



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62818 (13) U  
(51) МПК  
G06F 17/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**ОПИС**  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛУ

1

2

(21) u201105823

(22) 10.05.2011

(24) 12.09.2011

(46) 12.09.2011, Бюл.№ 17, 2011 р.

(72) ШОСТАК АНАТОЛІЙ ВАСИЛЬЄВИЧ, ДОРОШЕНКО АНАСТАСІЯ ЮРІЇВНА, ДОРОШЕНКО ЮРІЙ ІВАНОВИЧ, КОРОБКОВ МИКОЛА ГРИГОРОВИЧ, РИСОВАНИЙ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, ІВАШКО АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Пристрій цифрової фільтрації сигналу, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, цифровий гібридний медіанний фільтр, який містить послідовно з'єднані блоки цифрових медіанних фільтрів відповідного структурного рівня, причому кожний блок цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня містить у три рази більше медіанних фільтрів, ніж блок цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а блок цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня містить кількість цифрових медіанних фільтрів, кратну трьом, при цьому входи цифрових медіанних фільтрів

блока цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня з'єднані з відповідними виходами елементів затримки вхідного сигналу, виходи кожних трьох цифрових медіанних фільтрів блока цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня з'єднані з трьома входами відповідного цифрового медіанного фільтра блока цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а вихід цифрового медіанного фільтра останнього структурного рівня є одночасно виходом цифрового гібридного медіанного фільтра та виходом пристрою цифрової фільтрації сигналу, причому всі цифрові медіанні фільтри виконані однаково, який відрізняється тим, що кожний цифровий медіанний фільтр містить три однакових компаратори і мультиплексор, причому кожний вхід кожного із компараторів з'єднаний з одним входом одного із двох інших компараторів та з сигнальними входами мультиплексора, вихід першого компаратора з'єднаний з першим керуючим входом мультиплексора, вихід другого компаратора з'єднаний з другим керуючим входом мультиплексора, вихід третього компаратора з'єднаний з третім керуючим входом мультиплексора.

Корисна модель належить до галузі цифрової обробки сигналів, зокрема, до пристроїв цифрової обробки сигналів в умовах впливу завад, а саме, до пристроїв цифрової фільтрації сигналів в умовах впливу імпульсних завад.

Відомий адаптивний цифровий трансверсальний фільтр, що містить багатовідвідну лінію затримки, блок помножувачів і суматор, причому кожний відвід багатовідвідної лінії затримки з'єднаний із входом відповідного помножувача, а вихід кожного помножувача з'єднаний з відповідним входом суматора, вихід якого є виходом адаптивного цифрового трансверсального фільтра [Petrus C.W. Sommen., Christinus J. Van Valburg. Adaptive discrete-time transversal filter // US Patent 5581494, G06F15/31, 1990, р. 2, fig. 1B].

Недоліком відомого адаптивного цифрового трансверсального фільтра є додаткові апаратні витрати, необхідні для підстроювання помножувачів при зміні спектральної щільності потужності

завади, і, як наслідок, зменшення швидкодії роботи пристрою, а також низька завадостійкість в умовах впливу сильних імпульсних завад.

Відомий рекурсивний медіанний фільтр, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу [Секунов Н.Ю. Рекурсивный медианный фильтр // Патент РФ 2045129, кл. H03H17/00, 1990, стор. 3, мал. 1.].

Недоліком відомого рекурсивного медіанного фільтра, є недостатньо висока якість фільтрації сигналу в умовах впливу сильних імпульсних завад внаслідок використання рекурсивного алгоритму обробки сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу, що приводить до накопичення помилок фільтрації та нестійкої роботи фільтра.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним за прототип, є пристрій цифрової фільтрації сигналу, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, цифровий

(13) U

(11) 62818

(19) UA

гібридний медіанний фільтр, який містить послідовно з'єднані блоки цифрових медіанних фільтрів відповідного структурного рівня, причому кожний блок цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня містить у три рази більше медіанних фільтрів, ніж блок цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а блок цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня містить кількість цифрових медіанних фільтрів, кратну трьом, при цьому входи цифрових медіанних фільтрів блока цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня з'єднані з відповідними виходами елементів затримки вхідного сигналу, виходи кожних трьох цифрових медіанних фільтрів блока цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня з'єднані з трьома входами відповідного цифрового медіанного фільтра блока цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а вихід цифрового медіанного фільтра останнього структурного рівня є одночасно виходом цифрового гібридного медіанного фільтра та виходом пристрою цифрової фільтрації сигналу, причому всі цифрові медіанні фільтри виконані однаково і кожний цифровий медіанний фільтр містить три однакових селектори мінімального елемента і один селектор максимального елемента, при цьому кожний вхід кожного із селекторів мінімального елемента з'єднаний з одним входом одного із двох інших селекторів мінімального елемента, а виходи селекторів мінімального елемента з'єднані із входами селектора максимального елемента. [Патент на корисну модель № 56925, кл. G06F17/18, 2011.].

Недоліком відомого пристрою цифрової фільтрації сигналу, обраного за прототип, є додаткові схемні витрати, необхідні для апаратного обчислення медіани, і як наслідок, зменшення швидкодії роботи пристрою.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом спрощення конструкції пристрою цифрової фільтрації сигналу забезпечити зменшення апаратних витрат, необхідних для реалізації пристрою цифрової фільтрації сигналу при підвищенні швидкодії роботи пристрою, що дозволяє усунути недоліки прототипу.

Задача досягається тим, що в пристрої цифрової фільтрації сигналу, що містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу, цифровий гібридний медіанний фільтр, який містить послідовно з'єднані блоки цифрових медіанних фільтрів відповідного структурного рівня, причому кожний блок цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня містить у три рази більше медіанних фільтрів, ніж блок цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а блок цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня містить кількість цифрових медіанних фільтрів, кратну трьом, при цьому входи цифрових медіанних фільтрів блока цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня з'єднані з відповідними виходами елементів затримки вхідного сигналу, виходи кожних трьох цифрових медіанних фільтрів блока цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня з'єднані з трьома входами відповідного цифрового

медіанного фільтра блока цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а вихід цифрового медіанного фільтра останнього структурного рівня є одночасно виходом цифрового гібридного медіанного фільтра та виходом пристрою цифрової фільтрації сигналу, причому всі цифрові медіанні фільтри виконані однаково, згідно з корисною моделлю, що кожний цифровий медіанний фільтр містить три однакових компаратора і мультиплексор, причому кожний вхід кожного із компараторів з'єднаний з одним входом одного із двох інших компараторів та з сигнальними входами мультиплексора, вихід першого компаратора з'єднаний з першим керуючим входом мультиплексора, вихід другого компаратора з'єднаний з другим керуючим входом мультиплексора, вихід третього компаратора з'єднаний з третім керуючим входом мультиплексора.

Порівняльний аналіз технічного рішення, яке заявляється, з прототипом дозволяє зробити висновок, що пристрій цифрової фільтрації сигналу, який заявляється, відрізняється тим, що кожний цифровий медіанний фільтр містить три однакових компаратора і мультиплексор, причому кожний вхід кожного із компараторів з'єднаний з одним входом одного із двох інших компараторів та з сигнальними входами мультиплексора, вихід першого компаратора з'єднаний з першим керуючим входом мультиплексора, вихід другого компаратора з'єднаний з другим керуючим входом мультиплексора, вихід третього компаратора з'єднаний з третім керуючим входом мультиплексора.

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень, де на фіг. 1 представлена структурна схема запропонованого пристрою; на фіг. 2 показана функціональна схема цифрового гібридного медіанного фільтра; на фіг. 3 показана структурна схема цифрового медіанного фільтра; на фіг. 4 представлений варіант функціональної схеми запропонованого пристрою у випадку побудови цифрового гібридного медіанного фільтра у складі трьох блоків цифрових медіанних фільтрів першого, другого та третього структурних рівнів; на фіг. 5 представлений варіант функціональної схеми запропонованого пристрою у випадку побудови цифрового гібридного медіанного фільтра у складі двох блоків цифрових медіанних фільтрів першого та другого структурних рівнів.

Пристрої цифрової фільтрації сигналу містить блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 1, цифровий гібридний медіанний фільтр 2, який містить послідовно з'єднані блоки цифрових медіанних фільтрів 2.1, 2.2, ..., 2.(k+1) відповідного структурного рівня, причому кожний блок цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня містить у три рази більше медіанних фільтрів, ніж блок цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а блок цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня 2.1 містить кількість цифрових медіанних фільтрів 3, кратну трьом, при цьому входи цифрових медіанних фільтрів 3 блока цифрових медіанних фільтрів першого структурного рівня 2.1 з'єднані з відповідними виходами елементів затримки вхідного сигналу, виходи кожних трьох цифрових

медіанних фільтрів 3 блока цифрових медіанних фільтрів окремого структурного рівня з'єднані з трьома входами відповідного цифрового медіанного фільтра 3 блока цифрових медіанних фільтрів наступного структурного рівня, а вихід цифрового медіанного фільтра 3 останнього структурного рівня є одночасно виходом цифрового гібридного медіанного фільтра 2 та виходом пристрою цифрової фільтрації сигналу, причому всі цифрові медіанні фільтри 3 виконані однаково, кожний цифровий медіанний фільтр 3 містить три однакових компаратора 4 і мультиплексор 5, причому кожний вхід кожного із компараторів 4 з'єднаний з одним входом одного із двох інших компараторів 4 та з сигнальними входами мультиплексора 5, вихід першого компаратора 4 з'єднаний з першим керуючим входом мультиплексора 5, вихід другого компаратора 4 з'єднаний з другим керуючим входом мультиплексора 5, вихід третього компаратора 4 з'єднаний з третім керуючим входом мультиплексора 5.

Пристрій цифрової фільтрації сигналів конструктивно містить (див. фіг. 1, 2): блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 1; елементи затримки вхідного сигналу - 1.1, 1.2, ... 1.(N-1); цифровий гібридний медіанний фільтр - 2; блоки цифрових медіанних фільтрів (ЦМФ) відповідного структурного рівня - 2.1, 2.2, ... 2.(k+1); цифрові медіанні фільтри - 3.

Пристрій цифрової фільтрації сигналу працює таким чином. Пристрій цифрової фільтрації сигналу формує сукупність затриманих на заданий часовий інтервал цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$ ,  $m = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $i \geq N-1$ ,  $N=3^{k+1}$  на основі сформованої сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$  обчислює оцінку сигналу у на даному  $i$ -ому такті обробки у вигляді значення  $(k+1)$ -кратної медіани  $3^k$  груп по три елемента сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу в кожній групі:

$$y = \text{med}[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, u_3^{(k)}] \quad (1)$$

$$u_n^{(i+1)} = \text{med}[u_{3n-2}^{(i)}, u_{3n-1}^{(i)}, u_{3n}^{(i)}] \quad (2)$$

$$u_n^1 = \text{med}[x_{i-(3n-3)}, x_{i-(3n-2)}, x_{i-(3n-1)}] \quad (3)$$

$$1 \leq j \leq k-1, n \leq (i+1)/3 \quad (4)$$

$$\text{med}[a, b, c] \quad (5)$$

де:  $\text{med}[a, b, c]$  - функція пошуку медіани трьох елементів  $a, b, c$ ;

$k$  - значення передостаннього структурного рівня в пристрої;

$j$  - значення поточного структурного рівня;

$n$  - номер цифрового медіанного фільтра  $(j+1)$ -го структурного рівня;

$i$  - значення поточного такту обробки.

Також введемо наступні булеві змінні:

$y_1=1$ , якщо  $a \leq c$  (та  $y_1=0$ , якщо  $a > c$ ), (6)

$y_2=1$ , якщо  $a \leq b$  (та  $y_2=0$ , якщо  $a > b$ ), (7)

$y_3=1$ , якщо  $c \leq b$  (та  $y_3=0$ , якщо  $c > b$ ). (8)

Пристрій цифрової фільтрації сигналу (див. фіг. 1, 2, 3) формує результат обробки даних сформованої сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$ ,  $m=0, 1, \dots, N-1$ ,  $i \geq N-1$ ,  $N=3^{k+1}$  у вигляді  $(k+1)$ -кратної медіани  $3^k$  груп по три елемента сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу в кожній групі відповідно до формули (1). Кожний із  $3^k$  цифрових медіанних фільтрів 3 блока ЦМФ першого структурного рівня формує результат обробки даних у вигляді медіани трьох затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$ , відповідно до співвідношень (3) і (5). Кожний цифровий медіанний фільтр 3 блока ЦМФ  $(j+1)$ -ого структурного рівня формує результат обробки даних з виходів трьох відповідних цифрових медіанних фільтрів блока ЦМФ  $j$ -ого структурного рівня у вигляді їх медіани відповідно до співвідношень (2) і (5). Обчислення медіани в кожному із всіх  $(3^{k+1}-1)/2$  цифрових медіанних фільтрів 3 здійснюється відповідно до співвідношення (5).

Цифровий медіанний фільтр 3 конструктивно містить (див. фіг. 3): три однакових двовхідних  $q$ -бітових компаратора 4 і тривхідний  $q$ -бітовий мультиплексор 5.

Цифровий медіанний фільтр 3 працює таким чином (див. фіг. 3). Три цифрові відліки  $a, b, c$  в  $q$ -бітовому паралельному коді надходять на три входи цифрового медіанного фільтра (див. фіг. 3), причому кожний із трьох сигналів  $a, b, c$  надходить одночасно на два двовхідні  $q$ -бітові компаратори 4, у кожному з яких відбувається порівняння двох вхідних сигналів, та формування логічної змінної або  $y_1$  або  $y_2$ , або  $y_3$  відповідно до співвідношень (6) – (8). На виході першого компаратора 4 формується значення  $y_1$  для першого керуючого сигналу тривхідного  $q$ -бітового мультиплексора 5, на виході другого компаратора 4 -  $y_2$  для другого керуючого сигналу мультиплексора 5, на виході третього компаратора 4 -  $y_3$  для третього керуючого сигналу мультиплексора 5.

Цифровий медіанний фільтр 3 формує на виході мультиплексора 5 результат обробки цифрових відліків  $a, b, c$  у вигляді медіани цих трьох елементів відповідно до функції (5) та табл.1.

Таблиця 1

Відсортовані елементи	Співвідношення вхідних сигналів	Керуючі сигнали мультиплексора 5			Медіана (сигнал на виході мультиплексора 5)
		$y_1$	$y_2$	$y_3$	
c a b	$a > c$ та $a \leq b$ та $c \leq b$	0	1	1	a
b a c	$a > b$ та $a \leq c$ та $c > b$	1	0	0	a
a c b	$a \leq c$ та $c \leq b$ та $a \leq b$	1	1	1	c
b c a	$c > b$ та $a > c$ та $a > b$	0	0	0	c
a b c	$a \leq b$ та $c > b$ та $a \leq c$	1	1	0	b
c b a	$c \leq b$ та $a > b$ та $a > c$	0	0	1	b

Залежно від комбінації керуючих сигналів  $y_1$ ,  $y_2$  і  $y_3$ , що надходять на мультиплексор 5, останній забезпечує комутацію того чи іншого вхідного сигналу на вихід цифрового медіанного фільтра 3 відповідно до табл. 1.

Варіант функціональної схеми пристрою цифрової фільтрації сигналів у випадку побудови цифрового гібридного медіанного фільтра у складі трьох блоків цифрових медіанних фільтрів першого, другого та третього структурних рівнів представлений на фіг. 4. Пристрій цифрової фільтрації сигналів конструктивно містить (див. фіг. 4): блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 1; елементи затримки вхідного сигналу - 1.1, 1.2, ..., 1.26 (на схемі не показано); цифровий гібридний медіанний фільтр - 2; блоки цифрових медіанних фільтрів першого, другого та третього структурних рівнів - 2.1, 2.2, 2.3 відповідно; цифрові медіанні фільтри - 3.

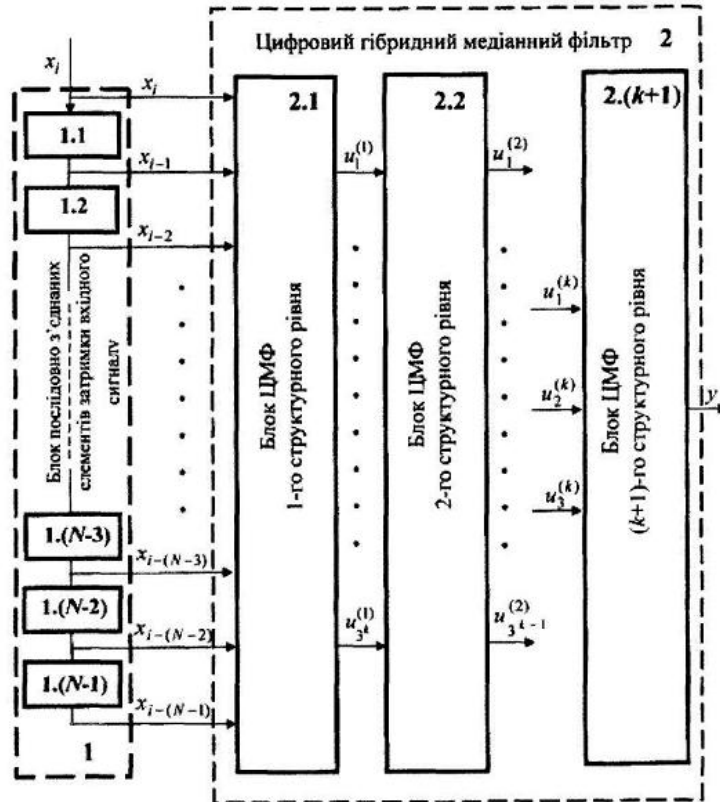
Пристрій цифрової фільтрації сигналу (див. фіг. 4) формує результат обробки даних сформованої сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$ ,  $m=0, 1, \dots, N-1$ ,  $i \geq 26$ ,  $N=27$ ,  $k=2$  у вигляді трьохкратної медіани 9 груп по три елемента сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу в кожній групі відповідно до формули (1). Кожний із 9 цифрових медіанних фільтрів 3 блока ЦМФ першого структурного рівня формує результат обробки даних у вигляді медіани трьох затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$  відповідно до співвідношень (3) і (5). Кожний цифровий медіанний фільтр 3 блока ЦМФ (j+1)-ого структурного рівня формує результат обробки даних з виходів трьох відповідних цифрових медіанних фільтрів блока ЦМФ j-ого структурного рівня у вигляді їх медіани відповідно до співвідношень (2) і (5). Обчислення медіани в кожному із всіх 13 цифрових медіанних фільтрів 3 здійснюється відповідно до співвідношення (5) та табл. 1.

Варіант функціональної схеми пристрою цифрової фільтрації сигналів у випадку побудови цифрового гібридного медіанного фільтра у складі двох блоків цифрових медіанних фільтрів першого

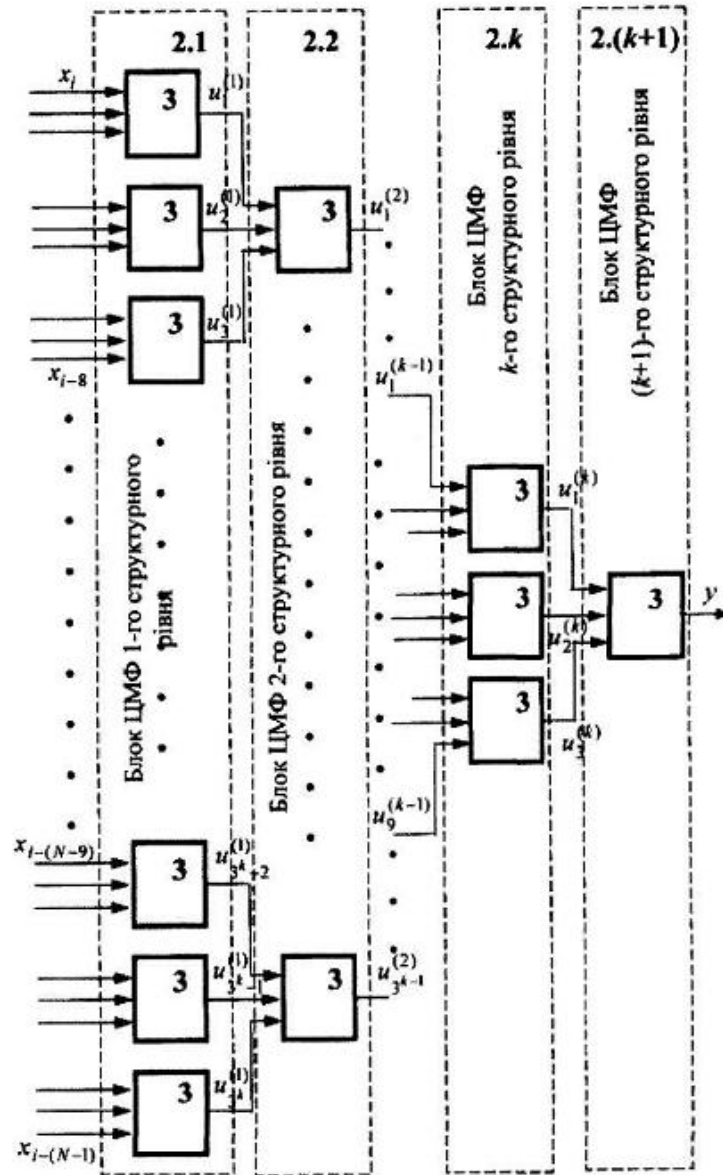
та другого структурних рівнів представлений на фіг. 5. Пристрій цифрової фільтрації сигналів конструктивно містить (див. фіг. 5): блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 1; елементи затримки вхідного сигналу - 1.1, 1.2, ..., 1.8; цифровий гібридний медіанний фільтр - 2; блоки цифрових медіанних фільтрів (ЦМФ) першого та другого структурних рівнів - 2.1, 2.2 відповідно; цифрові медіанні фільтри - 3.

Пристрій цифрової фільтрації сигналу (див. фіг. 5) формує результат обробки даних сформованої сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$ ,  $m=0, 1, \dots, N-1$ ,  $i \geq 8$ ,  $N=9$ ,  $k=1$  у вигляді двохкратної медіани трьох груп по три елемента сукупності затриманих цифрових відліків вхідного сигналу в кожній групі відповідно до формули (1). Кожний із трьох цифрових медіанних фільтрів 3 блока ЦМФ першого структурного рівня формує результат обробки даних у вигляді медіани трьох затриманих цифрових відліків вхідного сигналу  $\{x_{i-m}\}$  відповідно до співвідношень (3) і (5). Останній цифровий медіанний фільтр 3 блока ЦМФ другого структурного рівня 2.2 формує результат обробки даних з виходів трьох відповідних цифрових медіанних фільтрів блока ЦМФ першого структурного рівня 2.1 у вигляді їх медіани відповідно до співвідношень (2) і (5). Обчислення медіани в кожному із всіх чотирьох цифрових медіанних фільтрів 3 здійснюється відповідно до співвідношення (5) та табл. 1.

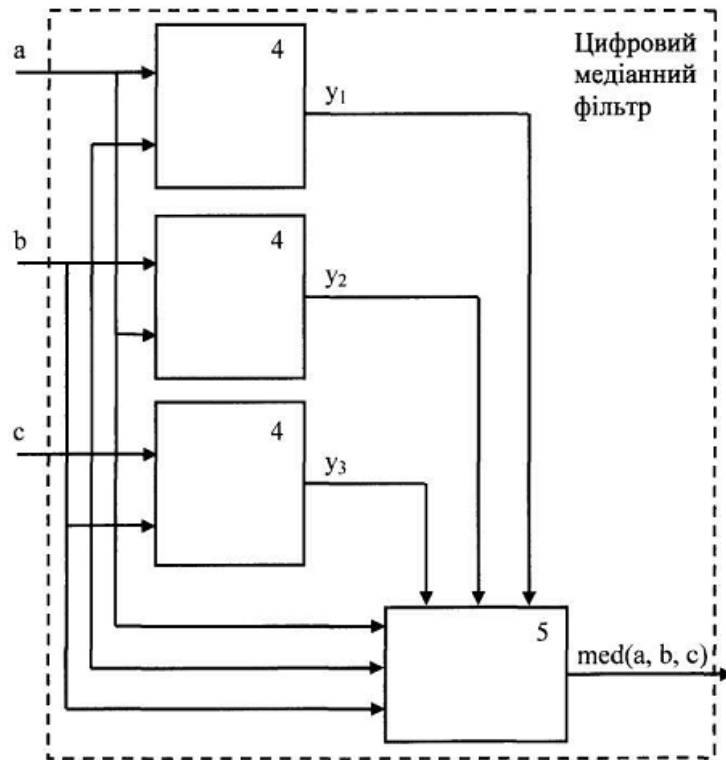
Підвищення ефективності застосування пристрою цифрової фільтрації сигналу, який заявляється, у порівнянні із прототипом досягається тим, що спрощується конструкція пристрою; зменшується число послідовно з'єднаних елементів ЦМФ пристрою; зменшується кількість обробок q-бітових сигналів ЦМФ пристрою, і як наслідок, підвищується швидкість обробки даних і одержання результату обчислень. Досягається однорідна структура пристрою цифрової фільтрації сигналу та зручність його реалізації у вигляді інтегральної схеми.



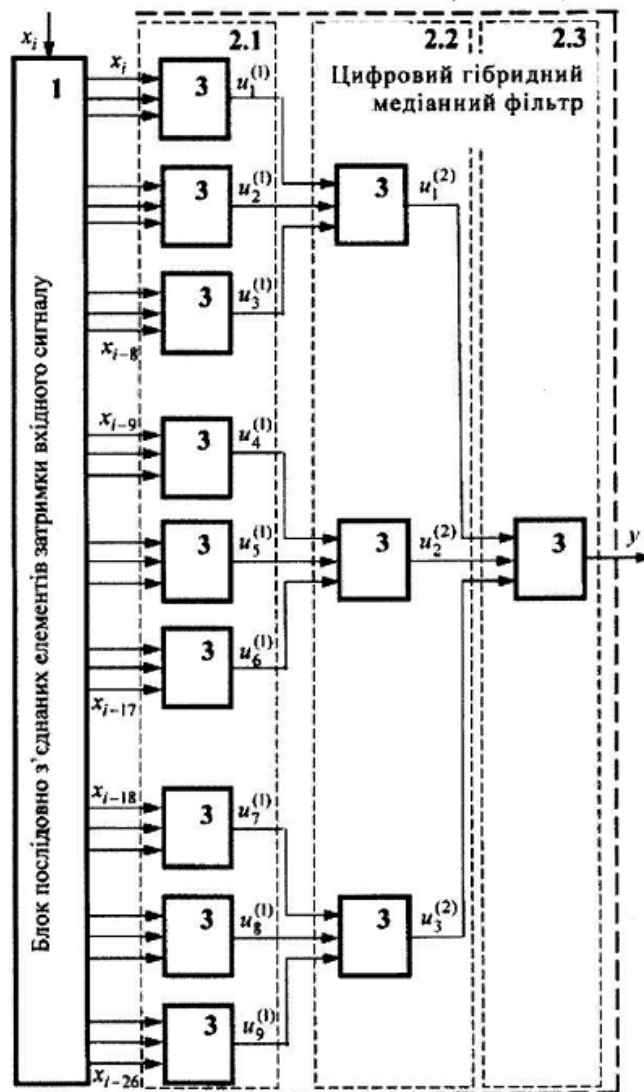
Фиг. 1



Фіг. 2

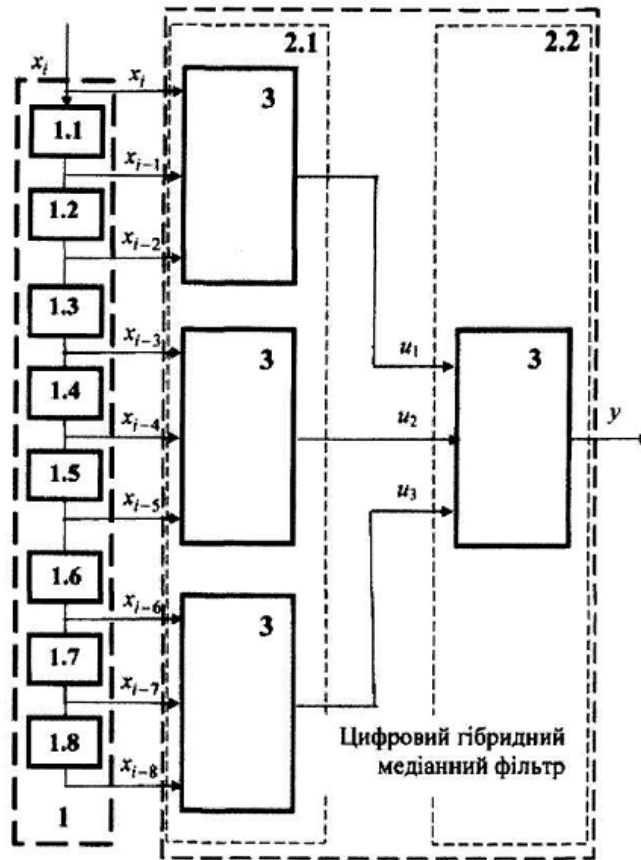


Фіг. 3



Фіг. 4





Фіг. 5