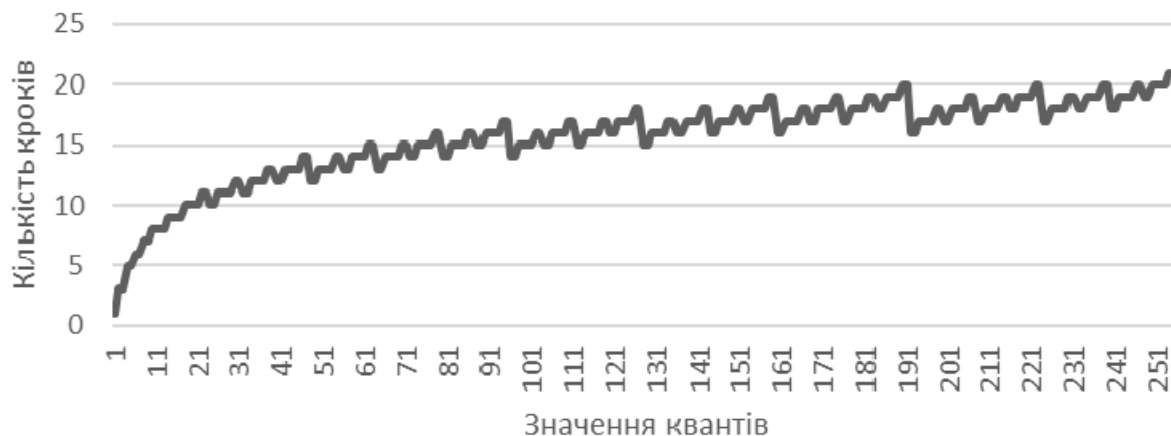


Рис. 2. Залежність зміни кількості кроків перетворення від значення величин перетворення

Аналіз методів ПФІ (2.1, 2.2) із надлишковими операціями адитивного формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших 2^{n-1} до молодших значень мір 2^{n-i}

Для методу із адитивним формування двійкової суми мір з надлишковими операціями $\sum 2^i$ від старших значень мір 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} існує 2 два можливі варіанти зворотного перетворення:

- від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0 ;
- від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{n-i-1} .

Побудова ВРД для даних двох методів зводиться до першого, оскільки можливим є здійснення операцій додавання від старшого до молодших значень із зняттям/додаванням до моменту знаходження невідомого значення, виключаючи необхідність здійснення зворотних перетворення, що складають другу частину алгоритму.

Як показано на рис. 3, згідно методу 2.2 (табл. 1), формування суми позиційних мір $\sum 2^i$ як результату ПФІ здійснюється шляхом:

1) додавання позиційних мір від старших значень 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} , ($2^{n-1}, 2^{n-2}, \dots, 2^{n-i}$) до i -го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір $\sum 2^i$ перевищує невідоме вхідне значення x , внаслідок чого ІЕ по своєму виходу формує результат 0 (<);

2) зворотного перетворення внаслідок віднімання останньо встановленої міри 2^{n-i} із наступним встановленням міри 2^{n-i-1} та порівнянням отриманого значення суми мір $\sum 2^i$ з невідомим вхідним значенням x ; за результатом стану виходу ІЕ здійснюється ітераційне виконання операцій 1) та 2);

3) наступних зворотних перетворень значення отриманої суми мір $\sum 2^i$ внаслідок віднімання попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень 2^{i-1} та встановлення-знімання наступних молодших до значення міри 2^0 , ($2^{i-2}, 2^{i-3}, \dots, 2^0$) як результату формування такого значення суми мір $\sum 2^i$, внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по своєму виходу формує стан 1 (\geq).

Метод перетворення передбачає ітераційні вкладення в процес ПФІ коротших циклів додавання-віднімання до моменту потрапляння значення сформованої суми $\sum 2^i$ в проміжок кванту визначення x , на рис. 3 – в проміжки квантів 0-1, 2-3, 3-4, 8-9, 9-10 та ін.

В таблиці 3 представлено покроковий перебіг процесу ПФІ кожного із числових значень x діапазону перетворення $[0, 2^4-1]$, зображеного на рис. 3. Визначено типи операцій (додавання чи віднімання), які необхідно виконати для потрапляння в межі кванту визначення кожного із числових значень x та сумарну кількість ітераційних кроків як для окремих значень x , так і для повного діапазону перетворення $[0, 2^4-1]$. Сумарна кількість кроків, яка необхідна для визначення всіх значень даного діапазону, становить 88.

Методи позиційного ПФІ володіють основним недоліком, що полягає в надлишковості операцій порівняння, яка зумовлена необхідністю здійснення процедур додавання та віднімання тих самих значень мір в процесі перетворення, що спричиняє до зменшення швидкодії процесу ПФІ та погіршення динамічних показників, надійності функціонування і збільшення енергоспоживання.

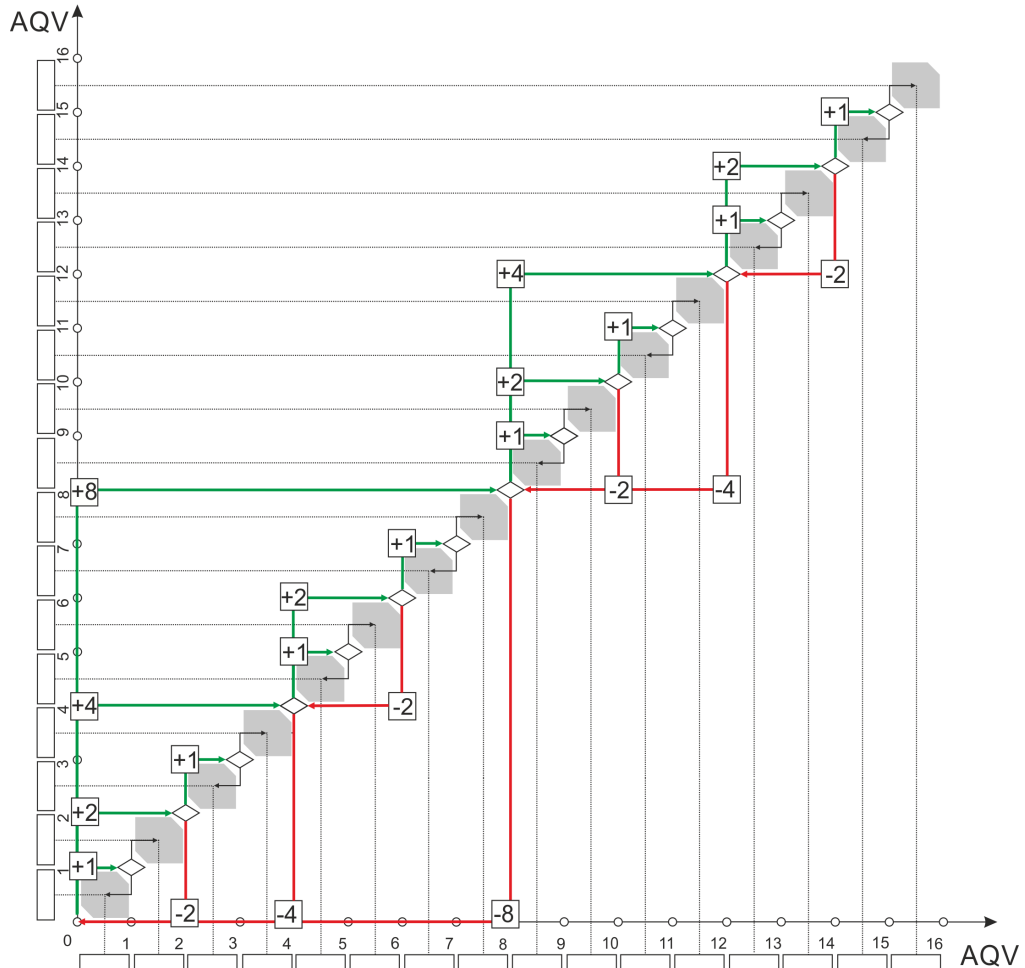


Рис. 3. Приклад моделювання процесу ПФІ із адитивним формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших 2^{n-1} до молодших значень мір 2^{n-i} та зворотним порівнянням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0 для діапазону перетворення $0 \div 2^t - 1$

Таблиця 3

Перегіб процесу ПФІ із адитивним формування двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших 2^{n-1} до молодших значень мір 2^{n-i} та зворотним порівнянням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0

Ітераційні кроки порівняння/компарування (ПФІ) ($i=...$)													значення кванту		
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9				знак	$\sum i$	
0	+8	-8	+4	-4	+2	-2	+1						<	7	(0,1]
1	+8	-8	+4	-4	+2	-2	+1						\geq	7	(1,2]
2	+8	-8	+4	-4	+2	+1							<	6	(2,3]
3	+8	-8	+4	-4	+2	+1							\geq	6	(3,4]
4	+8	-8	+4	+2	-2	+1							<	6	(4,5]
5	+8	-8	+4	+2	-2	+1							\geq	6	(5,6]
6	+8	-8	+4	+2	+1								<	5	(6,7]
7	+8	-8	+4	+2	+1								\geq	5	(7,8]
8	+8	+4	-4	+2	-2	+1							<	6	(8,9]
9	+8	+4	-4	+2	-2	+1							\geq	6	(9,10]
10	+8	+4	-4	+2	+1								<	5	(10,11]
11	+8	+4	-4	+2	+1								\geq	5	(11,12]
12	+8	+4	+2	-2	+1								<	5	(12,13]
13	+8	+4	+2	-2	+1								\geq	5	(13,14]
14	+8	+4	+2	+1									<	4	(14,15]
15	+8	+4	+2	+1									\geq	4	[15,16)

На рис. 4 зображено залежність кількості кроків перетворення в функції значень величин перетворення.

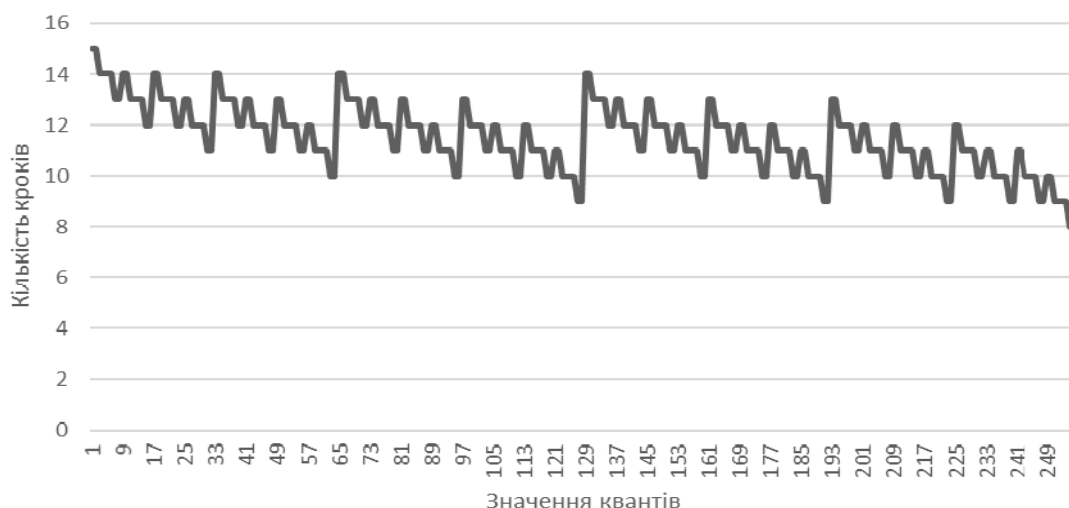


Рис. 4. Залежність зміни кількості кроків перетворення від значення величин перетворення

Аналіз методів ПФІ із субтрактивно-адитивним формуванням двійкової суми мір

Один із ефективних способів вирішення проблеми надлишковості операцій перетворення полягає у застосуванні субтрактивно-адитивного (С-А) методу порівняння [13-16], відомому із середньовічної задачі Баше де Мезіріака про оптимальне зважування з мінімальним складом мір, виконане за мінімальну кількість ітерацій, вирішення якої полягало в тому, що міри дозволено розташовувати як по стороні, протилежній стороні знаходження предмету невідомої маси, так і по його ж стороні [17].

Характерною особливістю С-А систем числень та відповідних їм методів кодування є відсутність необхідності виконання операцій віднімання мір, оскільки сума порівняння $\sum q^i$ формується тільки додаванням позиційних мір по відповідних сторонах порівняння із відповідними знаками +/-, що дозволяє зменшити кількість кроків перетворення, як наслідок підвищити швидкодню, що зумовлює перспективу дослідження ефективності та застосування С-А систем числень в ПФІ. З метою визначення напрямків дослідження здійснимо узагальнення методів С-А ПФІ (табл. 4).

Таблиця 4

Узагальнена класифікація методів С-А перетворення.

Формування суми мір	Додавання +		
	субтрактивне (знак -)	субтрактивно-адитивне (+/-)	субтрактивно-адитивне (+/-)
від молодших значень мір q^0 до старших q^{n-1}	не можливо	3.1	3.3
від старших значень мір q^{n-1} до молодших q^{n-i}	не можливо	3.2	3.4
Віднімання = додавання -		від молодших значень q^0 до старших q^{n-i-1}	від старших значень q^{n-i-1} до молодших q^0

Метод С-А ПФІ передбачає аналогічно, як і метод адитивного ПФІ формування суми мір порівняння молодших q^0 до старших q^{n-1} значень позиційних мір (методи 3.1 та 3.3 в табл. 4), та від старших q^{n-1} до молодших q^0 (методи 3.2 та 3.4 в табл. 4). Очевидною є низька ефективність застосування методів 3.1 та 3.2, оскільки неможливо здійснити визначення невідомого значення x ітераційною послідовністю операцій порівняння без віднімання та переставляння позиційних мір, що потребує додаткових затрат на виконання процедур зрівноваження та часу на їх виконання. В класі С-А методів ПФІ тільки метод С-А зрівноваження від старших значень позиційних мір q^{n-1} до молодших q^0 дозволяє здійснити процес зрівноваження без необхідності виконання надлишкових операцій маніпулювання мірами, що дозволяє зменшити час виконання процесу ПФІ та підвищити його швидкодню.

Здійснимо моделювання та проаналізуємо ефективність застосування вказаних методів С-А ПФІ.

Метод ПФІ (3.2) із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень мір 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та наступним зрівноваженням від до молодших 2^0 до старших значень мір 2^{n-i-1}

Даний метод передбачає необхідність здійснення наступних операцій (рис. 5):

1) адитивне додавання (віднімання від'ємних) позиційних мір здійснюється від старших розрядних значень 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} , (2^{n-1} , 2^{n-2} , ..., 2^{n-i}) до i -го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір $\sum 2^i$ перевищує невідоме вхідне значення x , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір $\sum 2^i$ виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) значень позиційних мір в порядку від молодших значень 2^0 до старших 2^{n-i-1}

$(+(-2^0), +(-2^1), \dots, +(-2^{n-i-1}))$ до моменту отримання такого значення суми мір $\sum 2^i$, внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 (\geq);

3) якщо значення сформованої суми мір $\sum 2^i$ потрапляє в одиничний проміжок кванту значення x , процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, ітераційно повторюються кроки 1 та 2, як показано на рис. 5 до виконання умови попадання значення сформованої суми $\sum 2^i$ в одиничний проміжок кванту визначення невідомого значення x .

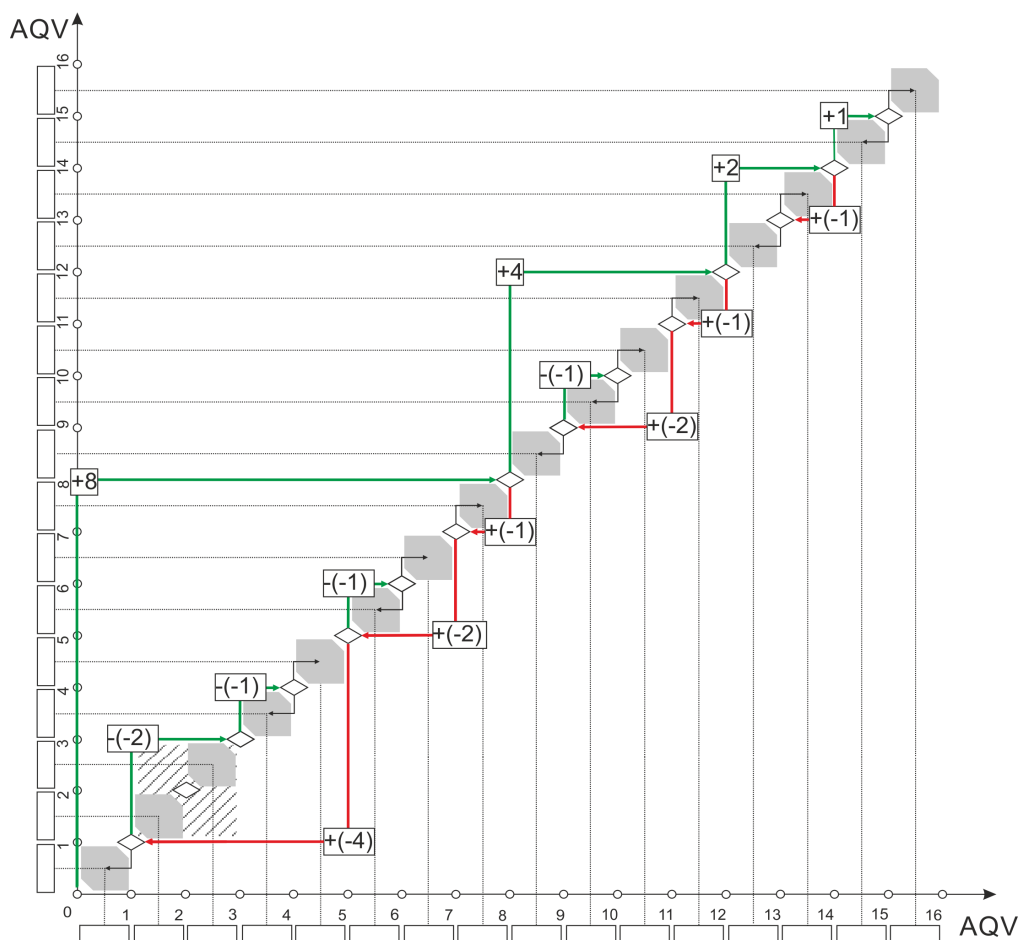


Рис. 5. Приклад моделювання процесу ПФІ із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та наступним зрівноваженням від молодших 2^0 до старших значень мір 2^{n-i-1} для діапазону перетворення $0 \div 2^n - 1$

Як видно з рис. 5, в ВРД для методу С-А ПФІ присутні зони невизначеності (на рисунку заштриховані), що унеможливає кількісну оцінку для невідомих значень x , наприклад в діапазоні [1, 3).

Слід підсумувати, що вказаний принциповий недолік унеможливає здійснення С-А ПФІ в повному діапазоні перетворення $0 \div 2^n - 1$ методом, визначеним як 3.2 в класифікаційній табл. 4.

Метод ПФІ (3.4) із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень мір 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та наступним зрівноваженням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0

Даний метод передбачає можливість здійснення наступних операції (рис. 6):

1) адитивне додавання (віднімання від'ємних) позиційних мір здійснюється від старших значень 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} , $(2^{n-1}, 2^{n-2}, \dots, 2^{n-i})$ до i -го моменту порівняння, в якому отримане значення суми мір $\sum 2^i$ перевищує невідоме вхідне значенням x , внаслідок чого ІЕ по виходу формує результат 0 (<);

2) субтрактивне перетворення значення отриманої суми мір $\sum 2^i$ виконується шляхом віднімання (додаванням від'ємних) попередньо встановлених значень позиційних мір в порядку від старших значень 2^{n-i-1} до молодших 2^0 , $(+(-2^{n-i-1}), +(-2^{n-i-2}), \dots, +(-2^0))$ до моменту отримання такого значення суми мір $\sum 2^i$, внаслідок порівняння якого із невідомим вхідним значенням x в точці порівняння ІЕ по виходу формує результат 1 (\geq);

3) якщо значення сформованої суми мір $\sum 2^i$ потрапляє в одиничний проміжок кванту значення x , процес ПФІ завершується, в іншому випадку, в залежності від стану виходу ІЕ, повторюються кроки 1 та 2 до виконання умови попадання значення сформованої суми $\sum 2^i$ в одиничний проміжок кванту визначення невідомого значення x .

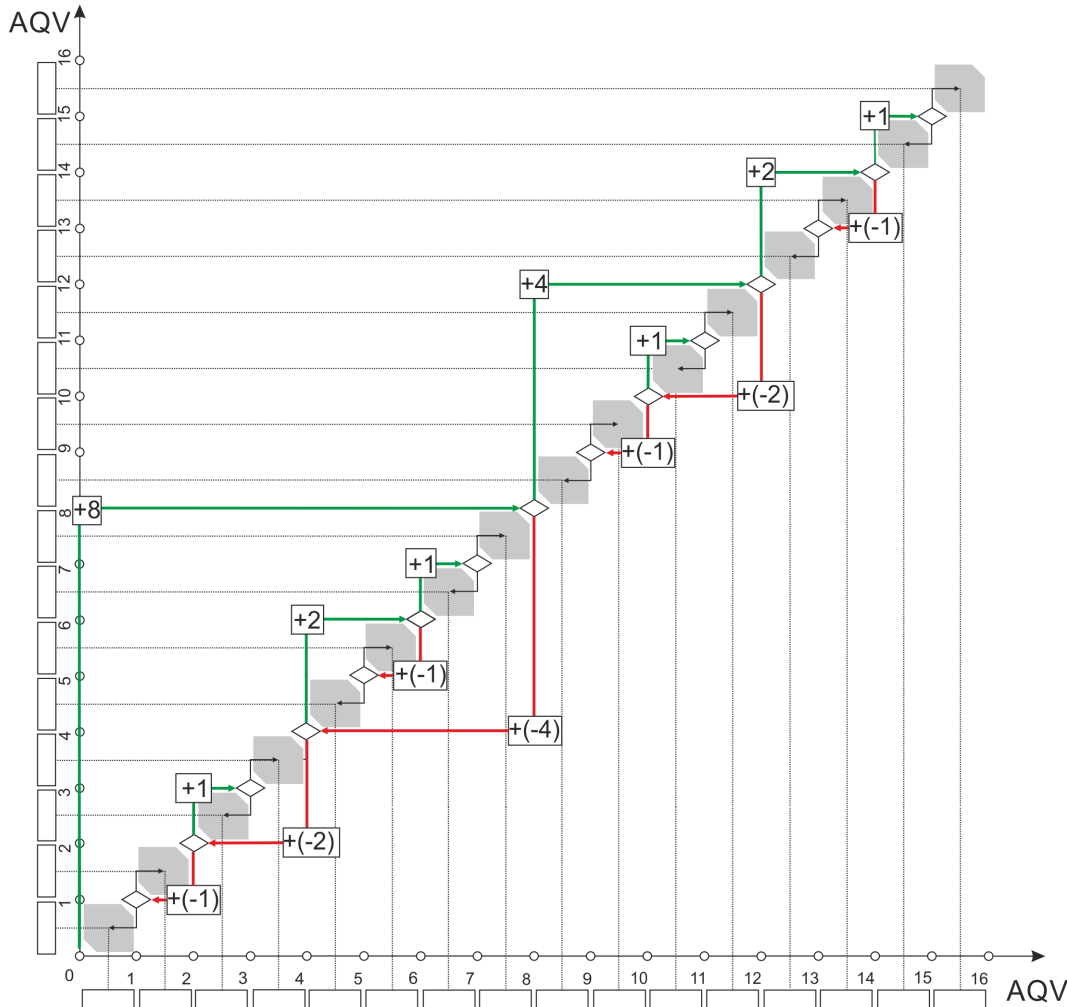


Рис. 6. Приклад моделювання процесу ПФІ із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та наступним зрівноваженням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0 для діапазону перетворення $0 \div 2^4 - 1$

В табл. 5 представлено перебіг процесу С-А ПФІ, визначено послідовність виконання операцій додавання (віднімання від’ємних значень) та віднімання (додавання від’ємних значень) для перетворення величини невідомих значень x , та сумарну кількість кроків для кожного із значень x повного діапазону $0 \div 2^4 - 1$.

Таблиця 5

Перебіг процесу ПФІ із субтрактивно-адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших 2^{n-1} до молодших значень 2^{n-i} та наступним зрівноваженням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0

Ітераційні кроки порівняння/компарування (ПФІ) ($i=...$)											значення	
x	l	2	3	4	5	6	7	8	9	знак	$\sum i$	кванту
0	+8	+(-4)	+(-2)	+(-1)						<	4	[0,1)
1	+8	+(-4)	+(-2)	+(-1)						\geq	4	[1,2)
2	+8	+(-4)	+(-2)	+1						<	4	[2,3)
3	+8	+(-4)	+(-2)	+1						\geq	4	[3,4)
4	+8	+(-4)	+2	+(-1)						<	4	[4,5)
5	+8	+(-4)	+2	+(-1)						\geq	4	[5,6)
6	+8	+(-4)	+(-2)	+1						<	4	[6,7)
7	+8	+(-4)	+(-2)	+1						\geq	4	[7,8)
8	+8	+4	+(-2)	+(-1)						<	4	[8,9)
9	+8	+4	+(-2)	+(-1)						\geq	4	[9,10)
10	+8	+4	+(-2)	+1						<	4	[10,11)
11	+8	+4	+(-2)	+1						\geq	4	[11,12)
12	+8	+4	+2	+(-1)						<	4	[12,13)
13	+8	+4	+2	+(-1)						\geq	4	[13,14)
14	+8	+4	+2	+1						<	4	[14,15)
15	+8	+(-4)	+(-2)	+(-1)						\geq	4	[15,16)

Характерною властивістю методу С-А ПФІ є те, що кількість кроків для всіх значень діапазону $0 \div 2^n - 1$ є однаковою та рівною n . Побудована ВРД для проаналізованого С-А методу ПФІ із адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень мір 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та субтрактивним перетворенням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0 дозволила здійснити кількісну суми кроків алгоритму перетворення. В таблиці 5 визначено типи операцій додавання/знімання, сумарна кількість кроків перетворення, значення станів виходу ІЕ для діапазону перетворення $0 \div 2^4 - 1$.

Порівняння ефективності двійкових методів ПФІ

Для порівняння проаналізованих двійкових методів ПФІ з надлишковими операціями та С-А здійснено порівняння суми кількості кроків порівняння для розрядностей від 1 до 10 (таблиця 6).

Таблиця 6

Порівняння кількісних параметрів двійкових методів ПФІ

Розрядність	Метод 1.2	Метод 2.2	Метод 3.4
1	2	2	2
2	9	9	8
3	32	32	24
4	97	88	64
5	266	224	160
6	683	544	384
7	1676	1280	896
8	3981	2944	2048
9	9230	6656	4608
10	21007	14848	10240

За результатами обчислень, наведеними в таблиці 6 побудовано графік залежності суми кількості кроків перетворення від значення розрядів, за яким можна ствердити, що метод 3.4 володіє більшою швидкодією ПФІ у порівнянні з методами 1.2 та 2.2.

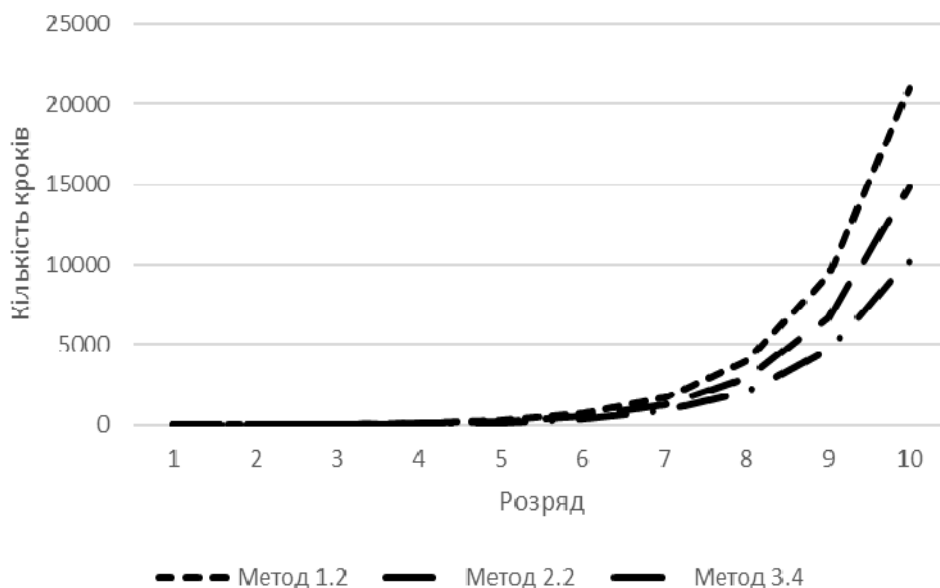


Рис. 7. Графіки кількісної оцінки операцій порівняння для двійкових методів ПФІ

Висновки

За результатами аналізу методів ПФІ можна підсумувати, що існує 4 методи адитивного ПФІ та відповідна кількість можливих алгоритмів перетворення в позиційних системах числення:

1) з додаванням від молодших значень мір q^0 до старших q^i , для класу яких можливі наступні два методи подальшого зрівноваження після перевищення невідомого значення перетворення x :

- – із відніманням від молодших значень мір q^0 до старших q^{i-1} ;
- – із відніманням від старших значень мір q^{i-1} до молодших q^0 ;

2) з додаванням від старших значень мір q^{n-1} до молодших q^{n-i-1} , для класу яких можливі наступні два методи зворотного порівняння після перевищення невідомого значення x перетворення:

- 2.1 – із відніманням від молодших значень мір q^0 до старших q^{n-i-1} ;
- 2.2 – із відніманням від старших значень мір q^{n-i-1} до молодших q^0 .

За допомогою побудованих ВРД здійснено моделювання процесів ПФІ та встановлено методичні

недоліки лінійного перетворення, які зумовлені принциповою наявністю невизначених областей діапазону кодового перетворення, що унеможлиблює реалізацію відповідних двійкових методів ПФІ. Для таких методів запропоновано алгоритм з виконанням надлишкових операцій проміжних перетворень.

Побудовано ВРД та змодельовано перебіг процесів ПФІ, визначено значення мір та черговість здійснення операцій типу додавання чи знімання а також сумарну кількість кроків перетворення для кожного із значень та повного діапазону перетворення $0 \div 2^i - 1$. Результати зведено в таблиці 6 для наступних методів:

1.2 із надлишковими операціями адитивного формуванням двійкової суми $\sum 2^i$ від молодших значень мір 2^0 до старших 2^{i-1} та зворотним перетворенням від старших значень мір 2^{i-2} до молодших значень 2^0 ;

2.2 із надлишковими операціями адитивного формуванням двійкової суми $\sum 2^i$ від старших 2^{n-1} до молодших значень мір 2^{n-i} та зворотним порівнянням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0

3.4 із субтрактивно-адитивним формуванням двійкової суми мір $\sum 2^i$ від старших значень мір 2^{n-1} до молодших 2^{n-i} та наступним перетворенням від старших значень мір 2^{n-i-1} до молодших 2^0 .

Для кожного з проаналізованих методів здійснено оцінку кількості операцій та їх порівняння, обґрунтовано ефективність імплементації в пристроях ПФІ. Визначено що мінімальною кількістю кроків перетворення володіє метод 3.4, що визначає перспективу дослідження та розвитку С-А методів ПФІ.

Література

1. Азаров О.Д., Решетник О.О. АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ. // Вісник Хмельницького національного університету, Науковий журнал. Хмельницький: 2008, №4. –С. 24-27.
2. Analog Devices. Аналого-цифровые преобразователи. Режим доступу: <http://www.analog.com/ru/products/analog-to-digital-converters/ad-converters.html>
3. Петришин Л.Б., Малько А.Г. Теоретичні основи швидких методів дискретного перетворення Галуа. // Вісник Хмельницького національного університету, Науковий журнал. Хмельницький: 2008, №5. – С. 156-161.
4. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерения / А.П.Стахов. М.: Сов.Радио, 1977. - 288 с.
5. Цветков Э.И. Алгоритмические основы измерений. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 256 с.
6. Арутюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1990. –256с.
7. Петришин М.Л. Застосування векторно-розгалужуючих схем в моделюванні процесів ПФІ / II Міжнародна конференція “Комп’ютерна алгебра та інформаційні технології”, 21-26 серпня 2016. :Одеса, Україна. Тези доповідей / Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. - Одеса, 2016. – 60с.
8. Петришин М. Л. Аналіз шкал вимірювання як основи первинного перетворення форми інформації / М. Л. Петришин // Тези доповідей П’ятої Міжнар. НПК "Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації". Україна, Вінниця, 19-21 квітня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С.137-139.
9. Петришин М.Л. Аналіз ефективності методів та засобів ПФІ з використанням недвійкових кодових шкал. Матеріали VII міжнар. НПК “Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії” 17–18 квітня 2015 р. –Х: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. –С.39.
10. Брянский Л.Н. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. – М.: ВНИИФТРИ. – 2004 г. – 222 с.
11. Петришин М.Л. Моделювання процесів ПФІ в позиційних адитивних системах числення на основі методу індикаторних моделей. // НПК «Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання ІТКМ-2016» 23-28 травня 2016 р. Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2016. (-232 с.) – С. 82-84.
12. Петришин М. Л. Первинне перетворення форми інформації в негапозиційних системах числення. 5-та міжнар. НПК "Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія" 27–29 травня 2015 року. - Івано-Франківськ : Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаника. 2015. – С. 110-111.
13. Петришин М.Л., Аналіз можливості застосування субтрактивно-адитивного методу ПФІ в двійковій та четвірковій системах числення. «Інформатика, інформаційні системи та технології»: XX всеукр. конф. студ. і мол. науковців. Одеса, 3 квітня 2015р. Одеса, 2015. (–с.140). – С.93-94.
14. Петришин Л.Б. Основи субтрактивно-адитивних систем кодування. Інформаційна безпека. Луганськ: 2010, №2(4), – С. 13-18 с.
15. Петришин Л.Б. Моделювання субтрактивно-адитивного способу перетворення форми інформації./ Л.Б.Петришин // Математичний вісник НТШ; ISSN 1812 - 6774. — 2012, t. 9, – С. 246 – 268.
16. Petryshyn M., Volchok T., Goryelov V. Method of ternary subtractive-additive numbers presentation. Zeszyty STN. ISSN 1732-0925, Wyd-wo STN przy AGH Krakow, Nr 25, 2012. - pp. 197-202.
17. Делман И.Я. История арифметики. Посібник для вчителів. Друге видання, "Просвещение" Видавничий дім, Москва ", 1965.

References

1. Azarov O.D., Reshetnik O.O. ATsP zi zminnoiu tryvalistiu taktiv vrvinovazhennia na osnovi NPSCh. // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Naukovyi zhurnal. Khmelnytskyi: 2008, №4. –S. 24-27.